

CIENCIAS

INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN Y NORMALIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

MIGUEL ÁNGEL SANJUÁN BARBUDO
Y SERVANDO CHINCHÓN YEPES

PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

MIGUEL ÁNGEL SANJUÁN BARBUDO
SERVANDO CHINCHÓN YEPES

INTRODUCCIÓN A
LA FABRICACIÓN Y
NORMALIZACIÓN DEL
CEMENTO PORTLAND

PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado por evaluadores ajenos a la Universidad de Alicante, con el fin de garantizar la calidad científica del mismo.

Publicaciones de la Universidad de Alicante
Campus de San Vicente s/n
03690 San Vicente del Raspeig
publicaciones@ua.es
<http://publicaciones.ua.es>
Teléfono: 965 903 480

© Miguel Ángel Sanjuán Barbudo y Servando Chinchón Yepes
© de la presente edición: Universidad de Alicante

ISBN: 978-84-9717-305-6

Diseño de cubiertas: candela ink
Composición: Marten Kwinkelenberg



Esta editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional.

Reservados todos los derechos. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Prólogo

Este libro está dirigido a los estudiantes universitarios que bien por ser parte de una de las materias de sus estudios o bien por tener interés en incrementar su conocimiento en el campo del cemento puedan comprender de manera sencilla esta introducción a la fabricación y expedición del cemento.

El cemento es un material básico para la edificación y la ingeniería civil. Su principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con áridos y agua. El endurecimiento de la mezcla ocurre transcurrido un cierto tiempo desde el momento en que se realiza la mezcla, lo que permite dar forma (moldear) la piedra artificial resultante. Estas tres cualidades (moldeable, resistente, duradera) hacen que los productos derivados del cemento tengan una gran aplicación en la construcción de infraestructuras y otros elementos constructivos.

El cemento portland es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y, en menor proporción, por aluminatos de calcio, que, mezclado con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto al aire como bajo el agua.

Los romanos ya utilizaban un cemento natural para unir las piedras. Empleaban una mezcla de cal y materiales procedentes de las cercanías de Pozzuoli, junto al Vesubio. De ahí, la denominación de puzolanas que damos actualmente a los materiales que se comportan de forma similar.

Louis Joseph Vicat, en 1812, preparó una cal artificial calcinando una mezcla íntima de caliza y arcilla molidas conjuntamente en húmedo y, en 1818, explica de manera científica el comportamiento de estos «conglome-

rantes». Al producto lo denomina cal hidráulica. Con dicha cal construyó el primer puente sobre el río Dordoña.

En 1824, Joseph Aspdin patenta el cemento portland, fabricado de modo similar al descrito por Vicat. La evolución tecnológica del cemento portland que se ha producido desde la aparición de la patente de Aspdin hasta nuestros días, ha sido extensa.

Capítulo 1. Antecedentes históricos

La historia de los conglomerantes y cementos en la construcción se remonta a los tiempos del antiguo Egipto, seguido por griegos y romanos. En general, todos los materiales entonces empleados eran productos naturales que, en algún caso, se sometían a tratamientos térmicos. La palabra cemento, se aplica a todo tipo de producto o mezcla que presenta propiedades adhesivas y entendemos por conglomerante un compuesto de una o varias sustancias capaces de endurecer al reaccionar con otros productos (agua en el caso de los cementos portland), a corto o largo plazo. El nombre cemento como material de construcción tiene su origen en los romanos, que llamaron *opus caementum* a una obra de mampostería de piedra y un conglomerante de cal viva. Más tarde, se nombró como *cementum*, *cimentum*, *caement* y *cement* a los conglomerantes hidráulicos que se obtenían al mezclar adiciones tales como ladrillos cerámicos triturados o toba volcánica con la cal viva.

Desde los tiempos de las antiguas Grecia y Roma y hasta mediados del siglo XVIII se empleaba la cal como conglomerante para las construcciones. Este conglomerante no posee la cualidad de endurecer bajo el agua cuando se hidrata, es decir, no es hidráulico. Los técnicos de aquellas épocas relacionaban la mayor pureza y blancura con los conglomerantes más resistentes. Sin embargo, cuando se les adiciona en determinadas circunstancias materiales de origen volcánico o materiales de alfarería triturados a los morteros obtenidos se obtenía una mejor resistencia química frente al agua natural y de un modo especial frente al agua de mar.

Vitrubio, en su tratado de arquitectura publicado en el siglo I antes de Cristo, da una dosificación de un «cemento romano» que se obtenía mezclando dos partes de puzolana y una parte de cal apagada. Las puzolanas procedían de las cenizas volcánicas (tobas) que se encontraban al pie del Vesubio en Pozzuoli, de donde proviene el término puzolana. Pozzuoli es una localidad de la provincia de Nápoles (región de Campania, en Italia). Por otro lado, los griegos habían utilizado las tobas de Santorini. En otros lugares se emplearon adiciones análogas tales como el trass holandés, procedente de Andernach del Rhin, etcétera.

Con el «cemento romano» se construyeron obras importantes, entre las que destaca el Foro romano y el Panteón de Roma (año 27 antes de Cristo). En aquella época, se utilizaron en la construcción mezclas de cal, agua, piedras, arena y ladrillos; un material similar al hormigón. Estos materiales han sido la base para la construcción en Europa hasta 1756, fecha en la que se descubrió el primer conglomerante hidráulico.

La necesidad de construir en zonas marinas ha creado la inquietud de tratar de buscar conglomerantes capaces de fraguar y endurecer bajo el agua y que, a su vez, resistan la acción agresiva del agua de mar. A mediados del siglo XVIII, el gobierno inglés se preocupó de encargar la elección de los mejores conglomerantes disponibles en aquel momento para llevar a cabo la edificación del faro de Eddystone, que debía emplazarse en la costa de Cornwall cerca de la bahía del puerto de Plymouth, al suroeste de Inglaterra y en una zona rocosa y poco profunda. John Smeaton (1724-1792) llevó a cabo la selección de los materiales del faro de Eddystone, de entre los cuales figuraban cales procedentes de Alberthaw en Glamorgan (Brydostone) próximo a Plymouth, y de la localidad de Portland. El criterio experimental de selección consistió en fabricar unas esferas de unos cinco centímetros de diámetro con los conglomerantes amasados con agua; las introducía en agua y determinaba su endurecimiento cualitativamente. El resultado fue que las que tenían mayor dureza eran las fabricadas con calizas más impuras; mientras que las de color más claro, de más pureza, resistían menos la acción del agua. Asimismo, determinó el residuo arcilloso que la caliza calcinada dejaba al ser atacada por ácido nítrico y atribuyó la capacidad hidráulica a

la presencia de arcilla determinada cualitativamente por dicho residuo. Esta arcilla debía reaccionar de alguna forma con la cal hidráulica obtenida a elevada temperatura (por calcinación) para dar compuestos, no determinados aún, que pudieran ser los responsables de su comportamiento durable en el agua. Según el químico Wilhelm Michaelis, este descubrimiento es la base del conocimiento moderno de los morteros hidráulicos.

En 1756, Smeaton publicó estos datos, indicando que esperaba poder obtener un cemento con un endurecimiento análogo al de la piedra de Portland, tan estimada por su solidez y durabilidad. Por entonces, desde los descubrimientos de Smeaton, se progresó poco y durante mucho tiempo mantuvieron la supremacía las viejas mezclas de cal grasa y puzolana, base de los morteros romanos. El material de Smeaton estaba formado por una mezcla de cal, puzolana y yeso que, en realidad, se trataba de un «cemento romano» mejorado.

Gradualmente, se desarrollaron las cales hidráulicas y empezaron a fabricarse algunos cementos naturales estudiando el comportamiento de varios productos naturales.

James Parker fabrica en 1796 en el Reino Unido con el nombre de «cemento romano» y «cemento rápido», un cemento obtenido por cocción a temperatura moderada de calizas arcillosas muy ricas en sílice y alúmina.

Louis-Joseph Vicat (1786-1861), químico francés, comenzó en 1812, unas investigaciones sobre las condiciones que daban origen a la hidraulicidad que publicó en 1818. Vicat confirmó los estudios de Smeaton y dio el nombre de hidráulicas a este tipo de calizas que endurecían bajo el agua; llegó a la conclusión de que la sílice y la alúmina, que eran los elementos que procedían de la arcilla, daban estas propiedades hidráulicas y que se obtenía el mismo resultado con una mezcla de una caliza pura con una arcilla que con una marga natural, como sucedía con las empleadas por Smeaton. El sistema de fabricación que empleó Vicat fue el de vía húmeda, en el que se mezclan en proporciones adecuadas calizas con arcillas y se muelen conjuntamente en húmedo, y de esta forma marcó el inicio del actual proceso de fabricación.

En 1819, el holandés Johann Friedrich John (1782-1847) llegó a la misma conclusión sobre las mezclas artificiales de caliza natural y un 25-30% de

arcilla, las cuales eran las óptimas para la producción de cales hidráulicas. La fabricación de estos nuevos materiales parece ser que comenzó alrededor de 1811 con Frost, en Swanscome, mezclando dos partes de creta con una de arcilla; Aspdin, en Wakefield; Gatesheat, en Tyne y L.C. Johnson, en Rochester. De inmediato tuvo gran difusión en otros lugares.

Aspdin obtuvo en 1824 una patente en la que figuraba por primera vez el nombre de cemento portland dado al producto obtenido por calcinación. El conglomerante producido en 1824 por Joseph Aspdin al calcinar una mezcla artificial de caliza y arcilla, se correspondía con la cal romana en su composición y propiedades ya que la mezcla no había sido calentada hasta su sinterización.

William Aspdin (1815-1864), el hijo de Joseph Aspdin, inició la producción de cemento portland en 1843, en su recién instalada planta de Rotherhithe, cerca de Londres. Este cemento resultó ser muy superior al cemento romano debido a la mayor temperatura de calcinación que producía una sinterización parcial de la mezcla cruda. El ejemplo más significativo de aplicación es el Parlamento de Londres. Por tanto, William Aspdin es considerado el primer productor de cemento portland moderno. Sin embargo, la base del cemento moderno a escala industrial, con una base más científica, fue establecida en 1844 por Isaac Charles Johnson (1811-1911) al emplear temperaturas suficientemente altas para clinkerizar la mezcla de arcilla y caliza. La fabricación de material calcinado a más alta temperatura daba un producto escorificado de color más oscuro, el cual tenía un endurecimiento más lento, con mayor hidraulicidad y alcanzaba resistencias mucho más elevadas. Es decir, observaron que los nódulos sobrecocidos encontrados en los hornos, aunque fraguaban lentamente después de molidos, daban un cemento mejor que el producto normalmente fabricado. Johnson mejoró las proporciones de caliza y arcilla y elevó la temperatura de trabajo de los hornos, recomendando llegar a un principio de sinterización. Al producto así obtenido se le dio el nombre de «cemento portland», porque una vez fraguado, presentaba un color similar a la piedra de Portland, una caliza oolítica que se extraía en la costa del canal de Portland, en Dorsetshire, al sur de Inglaterra. Este producto, que en un principio fue desechado, no era sino un clínker

muy próximo al actual portland. En 1838, Brunel, en la obra del túnel bajo el Támesis, empleó un conglomerante con el nombre de cemento portland.

Wilhelm Michaelis (1840-1911) describió por vez primera en su libro «el mortero hidráulico», publicado en 1868, la composición óptima de la mezcla de material crudo y estudió el contenido máximo de óxido de calcio en la mezcla de material crudo que consigue reaccionar con SiO_2 , Al_2O_3 , y Fe_2O_3 a temperaturas de sinterización (módulo hidráulico).

El cemento portland sigue desarrollándose y, en 1893, la teoría del fraguado de Le Chatelier (teoría coloide) es criticada por Michaelis (teoría cristaloides). Ambas teorías son aceptadas en la actualidad y son la base de las teorías de la hidratación del cemento.

El primer cemento portland español se produjo en Asturias en la fábrica de Tudela Veguín en 1898; en 1900, se fundó la Sociedad Comanditaria Hijos de J. M. Rezola y en 1901 se fundó la Compañía General de Asfaltos y Portland Asland, S.A. A su vez, la Sociedad de Cementos Portland de Pamplona se instaló en Olazagutía en 1905. En el año 1909, las fábricas españolas producían 100.000 toneladas anuales y en 1940 la producción ya era de 400.000 toneladas anuales. En el año 2007, se llegó al máximo histórico de 47 millones de toneladas y, desde entonces, la producción ha caído en picado hasta los 26,1 millones de 2010, los 15,8 millones de 2012 y los 10 millones de 2013.

En Alemania, el primer cemento portland se produjo en 1850 en Buxtehude, cerca de Hamburgo. La producción de cemento portland en Francia comenzó en 1850. En los Estados Unidos, David Saylor produjo por primera vez clínker de cemento sinterizado en 1870.

En resumen, en Europa, el empleo de cementos naturales (en algunos casos sometidos a tratamientos térmicos primarios) en construcción se remonta a la antigüedad (p.e. mortero romano). El cemento portland fue patentado en 1824, y es el cemento más ampliamente empleado en nuestros días para fabricar hormigón. En la actualidad existen más de 1500 fábricas de cemento repartidas por todo el mundo y la producción en el año 2000 fue de unos 1500 millones de toneladas, mientras que en el año 2011 fue de más de 3600 millones de toneladas.

Capítulo 2. Los conglomerantes y el cemento

1. CONGLOMERANTES

En el sector de la construcción, se utiliza el término conglomerante para definir a toda una variedad de materiales capaces de adherirse a otros y dar cohesión al conjunto, por efectos de transformaciones químicas que se producen en su masa y que originan un nuevo conjunto, entre ellos, se encuentra el cemento portland. Dicho cemento entra en la categoría de conglomerantes hidráulicos, que son aquellos que amasados con agua endurecen al aire o bajo agua.

En general, el proceso de fabricación de los conglomerantes consta, en síntesis, de un proceso térmico de las mezclas adecuadas de materias primas y, posteriormente, de una molienda fina de los materiales resultantes de la cocción con o sin adiciones.

Los conglomerantes se clasifican en dos grupos:

– *Conglomerantes aéreos*

Son los que mezclados con agua fraguan y endurecen en el aire, no siendo resistentes al agua. Los conglomerantes no hidráulicos precisan de agentes externos para endurecer, como la cal, que requiere la presencia del anhídrido carbónico, presente en la atmósfera para formar carbonato cálcico.

– Conglomerantes hidráulicos

Éstos, después de ser amasados con agua, fraguan y endurecen tanto al aire como sumergidos en agua, siendo los productos resultantes estables en ambos medios. Por fraguado se entiende la trabazón y consistencia iniciales de un conglomerante; una vez fraguado, el material puede seguir endureciéndose.

1.1. Yeso

Este conglomerante se obtiene del Aljez o piedra natural del yeso, constituida por sulfato cálcico dihidratado. Arrancando el Aljez de las canteras, se tritura y se le somete a cocción para extraerle, total o parcialmente, el agua de cristalización que contiene en estado natural, convirtiéndolo en sulfato cálcico hemihidratado o anhidro. Finalmente, se muele el producto resultante. Es por lo común, un material blanco, compacto, tenaz y tan blando que se raya con la uña.

El yeso es un material que resiste mal la acción de los agentes atmosféricos, por lo que se usa preferentemente en obras interiores. Se adhiere poco a las piedras y madera, y oxida al hierro. Constituye un buen aislante del sonido y protege a la madera y al hierro contra la acción del fuego.

En España se pasó de 114 fábricas de yeso a 125 de 1992 a 2002, y de un valor de la producción de 138 a 421 millones de euros¹. Las aplicaciones del yeso son múltiples:

- *En albañilería*: confección de morteros simples o compuestos, construcción de muros, tabiques y pilares, pavimentos, arcos y bóvedas, cielorrasos, etc.
- *En la fabricación de piedras artificiales y prefabricados*: ladrillos y bloques, baldosas, placas machihembradas para falsos techos, paredes de cerca, paneles en nido de abeja, etc.

1 Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY).

- *En decoración:* artesonados, frisos, plafones, florones, motivos de adorno, etc.

Los yesos se clasifican en hemihidratados y anhidros, siendo los primeros los más empleados en la construcción; los yesos negros y blancos pertenecen a este grupo. Mientras que a los anhidros pertenecen los yesos hidráulicos y alúmbricos.

1.1.1 Yeso blanco

El sulfato de calcio hemihidratado, alfa y beta, se obtiene por deshidratación parcial del sulfato cálcico dihidratado a una temperatura ligeramente por encima de los 100 °C, la variedad alfa se produce a presión elevada y la beta en atmósfera ambiente. Ambas formas cristalizan en el mismo sistema cristalino romboédrico, pero presentan propiedades físicas y microestructurales diferentes; la alfa es más compacta que la beta. El sulfato de calcio hemihidratado alfa se conoce como yeso alfa y necesita una relación agua/yeso de 0,3-0,4 para su amasado dando productos duros y resistentes. Contiene un 80% de sulfato de calcio hemihidratado, está bien molido y se emplea para enlucir las paredes, estucos y blanqueados.

1.1.2 La escayola

El sulfato de calcio hemihidratado beta se denomina escayola y para su amasado requiere de una relación agua/yeso de 0,8 para dar productos más porosos que el alfa, por lo que se suele mezclar industrialmente para dar los yesos multifase o yeso de construcción. Es el yeso blanco de mayor calidad, obtenido de la piedra de yeso en flecha o espejuelo, contiene el 90% de sulfato de calcio hemihidratado. Se emplea para vaciados, molduras y decoración.

1.1.3 Yeso alúmbrico

Se obtiene sumergiendo la piedra de yeso durante 6 horas en una disolución al 12% de alumbre, a una temperatura de 35°C, se deja secar al aire, vuelve a calcinar al rojo oscuro y se muele finamente.

1.2. Cal

Mediante la calcinación o descomposición de las rocas calizas calentándolas a temperaturas superiores a los 900° C se obtiene la llamada cal viva, compuesta fundamentalmente por óxido de calcio. Desde el punto de vista de su empleo en construcción, las cales se clasifican en:

1.2.1 Cal dolomítica

Se la denomina también cal gris o cal magra. Es una cal aérea con un contenido de óxido de magnesio superior al 5%. Al apagarla, forma una pasta gris, poco trabada, que no reúne unas condiciones satisfactorias para ser utilizada en construcción.

1.2.2 Cal grasa

Es la cal aérea que contiene, como máximo, un 5% de óxido magnésico. Después de apagada da una pasta fina, trabada, blanda y untosa.

1.2.3 Cal hidráulica

Es el material conglomerante, pulverulento y parcialmente apagado, que además de fraguar y endurecer en el aire, lo hace debajo del agua. Se obtiene calcinando rocas calizas con impurezas de Si, Fe y Al a una elevada temperatura para que se forme el óxido cálcico libre necesario para permitir su apagado y, al mismo tiempo, deje cierta cantidad de silicatos cálcicos anhidros, que proporcionan al polvo sus propiedades hidráulicas. Cuando el contenido del óxido magnésico no es mayor del 5% se denomina cal hidráulica de bajo

contenido de magnesio y, si es mayor del 5%, cal hidráulica de alto contenido de magnesio o cal hidráulica dolomítica.

1.3. Cemento

A diferencia del yeso, raras veces se utiliza el cemento solo, amasado con agua y formando una pasta pura. Su uso habitual es en combinación con otros materiales, especialmente con áridos para formar morteros y hormigón.

Amasado con agua, el cemento fragua y endurece tanto en el aire como sumergido en agua. Se trata, por consiguiente, de un conglomerante hidráulico. El más conocido y el más utilizado de todos los cementos es el cemento portland. Este material es el objeto del presente libro, por lo que se desarrollará en los apartados siguientes.

1.3.1 Algunos tipos de cementos distintos del cemento portland

– Cemento de aluminato de calcio

El cemento de aluminato de calcio (CAC) se produjo por primera vez en Francia durante la primera guerra mundial. La base fue una patente del químico francés Jules Bied, alumno de Le Chatelier, quien en 1908 descubrió que los fundidos cristalizados con la composición de aluminato monocálcico podían endurecer hidráulicamente y alcanzar una resistencia temprana muy elevada.

– Cementos expansivos

Los cementos expansivos que aparecieron en 1920, tienen su base en el trabajo de Viktor Vasilévich Mikhaïlov y Alexander Klein; suelen contener una gran cantidad de sulfatos y aluminatos en su composición.

– *Cementos de fraguado controlado*

En estos cementos lo que se busca es que el fraguado transcurra en un tiempo determinado. La PCA (Asociación del Cemento Portland de los Estados Unidos) desarrolló el *regulated-set cement* y en Japón se elaboró un cemento parecido que se denominó como *jet cement*.

– *Cemento portland con una alta resistencia a la acción de los sulfatos: Cemento Ferrari*

El primer cemento portland con una alta resistencia a la acción de los sulfatos fue el «*Erzzement*», patentado por Krupp-Grusonwerk en Magdeburgo, en 1901 y producido en la planta de cemento de Hemmoor, cerca de Hamburgo. Contenía una reducida cantidad de óxido de aluminio y una gran cantidad de óxido de hierro, así resultaba un módulo de fundentes (relación Al/Fe) de tan sólo 0,30. Las propiedades de este cemento son similares a las del cemento Ferrari, el cual es un cemento portland con un módulo de fundentes de 0,64, que fue producido por vez primera en Italia en 1919.

– *Cemento sobresulfatado*

Emil Langen descubrió en 1862 que una mezcla de escoria granulada de horno alto, enfriada rápidamente y altamente vitrificada mezclada con cal viva calcinada puede adquirir una resistencia considerable.

En 1882 Godhard Prossing (1828-1903) fue el primero en añadir escoria granulada de horno alto al cemento portland. En Alemania desde 1901, al cemento con menor contenido de escoria fue denominado «cemento portland siderúrgico», mientras que al cemento con mayor contenido de escoria se llamó «cemento de escoria de horno alto», desde 1907.

Hans Kühl (1879-1969) descubrió la activación mediante sulfatos de la escoria granulada de horno alto y el 23 de diciembre de 1908 patentó el «*gipsschlackenzemen*» (DRP 237777), lo cual constituyó la base de la producción del cemento sobresulfatado.

En España, los Pliegos de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos de 1961 (p.c.c.h. 61) y 1964 (PCCH-64) recogieron a los cementos siderúrgicos sobresulfatados consistentes en una mezcla íntima de escoria granulada y sulfato cálcico en proporción tal que el contenido de trióxido de azufre (SO₃) se situaba entre el 5 y el 12%, con una cantidad inferior al 5% de cal, clínker de cemento portland o cemento portland. Estos conglomerantes se denominaban SF-250. La norma europea de cemento sobresulfatado es la UNE-EN 15743:2010.

– *Cementos para pozos de petróleo*

Estos cementos son necesarios para reforzar o forrar las paredes de los pozos de petróleo. Su desarrollo comenzó en 1930. Estos cementos fraguan y endurecen de un modo muy gradual, incluso a altas temperaturas y presiones. Inicialmente, las especificaciones se regían por las normas del *American Petroleum Institute* (API), pero actualmente, se siguen las normas internacionales ISO 10426-1 «*Petroleum and natural gas industries-cements and materials for well cementing – Part 1: Specification*» e ISO 10426-1 «*Petroleum and natural gas industries-cements and materials for well cementing – Part 2: Testing of well cements*».

Lafarge es el único fabricante que produce en España cemento específico para pozos de petróleo. Para la producción de este cemento, en su fábrica de Sagunto, se necesitan unas materias primas específicas que permiten, a través de un cuidadoso proceso, elaborar clínker del tipo G. Las exigencias de este clínker radican en la necesidad de que tenga una resistencia a compresión a 8 horas, un curado de probetas a 38 y 60°C y unos ensayos especiales de evaluación de facilidad de bombeo o fluidez, que le confieren una viscosidad y un tiempo de fraguado muy concretos para la puesta en obra.

Capítulo 3. Qué se conoce como cemento portland en la actualidad

Los cementos según la norma europea UNE-EN 197-1:2011, «son conglomerantes hidráulicos, esto es, materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como al agua». Este endurecimiento hidráulico se debe principalmente a la formación de silicatos cálcicos hidratados y de aluminatos hidratados como resultado de la reacción entre el agua y los constituyentes del cemento. Esta propiedad de conglomerante hidráulico le ha convertido en un material básico en la construcción, imprescindible para la edificación y la realización de infraestructuras.

Las teorías acerca de la constitución del cemento portland y de las combinaciones que lo integran han sido muchas y diversas. Con los medios actuales se han podido verificar algunas de estas teorías y rechazar otras.

Le Chatelier sostenía que el elemento primordial del cemento portland era el silicato tricálcico 3CaO SiO_2 (C_3S), viendo en dicho compuesto la causa del fraguado y considerando como impurezas a los aluminatos que lo acompañaban.

Törnebohm observó con el microscopio cinco minerales diferentes que denominó Alita, Belita, Celita, Felita y residuo vítreo; y de acuerdo con Le

Chatelier, la Alita, cuyas propiedades correspondían con las del silicato tricálcico, era la causa del fraguado y endurecimiento del cemento portland.

Michaelis, en un principio acepta la hipótesis de Le Chatelier, pero más tarde desarrolla otra teoría con respecto al fraguado y endurecimiento de los conglomerantes hidráulicos. Según Michaelis, no se producen combinaciones cristalizadas; la sílice se halla en estado coloidal y desempeña un papel análogo al que realizan las colas; por tanto, el endurecimiento se produciría como consecuencia de la desecación de la sílice. Esta teoría difiere poco de la previa de Marceron y Vicat. En los últimos trabajos, Michaelis coincide con Day y Shepherd en que el ortosilicato cálcico (2CaO SiO_2), es el principal componente del cemento portland. Cree que el silicato tricálcico es una solución sólida de CaO en 2CaO SiO_2 (C_2S) y acepta la existencia de las tres variedades de silicato bicálcico α , β y γ . Atribuye la disgregación de los cementos a la transformación de la variedad α en la γ , cosa que ocurre en los cementos de escorias mantenidos mucho tiempo a elevada temperatura. Asimismo, Walter Dyckerhoff afirma que el cemento portland se compone esencialmente de silicato bicálcico en el que admite la existencia de las tres variedades α , β y γ . Sólo la modificación β tiene propiedades hidráulicas, pero es inestable por debajo de 675° . Sin embargo, al fabricarse el cemento, los aluminatos y ferritos cálcicos forman un baño fundido que envuelve y protege los cristales de silicato, impidiendo su degradación al tipo γ que disgregaría el cemento.

Newberry coincide con la idea de Le Chatelier de que en el cemento portland, el baño conglomerante es una sustancia no cristalina que prácticamente contiene todo el hierro y la alúmina y es de composición variable. En cambio, disiente de Le Chatelier en apreciar que el aluminato que más importancia tiene en el clínker del cemento portland no es el $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) sino el $2\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ (C_2A).

Zulkowski, sostiene que el silicato tricálcico 3CaO SiO_2 (C_3S) no existe pero acepta dos formas de silicato bicálcico 2CaO SiO_2 (C_2S); una estable (un ortosilicato) y otra inestable (metasilicato). Sólo el metasilicato tiene propiedades hidráulicas mientras que el ortosilicato es el causante de la disgregación del cemento. El silicato inestable puede estabilizarse a baja tem-

peratura mediante un enfriamiento rápido que evita la transformación total o parcial en su isómero.

Otto Schott estudió las propiedades de los silicatos, aluminatos, ferritos cálcicos y dedujo que el silicato cálcico está sujeto siempre a fenómenos de expansión, y que, por consiguiente, si entra en la composición del cemento portland, tiene que hacerlo en una dosis mínima. Cree que el clínker portland es una solución sólida de cal en aluminato bicálcico $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S); sus propiedades hidráulicas mejoran en función de la cantidad de cal disuelta que contiene.

En cuanto a la composición química de los cementos de principio del siglo xx, poco varía de la composición actual que se da en la **Tabla 1**.

Tabla 1
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS CEMENTOS (% EN MASA)

Parámetro	Rango aproximado
Residuo insoluble	0,1 – 1,4
Óxido de calcio (CaO)	58.2 – 65.6
Sílice (SiO_2)	19.8 – 26.45
Alúmina (Al_2O_3)	4.1 – 9.5
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	2.1 – 4.5
Magnesia (MgO)	trazas – 2,9
Álcalis (K_2O , Na_2O)	0,1 – 2,8
Sulfatos (SO_3)	0,1 – 2,2
Pérdida por calcinación	0,2 – 2,8

1. COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

La norma europea UNE-EN 197-1:2011 define los posibles componentes que en la actualidad pueden formar parte de un cemento portland. Los requisitos de los componentes especificados se determinarán siguiendo los métodos de ensayo descritos en las normas UNE-EN 196. Básicamente, dichos componentes pueden clasificarse en principales y minoritarios adicionales.

1.1. Componentes principales

1.1.1 Clínker de cemento portland (K)

El clínker de cemento portland se obtiene por sinterización de una mezcla homogénea de materias primas: caliza, arcilla, arena, compuestos de hierro y otros componentes en proporciones definidas (crudo, pasta o harina) conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ y pequeñas cantidades de otras materias. Esta mezcla se calienta hasta llegar a los rangos de la temperatura de sinterización y se forman nuevos compuestos. El clínker aparece paulatinamente. La composición química del clínker se da en la **Tabla 2**.

El clínker de cemento portland es un material hidráulico que debe estar constituido al menos en dos tercios de su masa por silicatos de calcio [3CaO.SiO₂] y [2CaO.SiO₂], estando constituido el resto por fases del clínker conteniendo aluminio, hierro y por otros compuestos. La relación en masa (CaO)/(SiO₂) no será menor de 2,0 y el contenido de óxido de magnesio (MgO) no excederá del 5,0 % en masa.

Tabla 2
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CLÍNKER (% EN MASA)

Fase	Fórmula	Abreviatura	Rango	Valor medio
Silicato tricálcico	3CaO SiO ₂	C ₃ S	46-79	61
Silicato bicálcico	2CaO SiO ₂	C ₂ S	5-30	15
Ferritoaluminato tetracálcico	4CaO (Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃)	C ₄ (A,F)	4-16	8
Aluminato tricálcico	3CaO Al ₂ O ₃	C ₃ A	6-18	12
Cal libre	CaO	C	0,1-4	1
Óxido de magnesio libre	MgO	M	0,7-1,5	1,5

1.1.1.1 Fases del clínker de cemento portland

i) El silicato tricálcico 3CaO SiO_2 (C_3S)

El silicato tricálcico 3CaO SiO_2 (C_3S) es el compuesto con mayor contenido de CaO en el sistema binario $\text{CaO} - \text{SiO}_2$. Alfred Elis Törnebohm (1838–1911) era un geólogo sueco que introdujo los términos Alita y Belita en 1897 tras examinar clínker a través del microscopio. El silicato tricálcico 3CaO SiO_2 (C_3S) determina de modo decisivo la mayoría de las propiedades del cemento; endurece rápidamente y alcanza una gran resistencia cuando se muele finamente y se mezcla con agua hasta formar una pasta. El silicato tricálcico se forma por reacción en estado sólido entre el óxido de calcio y la sílice; también se puede producir a partir de caliza pura y cuarzo. La reacción es más rápida en presencia de una masa fundida de óxidos de calcio, aluminio y hierro (III) a unos 1450°C .

El silicato tricálcico puro funde de manera incongruente a 2070°C , liberando óxido de calcio. Es metaestable en torno a 1250°C y se descompone en óxido de calcio y silicato dicálcico. La descomposición sólo ocurre a niveles de enfriamiento muy bajos o cuando en la red cristalina hay Fe^{2+} , en lugar de Fe^{3+} . Por tanto, el clínker de cemento que contenga óxido de hierro debería ser calcinado y enfriado en condiciones oxidantes por debajo de 1250°C . Se han identificado seis modificaciones polimórficas del silicato tricálcico que se estabilizan a través de soluciones sólidas de iones (Mg^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} y Fe^{3+}).

ii) El silicato dicálcico 2CaO SiO_2 (C_2S)

El silicato dicálcico se produce cuando el clínker de cemento no está totalmente saturado de óxido de calcio. El silicato dicálcico funde congruentemente a 2130°C . El silicato dicálcico 2CaO SiO_2 (C_2S) se forma a temperaturas inferiores a 1000°C , en mezclas crudas ricas en arcilla, por reacción en estado sólido. Por encima de 1250°C , el silicato dicálcico incorpora Ca^{2+} dando lugar a la formación de silicato tricálcico 3CaO SiO_2 (C_3S). Cristaliza en cuatro modificaciones polimórficas (α , α' , β y γ). La modificación β es metaestable en todo el rango de temperaturas y se convierte en la modifica-

ción γ que es menos densa por debajo de 500°C . Esta conversión es la razón por la que un clínker de cemento rico en silicato dicálcico puede disgregarse cuando se enfría lentamente. Sin embargo, los clínkeres de cemento calcinados a más de 1200°C , no se suelen disgregar, porque las diferentes modificaciones polimórficas (α , α' , β y γ) a altas temperaturas se estabilizan mediante la incorporación de iones (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} , P^{3+} , etc.). Por lo general, el silicato dicálcico está en su modificación β , además de las α , α' .

iii) El ferrito aluminato tetracálcico $4\text{CaO} [\text{Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3]$ ($\text{C}_4 [\text{A},\text{F}]$)

El aluminoferrito tetracálcico contribuye poco al endurecimiento hidráulico y la reactividad hidráulica disminuye al aumentar el contenido de Fe_2O_3 del $\text{C}_4 [\text{A},\text{F}]$. El ferrito aluminato tetracálcico $4\text{CaO} [\text{Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3]$ ($\text{C}_4 [\text{A},\text{F}]$) contiene la mayor parte del hierro y del aluminio contenidos en el clínker de cemento. Es una fase presente en la disolución sólida, con $2\text{CaO} \text{Fe}_2\text{O}_3$ (ferrito dicálcico) y $2\text{CaO} (0,96 \text{Al}_2\text{O}_3, 0,31 \text{Fe}_2\text{O}_3)$ como límites en el clínker de cemento. El aluminoferrito tetracálcico de fórmula $4\text{CaO} \text{Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$ puede incorporar hasta un 2% en peso de óxido de magnesio en su retículo cristalino lo que provoca un color gris. La fase $\text{C}_4 [\text{A},\text{F}]$ muestra un color marrón si el clínker es calcinado en condiciones reductoras con un 0,2-0,3% de Fe^{2+} ya que el Mg^{2+} se reemplaza por Fe^{2+} .

iv) El aluminato tricálcico $3\text{CaO} \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)

El aluminato tricálcico $3\text{CaO} \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) es el compuesto con mayor contenido de CaO de las fases de aluminato. El aluminato tricálcico puro cristaliza en forma cúbica y el retículo puede incorporar diferentes iones en disolución sólida (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{3+} , Si^{4+} , etc.). La simetría de la cristalización cambia de cúbica a ortorrómbica y monoclinica debido a la incorporación de metales alcalinos, lo que resulta en una reactividad hidráulica mayor. El aluminato tricálcico $3\text{CaO} \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) reacciona rápidamente con el agua, pero sus propiedades hidráulicas no son muy acentuadas y mejora la resistencia inicial del cemento. El aluminato tricálcico contiene el óxido de aluminio que

no se combina con el aluminoferrito cálcico y funde congruentemente liberando óxido de calcio.

v) La cal libre (CaO) y la periclusa (MgO)

La cal libre (CaO) y la periclusa (MgO) son componentes minoritarios del clínker. El óxido cálcico libre (cal libre) y el óxido de magnesio libre (periclusa) reaccionan con el agua para formar el hidróxido cálcico y el hidróxido de magnesio, que ocupan mayor espacio que los óxidos originales. Por lo tanto, pueden provocar expansiones dañinas; por lo que todas las normas del cemento limitan los contenidos de CaO y MgO libres.

vi) Los compuestos de metales alcalinos

Los compuestos de metales alcalinos (por ejemplo, los sulfatos de metales alcalinos y el aluminato cálcico con metales alcalinos) son componentes minoritarios del clínker de cemento que provienen de los materiales crudos y de las cenizas del combustible. El clínker contiene hasta un 2,0% en peso de óxidos de metales alcalinos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) y hasta un 2,0% en peso de sulfatos de metal alcalino.

Las soluciones sólidas de sulfatos de metales alcalinos cristalizan durante el enfriamiento con una composición que depende de la proporción de $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. La relación molar de los metales alcalinos y de sulfato en el clínker se conoce como «grado de sulfatación». Si hay un exceso de metal alcalino se forma aluminato cálcico con metales alcalinos, con una composición y estructura cristalina similares a las del aluminato tricálcico. La cantidad total de metales alcalinos afecta de manera significativa al fraguado y al endurecimiento del cemento.

1.1.2. Clínter de cemento portland (K) empleado en cementos resistentes a los sulfatos de la UNE 80303-1 (SRC) y de la UNE-EN 197-1 (SR) y en cementos resistentes al agua de mar (MR)

Las prescripciones sobre C_3A y $(C_3A + C_4AF)$ se refieren a porcentajes en masa de clínter. Los contenidos de C_3A y C_4AF se determinarán por cálculo, según la norma UNE 80304, a partir de los ensayos realizados sobre el clínter según la norma UNE-EN 196-2.

En los cementos comunes resistentes a sulfatos de los tipos CEM I y CEM IV de la norma UNE-EN 197-1 y CEM II, CEM III/A y CEM V/A de la UNE 80303-1, y en los cementos comunes resistentes al agua de mar de todos los tipos, el contenido de aluminato tricálcico (C_3A) del clínter de cemento portland utilizado, calculado de acuerdo con la siguiente expresión:

$$C_3A = 2,65 A - 1,69 F$$

en la que A y F son los porcentajes en masa de Al_2O_3 y Fe_2O_3 , respectivamente, siendo la relación Al_2O_3/Fe_2O_3 superior a 0,64, deberán cumplir los límites indicados en las **Tablas 13** (SR), **28** (SRC) y **29** (MR) del capítulo 9, respectivamente.

Además, en aquellos cementos con la característica adicional de resistencia a los sulfatos definidos en la norma UNE 80303-1 (SRC) y los cementos con la característica adicional de resistencia al agua de mar definidos en la norma UNE 80303-2 (MR), el contenido de ferritoaluminato tetracálcico ($C_3A + C_4AF$) del clínter del cemento portland utilizado, calculado de acuerdo con la siguiente expresión:

$$C_4AF = 3,04 F$$

deberán cumplir los límites indicados en las **Tablas 28** y **29**, respectivamente.

En el caso de que la relación Al_2O_3/Fe_2O_3 fuera inferior a 0,64, el contenido de aluminato tricálcico (C_3A) del clínter de cemento portland sería nulo ($C_3A = 0$) y el contenido de ferritoaluminato tetracálcico (C_4AF) del clínter

del cemento portland utilizado, se calcularía de acuerdo con la siguiente expresión:

$$C_4AF = 4,77 A$$

1.1.3. Escoria granulada de horno alto (S)

La escoria granulada de horno alto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto y está constituida al menos en dos tercios de su masa por escoria vítrea y posee propiedades hidráulicas cuando se activa de manera adecuada. Durante la fusión de la mena en un horno alto se retira del horno, bien por separado, o bien conjuntamente con la fundición bruta licuada, a temperaturas de aproximadamente 1350-1550 °C y solidifica a unos 1250°C. La escoria vítrea de horno alto se produce enfriando rápidamente la escoria fundida con agua o aire a fin de conseguir un material finamente dispersado (granulado). El contenido de vidrio, que es decisivo para conseguir las propiedades hidráulicas, debe mantenerse lo más alto posible, por lo que suele sobrepasar el 90%. Las normas exigen un contenido de vidrio de al menos dos tercios de la masa. La escoria granulada húmeda se almacena durante un tiempo limitado en grandes montones drenantes para disminuir su humedad y para homogeneizar las diferentes cargas de horno. La escoria granulada retiene un 7-20 % de humedad residual y se debe secar. La molienda de cementos que contienen escoria granulada de horno alto demanda más energía que la molienda del cemento portland. La molienda de la escoria y del clinker se suele hacer por separado.

La escoria granulada de horno alto debe estar constituida al menos en dos tercios de su masa por la suma de óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO) y dióxido de silicio (SiO₂). El resto contiene óxido de aluminio (Al₂O₃) junto con pequeñas cantidades de otros compuestos. La relación en masa (CaO + MgO)/(SiO₂) será superior a 1,0.

La escoria vítrea de horno alto es un material hidráulico latente, al contrario que la escoria cristalina enfriada lentamente. Como ya se ha comentado,

se debe activar para que endurezca hidráulicamente y, en el caso del cemento portland, el activador es el clínker. En el caso del cemento sobresulfatado, el activador es la anhidrita o el yeso (activación por sulfatos). Las propiedades hidráulicas de la escoria vítrea de horno alto dependen del contenido de vidrio y de su composición química (**Tabla 3**).

En la reactividad hidráulica de la escoria vítrea de horno alto, mientras que el CaO aumenta la reactividad, el MgO disminuye las propiedades hidráulicas debido a la formación de espinela cristalina ($MgO \cdot Al_2O_3$). Un mayor contenido de óxido de aluminio aumenta la resistencia inicial y el contenido de sulfuros promueve la formación vítrea ya que los iones sulfuro, de mayor tamaño, son incorporados en la estructura vítrea.

Tabla 3

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ESCORIA DE HORNO ALTO, PUZOLANA NATURAL, CENIZA VOLANTE SILÍCEA Y ESQUISTOS CALCINADOS (% EN MASA)

Componente	<i>escoria de horno alto</i>	<i>puzolana natural</i>	<i>ceniza volante silícea</i>	<i>Esquistos calcinados</i>
SiO ₂	30-39	45-89	35-53	12-51
Al ₂ O ₃	9-18	3-20	21-30	5-16
TiO ₂	0,3-1,4		0,7-1,5	
P ₂ O ₅	0,1-0,4		0,1-0,8	
Fe ₂ O ₃	0,1-1,0*	1-10	6-12	6-7
Mn ₂ O ₃	0,2-3,0*		0,1-0,4	
CaO	33-48	2-9,	0,5-10	18-60
MgO	2-13	1-5	2-5	1-4
Na ₂ O	02-1,2	1-7	04-2,0	1-2
K ₂ O	0,4-1,3	1-11	1,0-5,0	1-2
SO ₃	0,0-0,2	0,0-0,8	0,3-1,5	5-10
S=	0,5-1,8			

*Calculado a partir del FeO y del MnO

A fin de evaluar las propiedades hidráulicas de la escoria vítrea se han de tener en cuenta el efecto activador del clínker y las condiciones de curado. Por todo ello, el único modo fiable de evaluar las propiedades hidráulicas de una escoria vítrea de horno alto lo constituye el análisis de la resistencia alcanzada por los morteros fabricados con cementos que contienen dicha escoria, considerando la finura, la distribución del tamaño de las partículas, la proporción de los componentes y el contenido de SO_3 .

1.1.4. Puzolanas (P, Q)

De las adiciones que pueden incorporarse al cemento para mejorar alguna de sus propiedades destaca la puzolana natural, que confiere al cemento mayor durabilidad química ya que ofrece una mayor resistencia a los ataques por aguas puras, carbónicas, agresivas o con débil acidez.

Los materiales puzolánicos son sustancias naturales de composición silicea o sílico-aluminosa o combinación de ambas que incorporadas al cemento, se obtienen hormigones con mayor compacidad e impermeabilidad, menor calor de hidratación y también inhibe o contrarresta las expansiones producidas por la presencia de cal libre, magnesia libre, etc. Su principal campo de aplicación son las obras marítimas, bases y sub-bases de carreteras, obras de hormigón en masa en grandes volúmenes (presas, cimentaciones masivas, muros de contención, etc.), y morteros en general, donde la agresividad química del entorno pueda ser muy importante.

Los materiales puzolánicos no endurecen por sí mismos cuando se amasan con agua, pero finamente molidos y en presencia de agua reaccionan, a temperatura ambiente, con el hidróxido de calcio disuelto $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia. Estos compuestos son similares a los que se forman durante el endurecimiento de los materiales hidráulicos. Las puzolanas están compuestas esencialmente por dióxido de silicio reactivo (SiO_2) y óxido de aluminio (Al_2O_3). El resto contiene óxido de hierro (Fe_2O_3) y otros óxidos. La proporción de óxido de calcio reactivo es de poca importancia para el

endurecimiento. El contenido de dióxido de silicio reactivo (SiO_2) no será menor del 25,0 % en masa.

Los materiales puzolánicos deben prepararse correctamente, es decir, deben ser seleccionados, homogeneizados, secados o tratados térmicamente y pulverizados, dependiendo de su estado de producción o de suministro.

i) Puzolana natural (P)

Las puzolanas naturales son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias con una composición química y mineralógica adecuada.

ii) Puzolana natural (P) empleada en cementos resistentes a los sulfatos (SRC) y en cementos resistentes al agua de mar (MR)

En cuanto a las puzolanas naturales de los cementos resistentes a los sulfatos (SRC) de la UNE 80303-1 y en cementos resistentes al agua de mar (MR) de la UNE 80303-2 que los contengan, las especificaciones son las siguientes:

- a. La relación $\text{SiO}_2/(\text{CaO} + \text{MgO})$ –en tanto por ciento en masa– debe ser superior a 3,5, siendo CaO el óxido de calcio reactivo definido en la norma UNE-EN 197-1.
- b. La ceniza volante silíceo (V) o puzolana natural (P) molida a finura Blaine equivalente a la del cemento de referencia ($\pm 200 \text{ cm}^2/\text{g}$) y mezclada con éste en proporción cemento/ceniza igual a 75/25 en masa, deberá cumplir el ensayo de puzolanidad a la edad de 7 días, según el método de la norma UNE-EN 196-5.
- c. Esta misma mezcla 75/25 en masa deberá dar una resistencia a compresión a la edad de 28 días igual o superior al 75 por ciento de la resistencia del cemento de referencia a la misma edad (índice de actividad resistente, IAR), según el método de ensayo de la norma UNE-EN 196-1.

El cemento de referencia, tanto para el ensayo de puzolanidad como para el de resistencia, será un CEM I 42,5 R-SR 0, CEM I 42,5 R-SR 3 ó CEM I 42,5 R-SR 5 de la UNE-EN 197-1.

iii) Puzolana natural calcinada (Q)

Las puzolanas naturales calcinadas son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

1.1.5. Cenizas volantes (V, W)

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado en las centrales termoeléctricas. Las cenizas obtenidas por otros métodos no deberán emplearse en los cementos. Por tanto, no se pueden emplear cenizas de co-combustión ni de lecho fluidizado. Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silíceas o calcáreas. Las primeras tienen propiedades puzolánicas; las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas.

La pérdida por calcinación de las cenizas volantes determinada conforme a la norma UNE-EN 196-2, pero empleando un tiempo de calcinación de una hora debe encontrarse dentro de alguno de las siguientes categorías definidas en la norma UNE-EN 450-1:2013:

- Categoría A: $\leq 5,0$ por ciento en masa.
- Categoría B: $\leq 7,0$ por ciento en masa.
- Categoría C: $\leq 9,0$ por ciento en masa.

El límite superior de la pérdida por calcinación de la ceniza volante, empleada como componente principal del cemento, debe indicarse en el envase o en el albarán.

Las cenizas con una elevada pérdida por calcinación pueden afectar negativamente a la durabilidad de hormigones o morteros, especialmente en lo

que concierne a la resistencia al hielo-deshielo y la compatibilidad con los aditivos.

i) Cenizas volantes silíceas (V)

La ceniza volante silícea es un polvo fino de partículas esféricas que tiene propiedades puzolánicas. Consta esencialmente de dióxido de silicio reactivo (SiO_2) y óxido de aluminio (Al_2O_3). El resto contiene óxido de hierro (Fe_2O_3) y otros compuestos.

La proporción de óxido de calcio reactivo será menor del 10,0 % en masa, y el contenido de óxido de calcio libre, determinado por el método descrito en la norma EN 451-1, no excederá del 1,0 % en masa. Las cenizas volantes que tienen un contenido de óxido de calcio libre superior al 1,0 % en masa pero inferior al 2,5% en masa son también aceptables con la condición de que el requisito de expansión (estabilidad de volumen) no sobrepase los 10 mm cuando sean ensayadas conforme a la norma EN 196-3, usando una mezcla de un 30 % en masa de ceniza volante silícea y un 70 % en masa de un cemento tipo CEM I. El contenido de dióxido de silicio reactivo no será inferior al 25 % en masa.

ii) Cenizas volantes silíceas (V) empleadas en cementos resistentes a los sulfatos (SRC) y en cementos resistentes al agua de mar (MR)

En cuanto a las cenizas volantes de los cementos resistentes a los sulfatos (SRC) de la UNE 80303-1 y en cementos resistentes al agua de mar (MR) de la UNE 80303-2 que los contengan, las especificaciones son las mismas que las indicadas en el apartado 1.1.4.ii) para las puzolanas naturales.

iii) Cenizas volantes calcáreas (W)

La ceniza volante calcárea es un polvo fino que tiene propiedades hidráulicas o puzolánicas. Consta esencialmente de óxido de calcio reactivo (CaO), dió-

xido de silicio reactivo (SiO_2) y óxido de aluminio (Al_2O_3). El resto contiene óxido de hierro (Fe_2O_3) y otros compuestos.

La proporción de óxido de calcio reactivo será superior a un 10,0 % en masa. Por un lado, si las cenizas volantes calcáreas contienen entre el 10,0 % y el 15,0 % en masa de óxido de cal reactivo, tendrán un contenido superior o igual al 25,0 % en masa de dióxido de silicio reactivo. Por otro lado, cuando las cenizas volantes calcáreas tengan más del 15,0 % en masa de óxido de calcio reactivo, tendrán una resistencia a compresión de al menos 10,0 MPa a 28 días, ensayadas conforme a la norma EN 196-1.

Para la realización del ensayo de resistencia a compresión, la ceniza volante será previamente molida hasta una finura comprendida entre el 10 % y el 30 % en masa, expresada como la proporción en masa de la ceniza retenida sobre el tamiz de 40 micrómetros, siendo tamizada en húmedo. El mortero para el ensayo de resistencia a compresión será preparado sólo con ceniza volante calcárea molida, en lugar de cemento. Las probetas de mortero deben ser desmoldadas 48 horas después de su preparación y curadas con una humedad relativa de al menos el 90 % hasta el ensayo.

La expansión (estabilidad de volumen) de las cenizas volantes calcáreas no sobrepasará los 10 mm cuando sean ensayadas conforme a la norma EN 196-3, usando una mezcla de un 30 % en masa de ceniza volante calcárea molida como se ha descrito anteriormente, y un 70 % en masa de un cemento tipo CEM I.

Si el contenido de sulfatos (expresados como SO_3) de la ceniza volante excede el límite superior permitido para el contenido en sulfato del cemento, el fabricante del cemento lo deberá de tener en cuenta reduciendo convenientemente los constituyentes que contienen sulfato de calcio.

1.1.6. Esquisto calcinado (T)

El esquisto calcinado, particularmente el bituminoso, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente 800°C. Debido a la composición del material natural y al proceso de producción, el esquisto calcinado contiene fases del clínker, principalmente silicato bicálcico y aluminato

monocálcico. También contiene proporciones mayores de óxidos puzolánicamente reactivos, especialmente dióxido de silicio, además de pequeñas cantidades de óxido de calcio libre y de sulfato de calcio. En consecuencia, en estado finamente molido, el esquisto calcinado presenta propiedades hidráulicas, como las del cemento portland, así como propiedades puzolánicas.

El esquisto de petróleo es capaz de endurecer hidráulicamente cuando es calcinado. Esto se debe a su contenido en silicato dicálcico y en aluminatos cálcicos. Su composición química se da en la **Tabla 3**. Por ejemplo, el esquisto bituminoso de Swabian (Alemania), contiene caliza en torno a un 11 % en peso de sustancias orgánicas, 41% en peso de carbonato cálcico, 27 % en peso de minerales arcillosos y 12 % en peso de cuarzo. El esquisto bituminoso se calcina en un horno de lecho fluidizado a 800°C. la energía liberada se utiliza para generar electricidad (cogeneración), y la ceniza se muele con clínker de cemento como adición.

El esquisto calcinado deberá tener una resistencia a compresión de al menos 25,0 MPa a 28 días, ensayado conforme con la norma UNE-EN 196-1. El mortero para ensayo de resistencia a compresión estará preparado sólo con esquisto calcinado finamente molido. Las probetas de mortero deben ser desmoldadas 48 horas después de su preparación y curadas con una humedad relativa superior o igual a un 90 % hasta el ensayo.

La expansión (estabilidad de volumen) del esquisto calcinado no sobrepasará los 10 mm, ensayada conforme a la norma UNE-EN 196-3, usando una mezcla de un 30 % en masa de esquisto calcinado y un 70 % en masa de un cemento tipo CEM I.

Si el contenido en sulfatos (expresado como SO_3) del esquisto calcinado excede el límite superior permitido para el contenido de sulfatos en el cemento, el fabricante del cemento lo deberá de tener en cuenta reduciendo convenientemente los constituyentes que contienen sulfato de calcio.

1.1.7. Caliza (L, LL)

La caliza actúa como un elemento de relleno en el cemento ya que no participa en las reacciones de endurecimiento de los componentes hidráulicos

activos. Sin embargo, como consecuencia de sus propiedades físicas, especialmente su distribución de tamaño de partículas, mejora las propiedades de la pasta de cemento tanto fresca como endurecida. Este efecto se basa en el relleno de espacios vacíos entre las partículas del cemento. La demanda de agua de la pasta, del mortero y del hormigón se ve reducida y su docilidad mejorada. Esto lleva a una estructura más densa que compensa el efecto diluyente. Además, el clínker de cemento portland deberá ser molido más fino. La cantidad de caliza que actúa como elemento de relleno no deberá exceder el 20 % en peso y no deberá perjudicar otras propiedades; por ejemplo, no deberá disminuir la resistencia al hielo-deshielo del hormigón fabricado con este tipo de cemento. Las calizas deben cumplir las exigencias siguientes:

- a. El contenido de carbonato de calcio (CaCO_3), calculado a partir del contenido de óxido de calcio, no será inferior al 75% en masa.
- b. El contenido de arcilla, determinado por el método del azul de metileno conforme a la norma UNE-EN 933-9 será menor de 1,20 g/100 g. Para este ensayo, la caliza estará molida a una finura aproximada de 5000 cm^2/g , determinada como superficie específica conforme a la norma UNE-EN 196-6.
- c. El contenido de carbono orgánico total (TOC), determinado conforme a la norma UNE-EN 13639, cumplirá uno de los siguientes criterios:
 - Para los subtipos LL: no excederá del 0,20 % en masa.
 - Para los subtipos L: no excederá del 0,50 % en masa.

1.1.8. Humo de sílice (D)

El humo de sílice se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio, y consiste en partículas esféricas muy finas conteniendo al menos el 85 % en masa de dióxido de silicio amorfo. Consta de partículas muy finas y principalmente, esféricas con un área de superficie específica BET de al menos 15 m^2/g , pero normalmente mayor de 20 m^2/g .

Consecuentemente, el humo de sílice tiene una densidad aparente baja. Esta es la razón por la que este material se compacta, se granula antes de su transporte y se maneja como si fuese una pasta dispersa en agua (*slurry*) cuando se utiliza como adición del hormigón. Suele tener una marcada reactividad puzolánica ya que reacciona con el hidróxido cálcico para formar hidratos de silicato cálcico. Además de su utilización como un constituyente principal del cemento, el humo de sílice se utiliza también como adición en el hormigón de alta resistencia (HAR) y de altas prestaciones (HAP). La elevada finura del humo de sílice incrementa la demanda de agua de la pasta, del mortero y del hormigón. Así pues, es necesaria la utilización de aditivos reductores de agua y modificadores de viscosidad.

El humo de sílice cumplirá los siguientes requisitos:

- a. La pérdida por calcinación no superará el 4,0 % en masa, determinada conforme a la norma EN 196-2 pero empleando un tiempo de calcinación de 1 hora.
- b. La superficie específica (BET) del humo de sílice sin tratar será al menos de 15,0 m²/g, determinada conforme a la norma ISO 9277.

i) Humo de sílice (D) empleado en los cementos resistentes a los sulfatos (SRC) y en los cementos resistentes al agua de mar (MR)

En cuanto al humo de sílice empleado en los de los cementos resistentes a los sulfatos (SRC) de la UNE 80303-1 y en cementos resistentes al agua de mar (MR) de la UNE 80303-2 que los contengan, las especificaciones son las mismas que las indicadas en el apartado 1.1.4.ii) para las puzolanas naturales.

1.2. Componentes minoritarios adicionales

Los componentes adicionales minoritarios son materiales minerales naturales o derivados del proceso de fabricación del clínker o del cemento. Éstos estarán correctamente seleccionados, homogeneizados, secados y pulveriza-

dos, en función de su estado de producción o suministro. Su proporción se limita al 5 % en peso.

Los componentes adicionales minoritarios no aumentarán sensiblemente la demanda de agua del cemento, no disminuirán la resistencia del hormigón o del mortero en ningún caso, ni reducirán la protección de las armaduras frente a la corrosión. Estos componentes suelen mejorar las propiedades físicas de los cementos, tales como la docilidad o la retención de agua.

La información sobre los componentes adicionales minoritarios del cemento será facilitada por el fabricante cuando lo solicite el usuario.

1.3. Sulfato de calcio

El sulfato de calcio se añade durante la fabricación del cemento para controlar el fraguado. El sulfato de calcio puede ser yeso (sulfato de calcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), o anhidrita (sulfato de calcio anhidro, CaSO_4), o cualquier mezcla de ellos. El yeso y la anhidrita se encuentran en la naturaleza. Además, el sulfato de calcio también puede obtenerse como subproducto de ciertos procesos industriales, por ejemplo, hay yeso sintético proveniente de la desulfuración de gases de las centrales eléctricas.

Los sulfatos actúan también como activadores del desarrollo de la resistencia. Por razones de estabilidad de volumen, el contenido total de sulfatos de los cementos (expresado como SO_3) debe ser menor de 3,5 ó 4,0% en peso. El yeso se deshidrata parcialmente en el molino a temperaturas superiores a 80°C dando lugar a hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$).

1.4. Aditivos

Los aditivos son componentes no contemplados en los apartados anteriores, que se añaden para mejorar la fabricación o las propiedades del cemento. Estos aditivos no deberán perjudicar las propiedades del cemento, de los morteros u hormigones fabricados con él, ni causar la corrosión de las armaduras o metales embebidos en ellos. La cantidad total de aditivos en los

cementos no excederá del 1% en masa del cemento (a excepción de los pigmentos); mientras que la cantidad de aditivos orgánicos no excederá del 0,2 % en masa del cemento, medida sobre el residuo seco.

1.4.1. Aditivos de la UNE-EN 197-1:2011

Cuando se usan en un cemento común de la UNE-EN 197-1:2011 aditivos para el hormigón, mortero o lechadas conforme a las normas de la serie UNE-EN 934, la designación normalizada del aditivo debe declararse en los sacos o albaranes.

1.4.2. Aditivos de la UNE-EN 413:2011

En los cementos de albañilería de la UNE-EN 413-1:2011, se emplean agentes aireantes con el fin de mejorar su docilidad y durabilidad. Sin embargo, se limita su contenido máximo con el fin de asegurar una buena adherencia. El signo «X» indica que el cemento en cuestión no lleva un agente aireante incorporado.

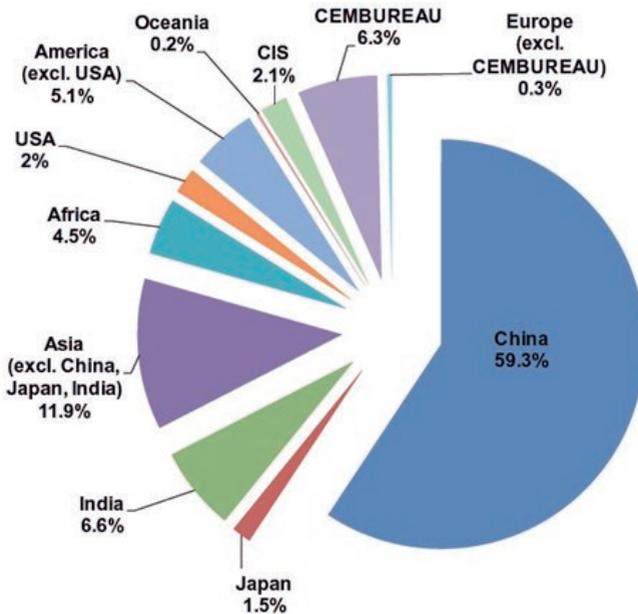
En los cementos de la UNE-EN 413-1:2011, se permite hasta un 10% de pigmentos inorgánicos conforme con la norma UNE-EN 12878 con la excepción de negro de carbono.

Capítulo 4. Producción y consumo actual de cemento en el mundo

La producción mundial de cemento en 2011 se estimó en un total de 3600 millones de toneladas, un 7,6% más que en 2010. China produjo 2100 millones de toneladas en 2011 lo que representa un 57,3% de la producción mundial (**Figura 1**). Asia es el continente líder en la producción de cemento con un 78% de la producción mientras que la Unión Europea EU27 tan solo contribuye con el 6%.

Figura 1

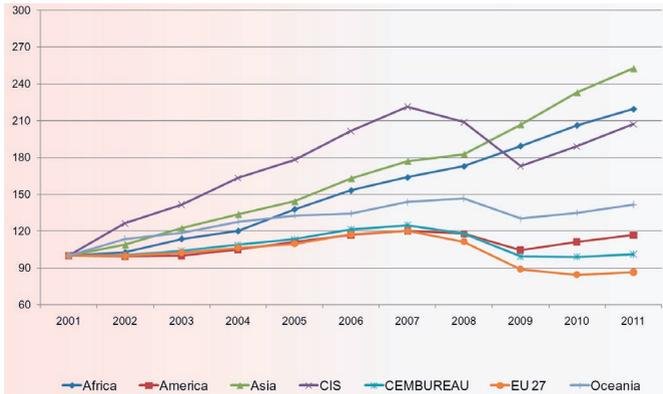
PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CEMENTO EN PORCENTAJE EN 2011, DE UN TOTAL DE 3600 MILLONES DE TONELADAS



Fuente: CEMBUREAU, 2012

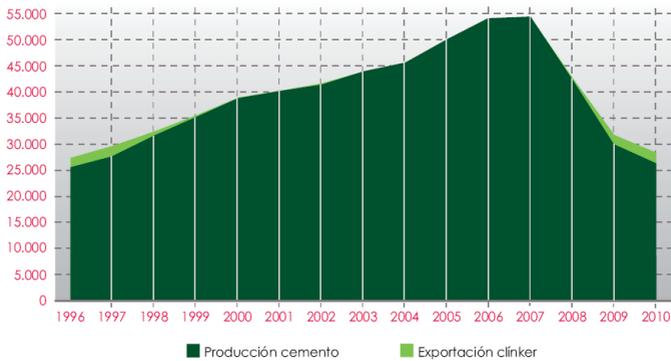
Por otro lado, la producción mundial de cemento en el año 2000 fue de unos 1.670 millones de toneladas (**Figura 2**), de los cuales, 194,3 millones de toneladas correspondieron a la Unión Europea (11,4% de la producción mundial), de las que España produjo 38,2 millones de toneladas (**Figura 3**). La **Figura 3** presenta la producción en España (1996-2010), observándose el efecto de la crisis económica iniciada en el verano de 2007.

Figura 2
EVOLUCIÓN MUNDIAL DE LA PRODUCCIÓN DEL SECTOR CEMENTERO
EN CENTENAS DE MILLONES DE TONELADAS



Fuente: CEMBUREAU, 2012

Figura 3
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL SECTOR CEMENTERO ESPAÑOL
EN MILES DE TONELADAS



Fuente: Oficemen, 2011

De los 47 millones de toneladas de cemento producidas en España del máximo histórico del año 2007 se ha pasado a los 15,8 de 2012 lo que representa una reducción del 66% de la producción de cemento en cinco años (**Tabla 4**). Además, las previsiones para 2014 son un descenso estimado entre un 7 y 8% con relación al 2013. Por tanto, la tendencia descendente en cuanto al consumo y, por tanto, producción de cemento continúa en 2014 y no parece que tampoco se establezca en 2015.

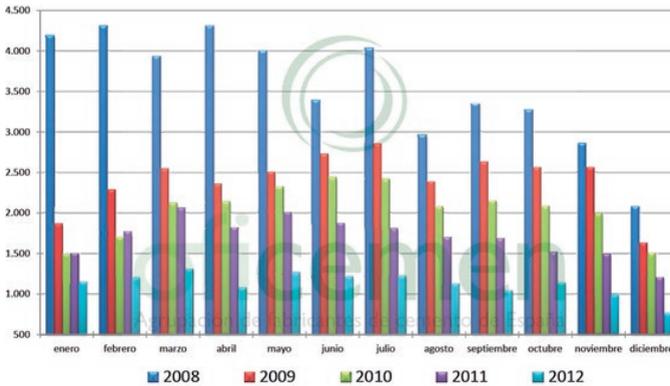
Tabla 4
PRINCIPALES CIFRAS DEL SECTOR CEMENTERO ESPAÑOL
(TONELADAS). DATOS ACUMULADOS DEL AÑO (ENERO-DICIEMBRE DE
2009-2013)

	2013	2012	2011	2010	2009	%Variación (2011-2009)	%Variación (2012-2009)	%Variación (2013-2009)
Producción de cemento	13.169.630	15.830.104	21.984.909	26.165.763	29.504.574	-25,49%	-46,35%	55,36%
Consumo nacional	10.980.710	13.500.987	20.243.584	24.456.014	28.913.148	-29,98%	-53,31%	62,02%

El consumo per cápita en 2007 en España superaba los 1100 kg/año, mientras que en 2010 fue de unos 560 kg/año y en 2012 aún descendió más hasta los 376 kg/año (**Figura 4**). Los datos tan bajos de consumo (20,4 y 13,5 millones de toneladas de cemento en 2011 y 2012, respectivamente) se intentaron compensar en parte con exportaciones (4,0 y 5,9 millones de toneladas de cemento en 2011 y 2012, respectivamente).

Figura 4.

Consumo mensual de cemento en España en miles de toneladas. Resultados estadísticos preliminares - sujetos a cambios



Fuente: Oficemen, 2013

En la Unión Europea hay unas 300 fábricas de cemento (fábricas con hornos de clínker y molinos de cemento o, en algunos casos, únicamente con molienda de cemento), y más de 400 hornos de clínker. En España, de las 42 fábricas de cemento (6 eran de molienda y 36 fábricas integrales con 58 hornos de clínker) y más de 100 molinos de cemento en el año 2000 se ha pasado a 35 fábricas en 2013. La tendencia a comienzos del siglo XXI fue la de incrementar la capacidad de producción de las fábricas, siendo de 3.000 toneladas/día (1.000.000 de toneladas/año) la capacidad de producción típica en las fábricas de la Unión Europea. Asimismo, en el año 2000 había 17 empresas fabricantes de cemento en España pertenecientes a 14 grupos empresariales, mientras que en 2013 tan solo quedaban 9 grupos empresariales.

Desde 1970 a 1991, se incrementó el rendimiento hombre/año de la producción de cemento en la UE de 1.700 a 3.500 toneladas. Por tanto, el número de personas empleadas en la industria del cemento en la Unión Europea al comienzo del siglo XXI era inferior a 60.000 (6900 en España). La inversión necesaria para la construcción de una fábrica de cemento puede representar

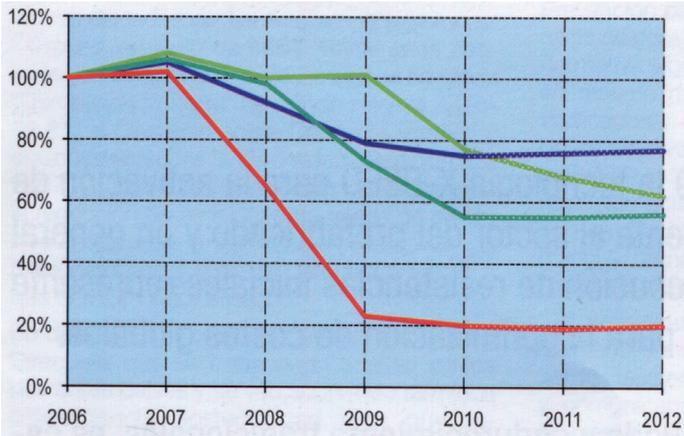
la facturación de unos tres años y la Mejor Técnica Disponible (MTD) consiste en un horno rotatorio dotado de precalentador de ciclones multietapas y precalcinador. El consumo energético de un horno nuevo de este tipo se estima entre 2900 y 3200 MJ/tonelada de clínker. La fabricación de cemento consume energía térmica para la cocción de las materias primas, y eléctrica para las operaciones de molienda, manipulación de materiales e impulsión de gases. Los costes energéticos (combustibles y electricidad) se sitúan alrededor del 30% de los costes de producción.

El consumo y la producción de cemento están directamente relacionados con el sector de la construcción. La **Tabla 5** muestra el consumo de cemento en España por sectores en el año 2000. De igual manera, las **Figuras 5 y 6** muestran la evolución del sector de la construcción en España desde el año 2006 hasta el 2012 desglosado para cada aplicación (ingeniería civil; rehabilitación; residencial; y no residencial) en comparación con el resto de Europa. El año 2013, el consumo de cemento a nivel nacional destinado a vivienda ha sido de un 19%, a edificación no residencial un 24% y a obra civil un 57%.

Tabla 5
CONSUMO DE CEMENTO EN ESPAÑA POR SECTORES EN EL AÑO 2000
 (%)

Aplicación	Consumo porcentual (%)
EDIFICACION RESIDENCIAL	32,5
EDIFICACION NO RESIDENCIAL	17,7
OBRA CIVIL Y MANTENIMIENTO	43
EDIFICACION	6,8
CONSUMO ESTIMADO DE CEMENTO	100

Figura 5
 EVOLUCIÓN DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA. ÍNDICE DE PRODUCCIÓN A PRECIOS CONSTANTES

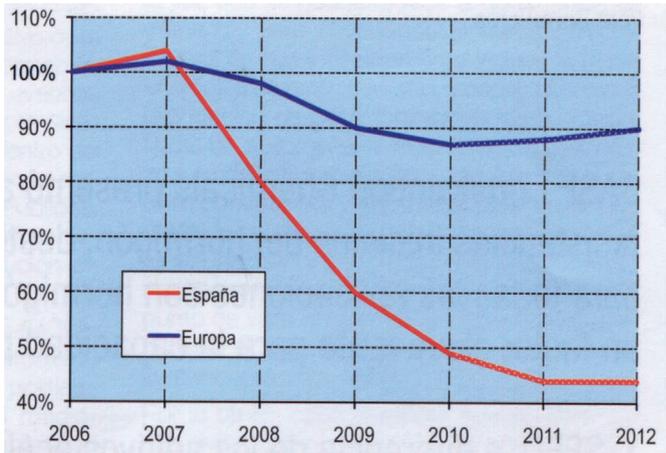


Verde claro: ingeniería civil; azul: rehabilitación; verde oscuro: no residencial; rojo: residencial.

Fuente: Euroconstruct, junio 2010

Figura 6
 COMPARATIVA DE LA EVOLUCIÓN DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

EN ESPAÑA Y EN EUROPA. ÍNDICE DE PRODUCCIÓN A PRECIOS CONSTANTES



Fuente: Euroconstruct, junio 2010

Capítulo 5. Proceso de fabricación del cemento

La fabricación del cemento es un proceso industrial que se realiza en instalaciones de gran escala. Básicamente, la fabricación de cemento consiste en:

- a. Obtención, almacenamiento y preparación de materias primas (caliza, marga, arcilla) que son finamente molidas para obtener el crudo.
- b. Almacenamiento y preparación de combustibles
- c. Cocción del crudo en un horno rotatorio hasta temperaturas de 1.450°C (2.000°C de temperatura de llama) para la obtención de clínker de cemento.
- d. Molienda conjunta del clínker con otros componentes (cenizas volantes, escoria, puzolana natural, yeso, etc.) para obtener el cemento.
- e. Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento.

Figura 7
ESQUEMA GENERAL DE LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO

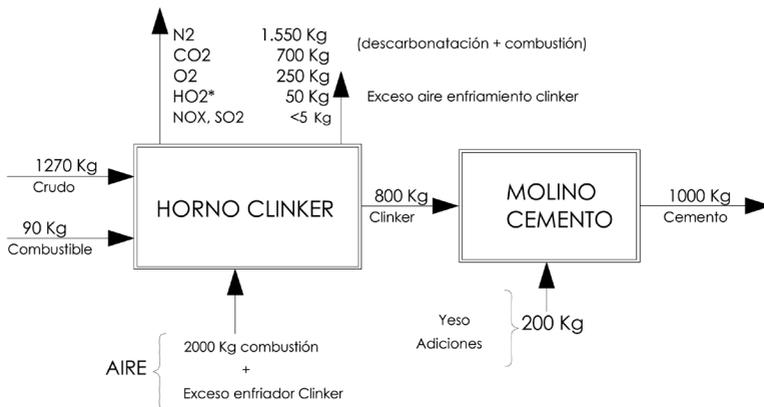


La **Figura 7** muestra el esquema general de la fabricación del cemento y la **Figura 8** el balance de materia de la producción de 1.000 kg de cemento con el proceso vía seca, para una fábrica que utilice fuelóleo como combustible. Las materias primas se mezclan en proporciones controladas y molidas, son cocidas en hornos rotatorios a temperaturas superiores a 1.400°C dando lugar a un material denominado clínker portland, el cual molido a tamaño inferior a 0,1 mm con una pequeña adición de yeso, necesario para controlar la fase inicial de reacción con el agua de amasado (fraguado), constituye el cemento portland.

Una fábrica con una capacidad de producción de clínker de 3.000 toneladas de clínker/día, fábrica cerca de 1 millón de toneladas de clínker/año y 1,23 millones de toneladas de cemento/año (relación cemento/clínker = 1,23 media en la UE).

Figura 8
BALANCE DE MATERIA PARA LA PRODUCCIÓN DE 1000 Kg DE CEMENTO (K/C=0,8; 850 Kcal/Kg CLÍNKER; POTENCIA CALORÍFICA DEL

CLÍNKER = 7500 Kcal/Kg). LA HUMEDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS (50-150 Kg) SE SUMA AL AGUA DE LA COMBUSTIÓN



1. LAS MATERIAS PRIMAS. EXTRACCIÓN, TRITURACIÓN, SECADO Y MOLIENDA

Los componentes principales del cemento portland son: CaO, sílice, óxido de hierro y alúmina, del clinker y el sulfato cálcico añadido en la fase final de la molienda. Las materias primas aportan, además, otros compuestos secundarios como óxidos de magnesio, sodio y potasio. Por tanto, hay que conseguir unas materias primas que contengan estos componentes.

1.1. Obtención de materias primas

En la tierra existe carbonato cálcico en forma de caliza, marga o creta. La sílice, el óxido de hierro y la alúmina se encuentran en la arena, pizarra, arcilla, mena de hierro, etc. También se pueden emplear subproductos y residuos como sustitutos parciales de las materias primas naturales. En España se emplean fundamentalmente:

- Escoria de horno alto
- Cascarillas de hierro
- Arenas de fundición
- Lodos de papeleras
- Cenizas volantes de central térmica

Y en otros países europeos también se emplean:

- Humo de sílice
- Escoria de acería
- Lodos de papeleras
- Cenizas de piritas
- Fosfoyesos (de la desulfuración de gases y producción de ácido fosfórico)

La extracción de las materias primas naturales se hace en canteras, normalmente, a cielo abierto próximas a la planta (caliza, marga y arcilla). Las operaciones de extracción incluyen perforación de rocas, voladuras, excavaciones, acarreo y trituración. Después de la trituración primaria, las materias primas se transportan a la planta de cemento para su almacenamiento y homogeneización. Otras materias primas se suministran a través de fuentes externas (p.e. minerales de hierro, arenas de fundición, etc.).

1.1.1 Almacenamiento, homogeneización y preparación de materias primas

La composición química del crudo y la adecuada finura del mismo es fundamental para el subsiguiente proceso de cocción en el horno. Esto se logra controlando la dosificación en la molienda del crudo. Se puede lograr una prehomogenización inicial por apilamiento del material (caliza, marga, etc.) y extracción tomando secciones transversales de toda la pila.

Las materias primas empleadas en pequeñas cantidades (arena, pirita, etc.) se pueden almacenar en silos o tolvas.

El almacenamiento promedio se estima entre 20.000 y 40.000 toneladas de material en una planta de 3.000 toneladas/día de producción de clínker.

1.1.2 Molienda de materias primas

Un crudo de composición química homogénea se consigue dosificando las materias primas que se alimentan al molino con exactitud. Esto es importante para un buen funcionamiento del horno y para la eficiencia energética del sistema de molienda. El equipo de dosificación de las materias primas a los molinos más habitual consta de tolvas intermedias, con extracción sobre básculas dosificadoras y un alimentador de banda para introducir el material al molino.

Hay cuatro procesos para la fabricación del cemento: seco, semisecho, semihúmedo y húmedo. La elección del proceso tiene una gran importancia y viene determinada por el estado de las materias primas (secas o húmedas).

i) Molienda de materias primas en los sistemas de vía seca y semiseca

Las materias primas, en proporciones controladas, se muelen y se mezclan juntas para formar una mezcla homogénea con la composición química requerida. Para los sistemas de horno seco y semisecho, los componentes de las materias primas se muelen y se secan hasta lograr un polvo fino, haciendo uso principalmente de los gases calientes de salida del horno o del aire de salida del enfriador de clínker. Para las materias primas con alto contenido de humedad, y en los procesos de arranque, puede necesitarse un hogar auxiliar para proporcionar calor adicional.

Los sistemas más usuales de molienda en seco son:

- molino de bolas con descarga central;
- molino de bolas con barrido por aire;
- molino vertical de rodillos;
- molino horizontal de rodillos (actualmente hay pocas instalaciones).

Otros sistemas de molienda poco empleados son:

- molino de bolas con descarga final en circuito cerrado;
- molino en circuito abierto;
- prensa de rodillos, con o sin secador triturador.

La finura y la distribución granulométrica de las partículas de crudo que salen del sistema de molienda se controlan mediante el ajuste del separador. En la molienda de vía seca, se emplean separadores de aire.

ii) Molienda de materias primas, en los sistemas de vía húmeda o semihúmeda

Los hornos de vía húmeda o semihúmeda emplean la molienda húmeda. Los componentes de las materias primas se muelen junto con agua añadida para formar una pasta. Para lograr la finura requerida de la pasta suelen utilizarse los sistemas de molienda en circuito cerrado.

La pasta que sale del proceso de molienda, requiere posteriormente un proceso de mezcla y homogeneización para lograr la óptima composición del crudo, antes de ser enviada al horno. La pasta se almacena en balsas, tanques o bien en silos.

1.1.3 Análisis de materias primas por gammimetría

Esta es una técnica que se está aplicando desde hace poco tiempo en las fábricas de cemento. Consiste en analizar la respuesta que se obtiene de una muestra al ser sometida a una radiación gamma. Se aplica en continuo sobre la cinta transportadora de la mezcla de la materia prima. La dosificación se corrige en básculas de forma casi continua con lo que se obtiene una alimentación muy homogénea.

2. LA ALIMENTACIÓN DEL HORNO

2.1. Dosificación del crudo

Michaelis estableció una relación para la composición del crudo del cemento portland que llamó módulo hidráulico (MH).

$$MH = \text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) = 1,7 - 2,2 \text{ (para el CAC, MH} = 0,5 - 0,65)$$

Kühl incorporó el módulo de silicatos (MS) que puede variar de 1,2 a 4,0 pero el rango medio puede estar entre 2,4 y 2,7.

$$MS = \text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Además, se utiliza el módulo de fundentes (MF) que puede variar de 1,0 a 4,0 pero el rango medio puede situarse entre 1,5 y 2,5.

$$MF = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$$

Kühl introdujo el estándar de cal, K, que definió como:

$$K = 100 \cdot \text{CaO}/(2,8 \text{ SiO}_2 + 1,1 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ Fe}_2\text{O}_3)$$

El valor de K se fija entre 90 – 95 para clínkeres con baja saturación en cal o en 95 – 98 para cementos de alta saturación en cal.

Aunque existen métodos gráficos y numéricos para obtener la dosificación de un crudo, actualmente las dosificaciones se establecen fijando la saturación en cal y los módulos de fundentes y de silicatos. Cada hora se toman muestras de clínker que se analizan (FRX, peso/litro) para determinar su saturación en cal y corregir, si procede², la alimentación del horno. La relación de alimentación de crudo/clínker es de 1,65-1,75.

² No son admisibles valores superiores a un 0,2% de CaCO₃ ó 1% CaC (l).

2.2. Manipulación de residuos y alimentación al horno

Una vez autorizada la utilización de residuos como combustibles alternativos en el horno de cemento, la gestión de los mismos en la fábrica se estructura en cuatro etapas:

1° Recepción: Cada cargamento entrante en la fábrica es sometido a un control e inspección, que incluye desde el pesaje y observación visual, hasta la analítica completa para determinados residuos.

2° Almacenamiento: el residuo es descargado en fábrica para su almacenamiento temporal y cuyo fin es regular adecuadamente el flujo de residuos al horno. Los residuos líquidos se almacenan en depósitos estancos. Los residuos sólidos se almacenan en acopios, en naves o en tolvas.

3° Alimentación al horno: Desde el almacenamiento, los residuos son transportados hasta el punto de entrada al horno que puede ser: el quemador principal o la zona de calcinación. Los residuos líquidos pueden alimentarse a uno u otro, y son inyectados mediante bombas hidráulicas en tuberías a presión. Los quemadores se diseñan para que la combustión se realice en las condiciones de temperatura, turbulencia y exceso de oxígeno adecuadas.

Para los residuos sólidos gruesos (neumáticos, balas de plástico, etc) la entrada al horno se realiza por gravedad, a través de un sistema de compuertas o clapetas que reduce la entrada de aire falso (el horno está en depresión por acción del ventilador). La alimentación de residuos sólidos pequeños se puede realizar a través de tuberías en las que el residuo es arrastrado e inyectado por aire.

4° Control del proceso: La alimentación al horno se debe realizar únicamente cuando las condiciones de combustión y el funcionamiento de los filtros garantizan la destrucción de los compuestos orgánicos presentes en el residuo y el cumplimiento de los límites de emisión a la atmósfera.

3. EL HORNO

La química básica del proceso de la fabricación del cemento empieza con la descomposición del carbonato cálcico (CaCO_3) a unos 900°C dando óxido cálcico (CaO) y liberando dióxido de carbono (CO_2); este proceso se conoce

como calcinación o descarbonatación. Sigue el proceso de clinkerización en el que el óxido de calcio reacciona a alta temperatura (1.400– 1.500°C) con sílice, alúmina y óxido de hierro para formar los silicatos, aluminatos y ferritos de calcio que componen el clínker. El clínker se muele conjuntamente con yeso y otras adiciones para producir el cemento.

Como se ha explicado en el apartado 1º de este capítulo, los cuatro procesos para la fabricación del cemento son: procesos seco, semisecho, semihúmedo y húmedo. En cuanto a los tipos de horno que se pueden emplear en cada proceso son los siguientes:

i) En el proceso seco, las materias primas son trituradas y secadas para formar el crudo o harina. El crudo se alimenta a un horno con precalentador o con precalcinador, o más raramente, a un horno largo de vía seca. (**Figura 9**).

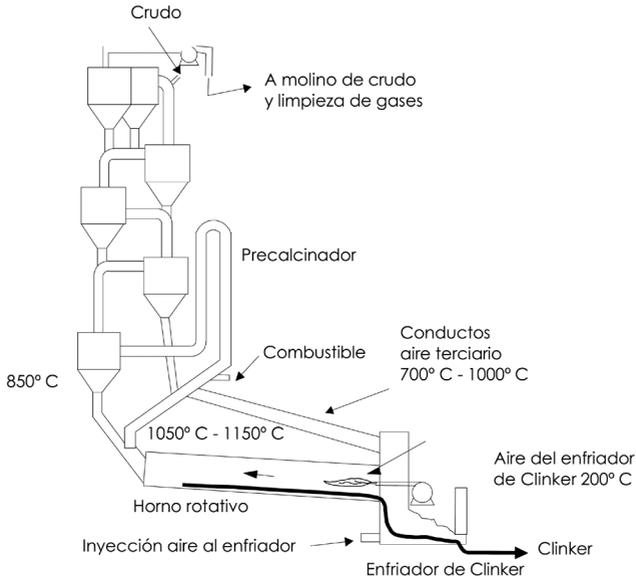
ii) En el proceso semisecho, la harina seca se peletiza (granula) con agua y alimenta un precalentador de parrilla delante del horno o un horno largo equipado con cadenas.

iii) En el proceso semihúmedo, la pasta de crudo y agua, se escurre en filtros prensa. Las tortas del filtro son extruídas en forma de gránulos que alimentan bien a un precalentador de parrilla, o bien directamente a un secador de tortas de filtrado para la producción de crudo.

iv) En el proceso húmedo, las materias primas (a menudo con alto contenido de humedad) se muelen con agua para formar una pasta bombeable. La pasta es alimentada directamente al horno, o previamente se pasa por un secador de pasta.

En Europa, más del 75% de la producción es por vía seca. En España es del 93%: de los 58 hornos existentes 47 son de vía seca. Los procesos húmedos consumen más energía. Las plantas que emplean procesos húmedos lo suelen hacer porque tienen materias primas húmedas. En España, en el año 2005 había 5 hornos de vía húmeda (3% de la capacidad de producción) y 6 hornos de vía semisecha (4% de la capacidad de producción).

Figura 9
PROCESO DE VÍA SECA CON PRECALCINADOR



3.1. Evolución histórica

En las etapas iniciales, se empleó el sencillo horno vertical operado de forma discontinua. Más tarde, también se empleó el horno anular utilizado inicialmente para fabricar ladrillos cerámicos con objeto de calcinar el clínker de cemento y surge, en este momento, el término «clínker de cemento». Los primeros hornos rotatorios de clínker de cemento se usaron en Estados Unidos en 1895 y en Alemania en 1896. Polysius introdujo en Alemania en 1929 el primer horno con precalcinador de parrilla. El primer horno de precalcificación en suspensión mediante ciclones a escala industrial se construyó en 1953 (patente danesa de 1932).

3.2. Cocción del clínker

Para la fabricación de clínker, el crudo (o harina), o la pasta en la vía húmeda, se lleva al horno en donde se seca, se calcina y se sinteriza para producir clínker de cemento. El clínker se enfría con aire y luego se almacena.

En el proceso de formación del clínker (también llamado clínkerización o sinterización) las temperaturas del material en el horno se encuentra en el rango de 1.400-1.500 °C, que se corresponden con unas temperaturas de llama de 2.000 °C. La reacción de clínkerización se realiza en condiciones oxidantes. Por lo tanto, se requiere un exceso de aire en la zona de clínkerización.

Desde que se introdujo el horno rotatorio, en el año 1895, se ha convertido en la mejor técnica disponible (MTD) de todas las instalaciones modernas de producción de clínker. El horno vertical se emplea todavía para la producción de cal, pero solo en muy pocos países se utiliza para la producción de clínker de cemento y, en estos casos, se trata de plantas de pequeña escala.

El horno rotatorio consta de un tubo de acero con una relación de longitud:diámetro entre 10:1 y 38:1, soportado por estaciones de apoyo (de dos a siete), con una inclinación de 2,5 a 4,5% y una velocidad de rotación de 0,5 a 4,5 rpm. El horno rotatorio se forra internamente con ladrillos refractarios para proteger la chapa de las altas temperaturas. Además, los hornos de vía húmeda están equipados con cadenas para mejorar la transferencia de calor.

Pueden producirse obstrucciones transitorias de material alrededor de la superficie interior del horno (anillos), dependiendo del proceso y de las materias primas y pueden aparecer en la entrada del horno, en la zona de clínkerización, o en la salida del clínker. Los taponamientos en la zona de clínkerización o en la salida del clínker pueden desprenderse de repente y causar una avalancha de material mal cocido. Los ciclones de las torres de precalentamiento y las parrillas de los hornos con precalentador pueden presentar igualmente obstrucciones.

La alimentación de combustible al horno puede realizarse:

- a través del quemador principal (mechero), situado en el extremo de salida del horno rotatorio;
- a través de los quemadores secundarios en el conducto de entrada al horno;
- a través de los quemadores del precalcinador en hornos con precalcinador;
- a través de la tolva de alimentación al precalcinador (para combustible no pulverizado);
- a través de una válvula de alimentación situada en la mitad del horno (*midkiln*) en el caso de hornos largos (para combustibles no pulverizados).

El combustible inyectado a través del quemador principal (mechero), produce la llama principal (temperatura de llama de unos 2.000°C) cuyo tamaño se ajusta mediante la regulación del aire primario (10-15% del total del aire de combustión) que se introduce por multicanales situados alrededor de la boquilla inyectora de combustible y aire secundario (quemador principal o mechero).

En el caso de utilizar carbón/coque de petróleo como combustible, se puede alimentar directa o indirectamente. El combustible pulverizado se inyecta directamente dentro del horno con el aire del molino (aire primario). La alimentación indirecta tiene como desventaja las pérdidas de calor del horno, que están alrededor de 200-250 MJ/tonelada de clínker (6 a 8% más alto que en los hornos modernos), por eso no se utiliza actualmente.

El fuelóleo, a viscosidad y presión adecuadas, se inyecta a través de una boquilla de atomización en el horno que ocupa una posición central.

En los quemadores del horno para gas natural, el gas reemplaza al aire primario.

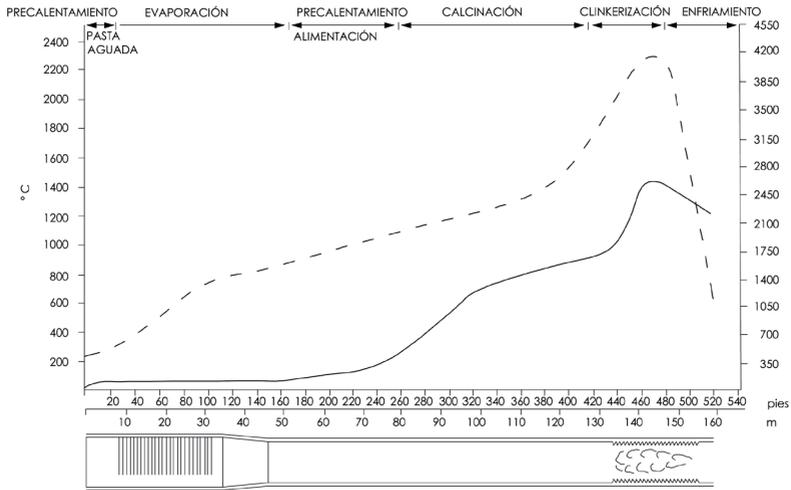
3.3. Tipos de hornos

3.3.1 Hornos rotatorios largos

Los hornos rotatorios largos (**Figura 10**) se pueden alimentar con pasta, tortas de filtrado molidas, nódulos o crudo seco y, por ello, son aptos para todos los tipos de proceso. Los hornos largos más grandes tienen una relación longitud a diámetro de 38:1 y pueden tener más de 200 metros de longitud. Estas enormes unidades producen alrededor de 3.600 toneladas/día empleando el proceso húmedo (Bélgica, USA, Rusia). Los hornos rotatorios largos están diseñados para secar, precalentar, calcinar y clinkerizar. Por tanto, se completan con el sistema de alimentación y el enfriador. La parte primera de los hornos largos va equipada con cadenas para mejorar la transferencia de calor.

Los hornos de proceso húmedo son los tipos más antiguos (1895) de hornos rotatorios empleados en la producción de clínker. Inicialmente se empleó con materias primas húmedas, más fáciles de homogeneizar (de 32 a 40% de agua). Este agua se debe evaporar en la zona de entrada al horno, por lo que se tiene un consumo de calor superior a la vía seca.

Figura 10
HORNO ROTATORIO LARGO DE VÍA HÚMEDA CON CADENAS



3.3.2. Hornos rotatorios equipados con precalentadores

Los hornos rotatorios con precalentadores tienen una relación longitud:diámetro de entre 10:1 y 17:1. Hay dos tipos de precalentadores: precalentadores de parrilla y de suspensión.

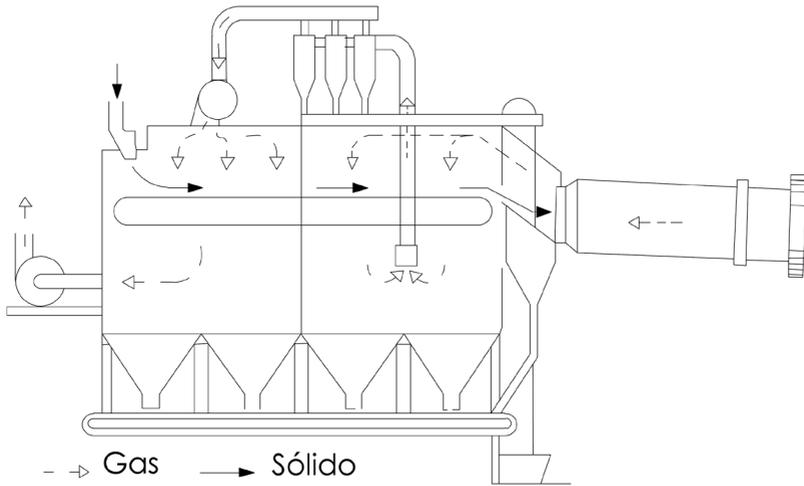
i) precalentador de parrilla

En el precalentador de parrilla (horno Lepol, 1928) (**Figura 11**) parte de la calcinación tiene lugar fuera del horno. Los gránulos que se han formado con harina cruda y agua en un plato granulador (proceso semiseco) o las tortas filtradas de lechada húmeda en un extrusor (proceso semihúmedo) se alimentan a una parrilla horizontal móvil que se desplaza a través de un túnel cerrado. Las placas de la parrilla permiten el paso de aire a través de las mismas. El túnel se divide en una cámara de gas caliente y una cámara de secado separadas por un tabique atravesado por la parrilla. El gas de salida del horno rotatorio, aspirado por un ventilador, pasa primeramente a través

de las capas de gránulos en la cámara de gas caliente y luego a través de los ciclones del colector intermedio de polvo. En estos ciclones se eliminan las partículas grandes de polvo, que causarían desgastes por erosión o abrasión en el ventilador. Un segundo ventilador dirige al gas a la parte superior de la cámara de secado, atravesando las capas húmedas de gránulos, y finalmente lo lleva al colector de polvo. Para conseguir una óptima eficacia térmica, los precalentadores de parrilla semihúmedos pueden equiparse con sistemas de triple paso de gas. La capacidad máxima de un sistema con horno semihúmedo es de unas 3.300 toneladas/día. Este sistema permite que el horno rotatorio sea mas corto (menor pérdida de calor).

El gas de salida del horno rotatorio entra en el precalentador con una temperatura de 1.000-1.100 °C, fluye a 250-300 °C, y sale de la cámara de secado a 90-150 °C. El material alcanza una temperatura de unos 150 °C en la cámara de secado y de 700-800 °C en la cámara de calentamiento.

Figura 11
PRECALENTADOR DE PARRILLA



ii) precalentador de suspensión

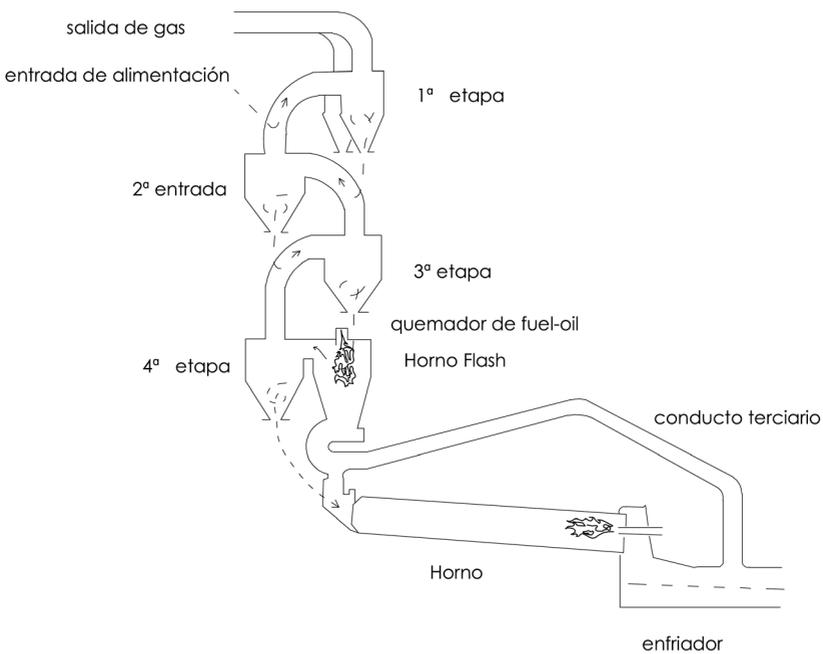
En el precalentador de suspensión (intercambiador de calor de ciclones, 1930) se produce el precalentamiento y la calcinación parcial del crudo seco (procesos seco y semihúmedo) por medio de mantener en suspensión a la harina cruda con los gases calientes de salida del horno rotatorio. Estos fluyen de las etapas de ciclones inferiores a los superiores.

En cada ciclón se separa el sólido del gas y se alimenta a la siguiente etapa de ciclones (**Figura 12**). Este procedimiento se repite en todas las etapas hasta que, finalmente, el material sólido se descarga desde la última etapa al horno rotatorio. El proceso de mezcla, separación y nueva mezcla, cada vez a temperaturas más altas, permite la óptima transferencia entre el calor de los gases de salida y la harina cruda.

Hay diversos sistemas de precalentador en suspensión con cuatro o seis etapas de ciclones situados uno sobre otro en una torre de 50-120 metros de altura. La etapa superior puede llevar dos ciclones en paralelo para separar mejor el polvo.

Los ciclos altamente enriquecidos de iones como cloruros, sulfatos y álcalis provocan la formación de pegaduras en los ciclones. El desvío de parte de la corriente del gas del horno (purgando cloruros, sulfatos y álcalis) es una solución empleada para resolver el problema.

Figura 12
PRECALENTADOR DE SUSPENSIÓN



Con el precalentador de cuatro etapas de ciclones cuando el crudo entra en el horno rotatorio, ya se ha calcinado un 30% del crudo (En 1970, en España

había varios ejemplos con una capacidad de 1.000 a 3.000 toneladas/día). Los hornos tienen diámetros de 3,5 a 6 metros con relaciones longitud: diámetro de 13:1 a 16:1.

El gas de salida después de la torre de ciclones, que tiene una temperatura de alrededor de 330 °C, se emplea generalmente para el secado de las materias primas y del combustible.

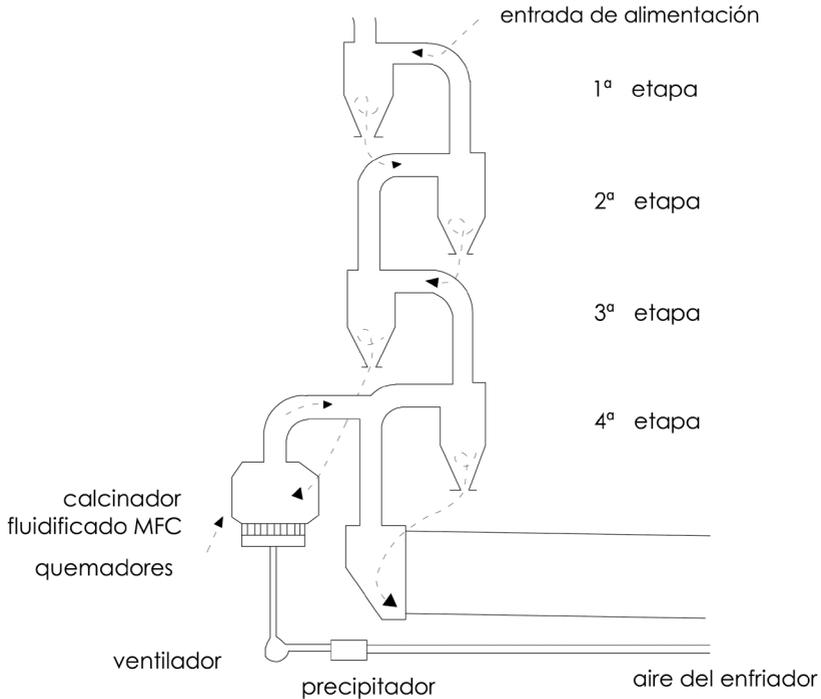
3.3.3. Hornos rotatorios con precalentador y precalcinador

La técnica de la precalcincación ha sido empleada en la industria del cemento desde 1970. En este procedimiento la quema del combustible se realiza en dos partes. La combustión primaria ocurre en la zona de salida del horno (quemador principal o mechero) y la secundaria en una cámara de combustión (precalcinador) situada entre el horno y el precalentador que consume hasta el 60% del combustible total del horno para calcinar casi totalmente la harina cruda. El material sale del calcinador a unos 870 °C. El aire caliente (opcional) para la combustión en el calcinador procede del enfriador. (Figura 13).

Los primeros hornos tenían sólo cuatro etapas de ciclones, lo que originaba temperaturas más altas del gas de salida y mayor consumo de combustible.

El sistema de horno con ciclones y precalcinador es la tecnología típica actual para las nuevas fábricas de vía seca. El número de etapas del intercambiador de ciclones depende de la humedad de las materias primas; cuando es baja, se pueden instalar seis etapas. Las fábricas de horno con precalentador de suspensión y precalcinador tienen capacidades de entre 3.000 y 5.000 toneladas/día (excepcionalmente: en Polonia de 8.500 toneladas/día y en Asia de 10.000 toneladas/día).

Figura 13
HORNO ROTATORIO CON PRECALENTADOR DE SUSPENSIÓN Y PRECALCINADOR



3.4. El refractario

Debido a la existencia de altas temperaturas dentro de un horno durante el proceso de fabricación del clínker, es necesario proteger la virola de acero del horno con un revestimiento interno refractario. Sin esta protección, la virola se fundiría en pocas horas. Un refractario es un material no metálico que se emplea para resistir alta temperatura. En un horno, el refractario frecuentemente está formado de ladrillo de composición especial y tamaños que se muestran en las **Figuras 14** y **15**. En años recientes se ha obtenido un revestimiento moldeado de forma continua, colocado de manera semejante

al hormigón que se sitúa en una estructura. Con este método, el interior se forma progresivamente por medio de encofrados y anclajes soldados.

El horno se gira lo necesario durante la colocación de cada sección del revestimiento, de esta forma, los trabajadores están siempre trabajando al mismo nivel. El fallo del refractario se considera como una incidencia crítica en la conducción del horno.

El fallo del refractario dentro del horno rotatorio, se detecta, por el calentamiento al rojo de la chapa del horno, debido a que el forro refractario se ha desprendido parcial o totalmente. Tal situación es delicada porque una vez que la protección proporcionada por el refractario se ha eliminado, la virola de acero fácilmente podría combarse en una extensión tal, que llegaría a ser necesario la sustitución de una sección entera del casco. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, el daño se puede evitar si el horno se para, con objeto de reemplazar el forro tan pronto como el casco empieza a mostrar una gran mancha roja. El cambio del refractario del horno, especialmente en la zona de cocción, es una necesidad frecuente, que supone una partida importante en el presupuesto de operación. Por ejemplo, la sustitución del refractario de toda la zona de cocción, en una longitud de 15 m, en un horno de 5 m de diámetro, cuesta más de 70.000€. Esta cifra representa solamente el coste del refractario y no incluye los gastos adicionales de instalación, ni el coste que resulta de la pérdida de producción ni el combustible extra requerido para devolver al horno a la temperatura de operación.

De manera ideal, la vida en servicio del refractario de la zona de cocción debería ser de 11 a 23 meses (un ciclo de funcionamiento continuo). Sin embargo, en la mayor parte de los hornos, esto es una excepción. Aunque los refractarios de las regiones altas del enfriador del horno pueden durar de 5 a 20 años, en la zona de cocción muy caliente, la duración se extiende desde 30 días hasta 2 años. Prescindiendo del hecho de que todos los hornos de cemento operan en la zona de cocción dentro de un reducido rango de temperatura, todavía existe una gran discrepancia con relación a la vida de servicio del refractario. La razón de esto se puede encontrar en el hecho de que cada horno tiene sus propias características específicas y peculiaridades que influyen extraordinariamente en la vida en servicio.

Figura 14 REFRACTARIOS DE TAMAÑOS DIFERENTES

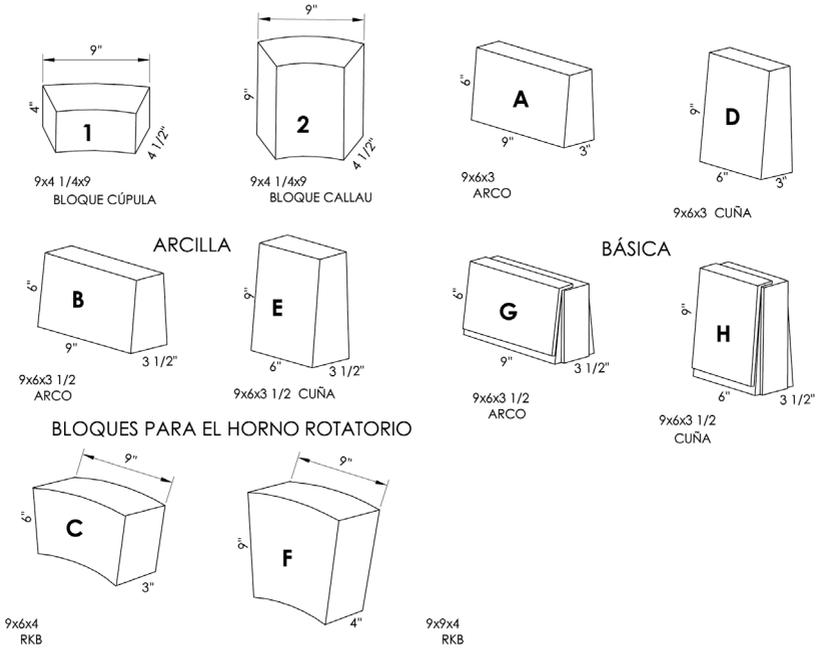
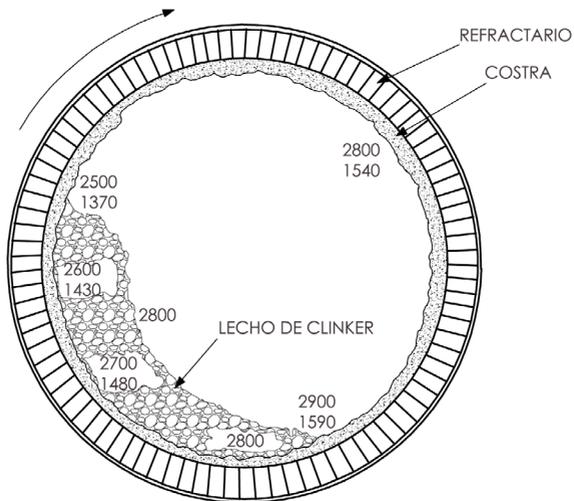


Figura 15
COLOCACIÓN DE REFRACTARIOS



3.4.1. Requerimientos y propiedades del refractario

Se han de imponer ciertos requerimientos sobre el refractario, dependiendo de las condiciones a las que será expuesto en la zona del horno donde va a ser empleado.

- Resistencia a altas temperaturas
- Resistencia al desconchamiento
- Resistencia al ataque químico (resistencia a la escoria)
- Resistencia a la abrasión
- Capacidad de formación de costra

3.4.2. Tipos de refractarios

Los cambios y los problemas del refractario ocurren principalmente en las zonas de cocción y enfriamiento de un horno rotatorio, donde existen las temperaturas más elevadas. Los forros en las zonas de calcinación y calentamiento muy raras veces se han de reemplazar y, normalmente, no presentan problemas. Por esta razón, los refractarios que se explican a continuación se emplean en la zona de cocción.

Los refractarios frecuentemente empleados en la zona de cocción se pueden clasificar en dos grupos principales: el grupo silicoaluminoso y el grupo básico.

i) grupo silico-aluminoso

Los dos componentes principales de estos refractarios son la alúmina y la sílice. Un incremento en el contenido de alúmina dará como resultado más tenacidad y una mejora en la resistencia a desconcharse (el contenido de materiales fundentes se disminuye), se aumentan la conductividad y la resistencia mecánica, y el refractario es más resistente al ataque químico. Sin embargo, el ladrillo de alto contenido en alúmina tiene una expansión reversible más grande, factor que requiere especial consideración durante la instalación del ladrillo. También, la resistencia a la escoria es menor que la del ladrillo básico. Además, los procesos de fabricación afectan a las características del refractario. Debido a esto, un ladrillo de elevado contenido de alúmina prensado en seco, es preferible en las aplicaciones donde es importante la uniformidad de tamaño y la buena resistencia a desconcharse, pero se debería emplear un ladrillo de barro duro cuando se necesitan altas resistencias a compresión y a la abrasión.

ii) grupo básico

Los refractarios básicos se fabrican principalmente con periclasa (una magnesia cristalina densa), magnesia calcinada a muerte y mineral de cromo. Para hornos rotatorios, la mayoría de los ladrillos básicos empleados caen

dentro de la clasificación de magnesia-cromo, en los que la periclasa constituye la mayor parte de la composición, en contraste con el ladrillo de cromo-magnesita que tiene el mineral de cromo como componente fundamental. Los refractarios básicos tienen una resistencia mayor al ataque químico de las cenizas, escorias etc., a altas temperaturas, pero tienen una menor resistencia a desconcharse comparada con la de los ladrillos de alúmina. En general, la periclasa en un refractario básico es responsable de la alta tenacidad y estabilidad de volumen, y el cromo proporciona al ladrillo resistencia al desconchamiento y resistencia al calor. Aunque no de forma concluyente, los porcentajes de periclasa y cromo, dan una temprana indicación de la resistencia al desconchamiento y de otras propiedades de un ladrillo básico. Se recomiendan los refractarios básicos para la zona de cocción de un horno rotatorio de cemento porque forman más rápidamente sobre sí una costra, y la mantienen mejor que un refractario de alúmina. Una costra formada adecuadamente sobre el ladrillo básico exhibe características de adherencia completamente diferentes de las de una costra formada sobre un refractario de alto contenido en alúmina. La costra se funde con la capa superficial del ladrillo básico, pero solamente se adherirá sin una fuerte ligazón al ladrillo de alto contenido en alúmina. Debido a que la costra está fundida y unida a la superficie del ladrillo básico, hay un cierto riesgo a considerar, ya que si la costra se desprende, parte del ladrillo se puede perder junto con ella.

iii) dolomía

El tercer tipo de refractario empleado en la zona de cocción es el ladrillo de dolomía. Estos ladrillos están compuestos fundamentalmente de CaO y MgO y tienen una estrecha afinidad química con la alimentación del horno. La gran ventaja de estos forros es que forman una costra muy rápidamente, una vez que el horno se lleva a la temperatura de operación. A causa de su alto coeficiente de transmisión de calor, estos ladrillos llevarán al casco a muy altas temperaturas antes de que la costra se estabilice, y no es raro observar un débil color rojo oscuro en la chapa en las primeras etapas de una puesta en marcha del horno.

El lugar ideal para el emplazamiento de este tipo de forros de ladrillos refractarios se encuentra en el centro de la zona de cocción y lejos de los anillos del horno. El CaO componente en este ladrillo, sin embargo, tiene tendencia a hidratarse cuando se expone a la humedad del aire. Se debe tener cuidado en asegurar que estos ladrillos no entren en contacto directo con la humedad durante el almacenamiento, siendo necesarias medidas protectoras para resguardar los ladrillos de la humedad durante las largas paradas del horno. Algunos fabricantes de ladrillos de dolomías impregnan los ladrillos con alquitrán para protegerlos durante la expedición y almacenaje. Algunos fabricantes empaquetan al vacío su producto en papel de aluminio a prueba de aire para obtener el mismo resultado. Un hecho a tener en cuenta es que una vez que un pallet se haya abierto, existe la posibilidad de que estos ladrillos se disgreguen en un corto periodo de tiempo. Cuando los refractarios de dolomía se dejan en el horno durante un largo periodo de tiempo, por ejemplo, durante una parada producida en invierno, se deben tomar precauciones especiales, de modo que el refractario permanezca intacto. Primero, la costra no se debería de quitar durante este periodo de paro. Segundo, la alimentación presente en el horno en el momento de la parada, se debería dejar y emplear para cubrir el forro con costra en la zona de cocción. Esta alimentación en parte calcinada, actúa como desecador para absorber cualquier humedad presente en el horno. Tercero, el forro (costra) se debería rociar con aceite, a intervalos semanales, para prevenir la penetración de la humedad en el forro. Las ventajas de su utilización son: el precio más barato de los ladrillos de dolomía comparado con el de sus equivalentes de magnesita-cromo, y la mencionada rápida formación de una nueva costra que es deseable en hornos que cuecen una mezcla de difícil cocción.

iv) espinela

El tipo más reciente de forros para la zona de cocción en hornos de cemento, está hecho de ladrillo de espinela. Recientemente introducido en la industria del cemento japonesa, este refractario ha demostrado unas mejoras considerables en la vida de servicio del forro refractario de 1,5 a 2 veces.

Los ladrillos de espinela presentan una composición alrededor del 10% al 15% de alúmina y del 80% al 85% de MgO. Los precios de estos ladrillos son alrededor del 50 al 100% más caros que los refractarios básicos convencionales. Debido a los elevados precios de los ladrillos de espinela, normalmente se colocan en lugares de la zona de cocción en donde han fallado otros refractarios.

3.5. Combustibles

3.5.1. Almacenamiento y preparación de los combustibles

Se pueden emplear diversos combustibles para proporcionar la energía térmica y la elección del combustible depende de la disponibilidad local. En Europa, en orden decreciente de importancia son:

- Coque de petróleo o carbón pulverizado (carbones bituminosos y lignitos).
- Valorización de residuos.
- Fuelóleo pesado.
- Gas natural.

Los principales constituyentes de las cenizas de estos combustibles son compuestos de sílice y alúmina que se combinan con las materias primas formando parte del clínker lo que influye en el cálculo de la composición del crudo.

Las altas temperaturas y los largos tiempos de permanencia de los gases en el horno, implican un potencial importante para la destrucción de los compuestos orgánicos. Esto permite emplear como combustibles los residuos de otras industrias (Valorización de residuos).

La mayor parte del combustible que se alimenta al horno (65-85%) tiene que estar finamente molido (carbón y el coque de petróleo), mientras que el resto (15-35%) puede alimentarse por puntos alternativos al quemador sin pulverizar (neumáticos). El combustible de bajo contenido de compuestos volátiles necesitará una trituración y molienda más fina. La molienda del

combustible sólido, su almacenamiento y los sistemas de calentamiento tienen que operarse adecuadamente para evitar el riesgo de explosión.

Los sistemas de trituración y molienda de combustible son:

- molino de bolas.
- molino vertical.
- molino de impactos.

El carbón y el coque de petróleo se almacenan, en muchos casos, en almacenes cubiertos. Cuando se almacena carbón con alto contenido de volátiles, se necesita tomar medidas para evitar el riesgo de ignición espontánea. El carbón y el coque de petróleo pulverizados se almacenan preferentemente en silos con válvulas antiexplosión y sistemas de inertización con CO₂ o nitrógeno.

El fuelóleo se almacena en tanques de acero. Se precisa elevar su temperatura mediante sistemas de calentamiento con objeto de aumentar su fluidez para bombearlo. El fuelóleo se calienta a 120-140°C, lo que reduce su viscosidad a 10-20 centiStokes y se eleva la presión a 20-40 bar.

El gas natural se suministra directamente desde las redes de distribución de gas. Primero tiene que reducirse la presión de suministro de 30-80 bar a la presión de la planta de 3-10 bar y luego se reduce a la presión empleada en el quemador (1 bar –sobrepresión–). Para evitar la congelación del equipo, el gas natural se precalienta antes de pasar por la válvula de reducción de presión.

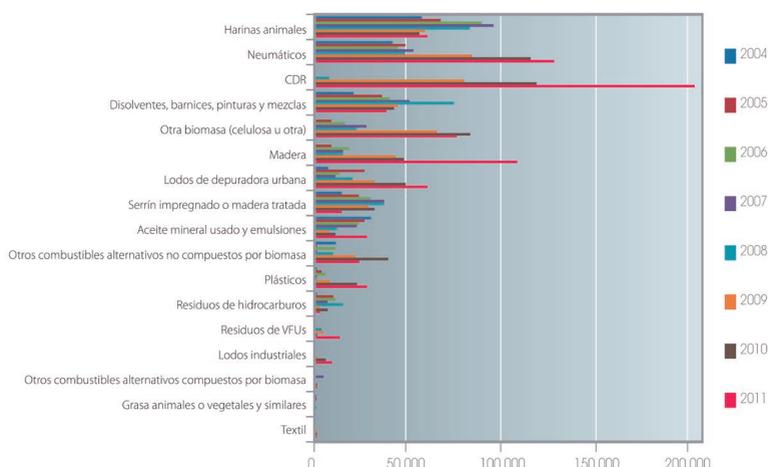
3.5.2. Valorización de residuos en la industria del cemento

La utilización de residuos como combustibles alternativos se denomina valorización energética de residuos. El empleo de combustibles alternativos es una práctica asentada en la mayoría de los países desarrollados desde hace más de treinta años, entre los que destacan por el nivel de sustitución con residuos: Japón, Suiza, Estados Unidos, Bélgica, Alemania y Francia.

Las fábricas de cemento ofrecen una alternativa para la gestión de residuos, ya que el proceso productivo permite reciclar y valorizar energéticamente distintos tipos de residuos, con unas condiciones técnicas óptimas que no suponen un riesgo para la salud de los trabajadores. En la mayoría de los casos los residuos son sometidos a un tratamiento previo antes de ser utilizados como combustibles alternativos en las fábricas de cemento.

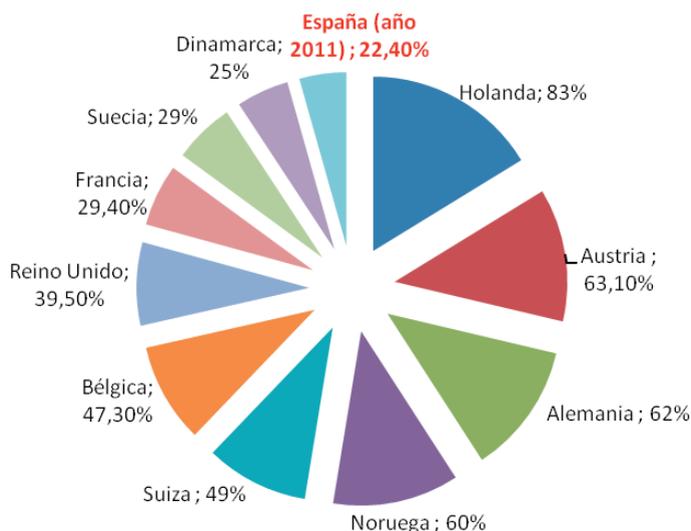
Las fábricas de cemento emplean como combustibles alternativos residuos agrícolas y ganaderos (como harinas o grasas animales, biomasa, etc.), de la industria del caucho, lodos industriales, lodos de depuración de aguas residuales, aceites, disolventes, pinturas, neumáticos, residuos de papel, residuos de plástico, etc. (**Figura 16**). La valorización de residuos supuso un 22,4% de sustitución en energía respecto al consumo total de combustibles en cementeras españolas en 2011, todavía lejos del 30% alcanzado de media en Europa en el año 2010, pero por encima del valor medio europeo del 13% del año 2000 (**Figura 17**).

Figura 16
EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN ESPAÑA DURANTE EL PERIODO 2004-2011 (TONELADAS)



De las 35 fábricas integrales en funcionamiento durante el 2011, 32 fábricas están autorizadas a valorizar residuos energéticamente y existen 77 tipos de residuos autorizados para ser valorizados energéticamente, considerando los cuatro dígitos de la Lista Europea de Residuos.

Figura 17
 PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN ENERGÉTICA EN CEMENTERAS DE EUROPA (AÑOS 2006-2010)



Por otro lado, la utilización de residuos como materias primas alternativas se denomina reciclado de materiales. En este sentido, muchas materias primas alternativas no se consideran residuos sino subproductos, aún así en 29 fábricas de cemento se contempla el reciclado de residuos para su empleo como materia prima alternativa en el proceso de producción de clínker de cemento portland, existiendo 63 tipos de residuos autorizados. De dichos residuos autorizados para la producción de cemento, los más empleados son los residuos agrupados en la categoría de «Residuos de centrales eléctricas y otras plantas de combustión» (LER 1001), concretamente la ceniza volante, y la

de «Residuos de la industria del hierro y el acero» (LER 1002), en particular, la escoria granulada de horno alto.

Las condiciones termoquímicas de los hornos de clínker son adecuadas para la destrucción de residuos debido a las condiciones alcanzadas en:

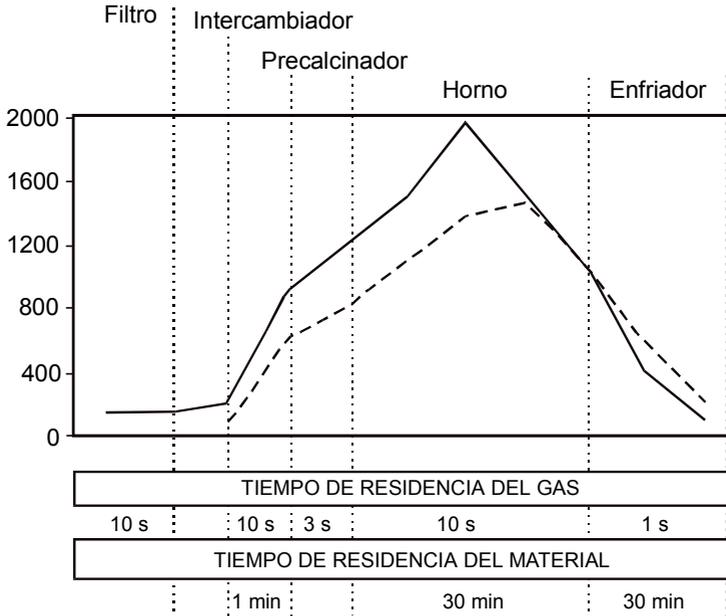
- a. Mechero principal: La llama alcanza una temperatura cercana a los 2000°C y los gases de combustión se mantienen a más de 1200°C durante un tiempo superior a 5 segundos, en atmósfera oxidante.
- b. Zona de descarbonatación (calcinación): la combustión se realiza a temperaturas cercanas a los 1200°C, manteniéndose los gases a una temperatura superior a 850°C durante unos 3 segundos. Los hornos modernos disponen de cámaras de combustión en la parte baja de la torre de ciclones (precalcinador), donde se realiza la combustión con aporte de aire caliente proveniente del enfriador de clínker (**Figura 18**). Algunos hornos disponen de precalcinador sin aporte de aire terciario, por lo que la combustión se realiza con el exceso de oxígeno proveniente del mechero principal. En hornos de vía seca que no disponen de precalcinador o en hornos de vía semiseca o semihúmeda, la combustión puede realizarse en la primera zona del horno rotatorio.

Con estas condiciones:

- Los compuestos orgánicos contenidos en los residuos son destruidos.
- En el caso de que el residuo contenga cloro o azufre, la combustión generará gases ácidos como el cloruro de hidrogeno y el óxido de azufre. Estos gases son neutralizados y absorbidos en su práctica totalidad por la materia prima, de naturaleza alcalina. Las sales inorgánicas formadas se incorporan al clínker.
- En el caso de que los residuos contengan metales, éstos se retienen mayoritariamente en el clínker.

Figura 18

PERFIL DE TEMPERATURA EN UN HORNO CON INTERCAMBIADOR DE CICLONES Y PRECALCINADOR



4. ENFRIADORES DE CLÍNKER

El enfriador tiene dos tareas:

1. Reducir la temperatura del clínker. Los enfriamientos rápidos son beneficiosos para el clínker (molturabilidad y reactividad).
2. Recuperar el calor del clínker caliente (el clínker sale del horno a una temperatura de alrededor de 1.450°C) para el precalentamiento del aire empleado en la combustión en el quemador principal;

Los problemas típicos de los enfriadores de clínker son: La expansión térmica, el desgaste, los flujos incorrectos de aire y el bajo rendimiento.

Hay dos tipos principales de enfriadores: rotatorios y de parrilla.

4.1. Enfriadores rotatorios

4.1.1. Enfriador tubular

El enfriador tubular se dispone a la salida del horno, debajo de éste se instala un segundo tubo rotatorio con su propio accionamiento. El caudal de aire de enfriamiento se determina en función del aire requerido para la combustión.

4.1.2. Enfriador planetario (o de satélites)

El enfriador planetario (o de satélites) consta de varios tubos (de 9 a 11) fijados al horno rotatorio en el extremo de descarga. Los enfriadores van unidos al tubo del horno a lo largo de una circunferencia perimetral, y el material pasa a ellos a través de aberturas situadas en el horno. El volumen de aire de enfriamiento se determina por el aire requerido para la combustión. El aire entra en cada uno de los tubos desde el extremo de la descarga, permitiendo el intercambio de calor en contracorriente. Tiene dispositivos internos para el volteo y dispersión del clínker. El ratio de recuperación de calor es bajo y la temperatura de salida del clínker solo puede reducirse adicionalmente por inyección de agua dentro de los tubos del enfriador o sobre la carcasa de los mismos. Puesto que es muy complicado extraer aire terciario, este enfriador no es apto para instalar una precalcinación; pero sí se puede instalar un quemador auxiliar (10%-25% del combustible) en la parte baja de la torre de precalentamiento.

4.2. *Enfriadores de parrilla*

El intercambio en los enfriadores de parrilla se realiza por el paso una corriente de aire ascendente a través de un lecho de clínker depositado sobre una parrilla. Se clasifican en: parrilla de movimiento deslizante y parrilla de vaivén. El aire que no se utiliza en la combustión, se utiliza para secado de materias primas, adiciones del cemento o carbón.

4.2.1. *Enfriadores de parrilla deslizante*

En este tipo de enfriadores el clínker se transporta a lo largo de una parrilla en movimiento. Esta parrilla tiene las mismas características de diseño que la parrilla del precalentador (Lepol). El aire de enfriamiento se insufla en compartimentos debajo de la parrilla, por medio de ventiladores. Las ventajas de este diseño son: Una capa homogénea de clínker y la posibilidad de cambiar placas sin parar el horno.

No se emplea desde 1980 debido a sus desventajas: complejidad mecánica, pobre recuperación (dificultad de lograr un cierre hermético entre la parrilla y las paredes).

4.2.2. *El enfriador de vaivén convencional*

El transporte del clínker en el enfriador de parrilla de vaivén se efectúa por el empuje realizado por placas, pero la parrilla es fija. Las placas se fabrican en acero aleado resistente al calor (300 mm de ancho) y van taladradas para permitir el paso del aire.

El aire se insufla por medio de ventiladores de 300-1.000 mm de presión de columna de agua desde compartimentos situados debajo de la parrilla. Se pueden distinguir dos zonas de enfriamiento:

- La zona de recuperación: El aire caliente producido en esa zona se emplea para la combustión en el quemador principal (aire secundario) y en el precalcinador (aire terciario);

- La zona de enfriamiento posterior: el aire adicional enfría al clínker a temperaturas más bajas.

La superficie activa puede llegar a ser de 280 m² y la capacidad de 10.000 toneladas/día de clínker. Los problemas de estos enfriadores son la segregación del clínker, desequilibrio aire-clínker, fluidificación del clínker, pegaduras y una baja duración de las placas.

4.2.3. El enfriador de vaivén moderno

El desarrollo de los enfriadores de parrilla de vaivén (1983) ha seguido la línea de intentar eliminar los problemas de los enfriadores convencionales: i) intercambio térmico mejor, ii) enfriadores más compactos, iii) emplear menos aire de enfriamiento y iv) sistemas de desempolvado más pequeños.

Las características del enfriador moderno son:

- a. nuevos diseños de placas, fijas o móviles, con menor pérdida de carga, permeables al aire pero no al clínker;
- b. aireación forzada de las placas;
- c. zonas de aireación regulables individualmente;
- d. entrada fija;
- e. menor número de parrillas y más anchas;
- f. machacadora de rodillos;
- g. pantallas térmicas.

4.3. *Enfriadores verticales*

El enfriador de gravedad (enfriador G) se instala después de un enfriador planetario o de un enfriador/recuperador de parrilla corta. El intercambio térmico se efectúa entre el clínker que desciende a través de tubos de acero transversales, que a su vez se enfrían por el aire.

5. LOS MOLINOS DE CEMENTO

5.1. Molienda y almacenamiento de los componentes del cemento

Los componentes del cemento se almacenan en silos, en naves cerradas o en parques al aire libre. Los sistemas de almacenamiento de clínker habituales son:

- depósito longitudinal con descarga por gravedad;
- depósito circular con descarga por gravedad;
- silo de almacenamiento de clínker;
- silos esféricos tipo domo.

El cemento portland tipo CEM I de la norma europea UNE-EN 197-1, sin adiciones, se produce moliendo clínker portland con un regulador de fraguado (p.e. yeso, anhidrita). En los cementos con adiciones, éstas se pueden moler junto con el clínker (por ejemplo la caliza, L o LL) o se secan y muelen por separado (por ejemplo la escoria granulada de horno alto, S). Para la molienda del cemento tienen gran importancia la molturabilidad, la humedad y la abrasión de los componentes del cemento producido.

La mayoría de los molinos trabajan en circuito cerrado (separan el cemento con la finura requerida y devuelven el material grueso al molino). Los equipos de pesaje y dosificación más utilizados son las básculas de banda. Para las cenizas volantes se emplean dosificadores basados en el efecto de coriolis.

Debido a la variedad de tipos de cemento requeridos por el mercado, predominan los sistemas de molienda de última generación equipados con separador dinámico de aire. Los sistemas de molienda más empleados son:

- molino de bolas en circuito cerrado (el porcentaje de adiciones es bastante limitado, si no están secas);
- molino vertical de rodillos (mejor adaptado tanto para porcentajes de adición altos, debido a su capacidad de secado, como para la molienda separada de las adiciones);

- prensa de rodillos (el porcentaje de adiciones es bastante limitado, si no están secas).

Y los sistemas de molienda menos empleados son:

- molino de bolas en circuito abierto;
- molino de bolas en circuito cerrado con separador mecánico de aire o separador de aire de ciclones de primeras generaciones;
- molino horizontal de rodillos.

El principio de trabajo de los molinos verticales de rodillos se basa en la acción de 2 a 4 rodillos molidores montados sobre una mesa horizontal de molienda. Se recomienda su uso para la molienda y secado simultáneo de materias primas, para moler cemento y para moler la escoria granulada de horno alto, S, de forma individual, debido a que los molinos verticales de rodillos pueden manejar contenidos relativamente altos de humedad en la alimentación del molino. El tiempo de permanencia del material en el molino es bastante corto para prevenir la prehidratación del clinker. Por otro lado, la prensa de rodillos de alta presión requiere un alto grado de mantenimiento.

Un desarrollo más reciente de la molienda de cemento es el molino de rodillos horizontales. Éste consta de una carcasa anular de gran diámetro y corta longitud. Dentro del anillo hay un rodillo horizontal que gira libremente y el material se muele entre el rodillo y el cuerpo cilíndrico. El material triturado que sale del molino se lleva a un separador y la fracción gruesa se retorna al molino.

Las adiciones son compuestos minerales de carácter natural o industrial que se muelen generalmente junto con el clinker y el yeso. Para moler por separado las adiciones, se pueden emplear los mismos sistemas para la molienda seca/semiseca de las materias primas. Si hay un alto contenido de humedad en la mezcla, será necesario un presecado; para el cual se pueden emplear sistemas de secado usando tanto los gases de salida del horno como el aire de salida del enfriador, o utilizar un generador independiente de aire caliente.

La decisión de moler las adiciones separadamente depende de los siguientes factores:

- el porcentaje de adiciones en el producto final y en el total de la producción de cemento;
- si se dispone de una molienda de repuesto;
- si hay una considerable diferencia entre la molturabilidad del clínker y de las adiciones;
- el contenido de humedad de las adiciones.

Para la molienda combinada (moler adiciones junto con el clínker y el yeso) la mayoría de los sistemas están limitados por el contenido de humedad de la mezcla alimentada cuyo máximo se sitúa en el 2% ó 4% si se emplea un aporte de gases calientes. Para contenidos de humedad mayores, los sistemas requieren el presecado de las adiciones. Una excepción son los molinos verticales, que son capaces de moler con contenidos de humedad de hasta un 20%, y también requieren de gases calientes para el secado.

6. LOS SEPARADORES

La distribución granulométrica de las partículas del producto que sale de la molienda de cemento es de gran importancia para la calidad del cemento. La regulación de estos parámetros se logra con el ajuste del separador. La última generación de separadores de rotor en jaula de ardilla tiene muchas ventajas sobre los diseños previos, tales como:

- bajo consumo de energía (menor sobremolido);
- incremento de la capacidad de molienda (eficiencia);
- posibilidad de enfriar el producto;
- mayor flexibilidad para los ajustes en la finura del producto;
- mejor control de la distribución del tamaño de las partículas (mejor uniformidad).

7. ALMACENAMIENTO Y SUMINISTRO DEL CEMENTO

El cemento se transporta a los silos de almacenamiento mediante sistemas mecánicos y neumáticos. Los sistemas mecánicos tienen un coste de inversión más alto pero menor coste de operación que el transporte neumático. El sistema utilizado más habitualmente es una combinación de transportadores fluidificados o de rosca, y elevadores de cangilones.

Se requieren silos diferentes para el almacenamiento de los distintos cementos o silos multicámaras que permiten el almacenamiento de más de un tipo de cemento en el mismo silo.

Los tipos de los silos de cemento son:

- de celda única con tolva de descarga;
- de celda única con cono central;
- multicelular;
- domo con cono central.
- multicámara.

La descarga del cemento de los silos se realiza con aire comprimido inyectándolo en el silo a través de unidades de aireación situadas en el fondo de los mismos.

La expedición del cemento se realiza a granel mediante cisternas por carretera (cubas de 15 ó 25 toneladas), ferrocarril o barco, o bien ensacado. Las operaciones de ensacado y paletizado se realizan en una línea de ensacado.

Las condiciones de almacenamiento del cemento deben realizarse en silos estancos que no permitan la contaminación del cemento. Deben estar protegidos de la humedad y disponer de un sistema de apertura para la carga en condiciones adecuadas. Por otro lado, los almacenes de sacos deben ser locales cubiertos, ventilados y protegidos de la lluvia, de la humedad del suelo, y de la exposición directa del sol. En todo caso deben cumplir con lo exigido en la Instrucción para la Recepción de Cementos, RC-14, o la que la sustituya en su caso.

7.1. Norma UNE 80402:2008/IM:2011. «Cementos. Condiciones de suministro»

La norma UNE 80402 «Cementos. Condiciones de suministro» tiene por objeto establecer condiciones de suministro de los cementos. La Instrucción de Recepción de Cementos a su vez establece las condiciones en las que deben realizarse el transporte del cemento para garantizar la conservación de sus prestaciones, así como el control de la documentación que acompaña a su suministro. La Instrucción de Recepción de Cementos y la norma UNE 80402 presentan una serie de definiciones:

Remesa: es la cantidad de cemento, de igual designación y procedencia, recibida en el lugar de suministro en una misma unidad de transporte (camión, contenedor, barco, etc.).

Entrega: momento en el que se cede la propiedad de la remesa y la responsabilidad de la calidad del cemento (incluido su embalaje) entre el suministrador y el receptor.

- En el caso de que el transporte lo contrate el receptor, la entrega se realiza en las instalaciones del suministrador una vez terminada la carga.
- En el caso de que el transporte lo contrate el suministrador, la entrega se realiza en las instalaciones del receptor una vez terminada la descarga.

Fábrica: instalación utilizada por un fabricante para la producción de cemento, que dispone de la capacidad necesaria de silos para el almacenamiento y expedición de cada cemento producido. Esta instalación asociada a un control de producción implantado permite el control de la producción con la suficiente precisión para garantizar que se cumplen los requisitos de la norma de especificaciones aplicable al producto.

Punto de expedición: instalación de trasvase de cemento a granel (no situada en la fábrica) empleada para expedir cemento (a granel o ensacado) después del transporte o almacenamiento, en la cual el fabricante tiene plena responsabilidad en todos los aspectos de la calidad del cemento.

Centro de distribución: instalación de trasvase de cemento a granel (no situada en la fábrica) empleada para expedir cemento después del transporte o almacenamiento, donde un intermediario, diferente del fabricante, tiene plena responsabilidad en todos los aspectos de la calidad del cemento.

Almacén de distribución: instalación que, cumpliendo con la legislación vigente, comercializa cemento envasado en una fábrica, punto de expedición o centro de distribución, efectuando únicamente las operaciones de almacenamiento y transporte, asumiendo en ambas la plena responsabilidad para el mantenimiento de la calidad del cemento.

Suministrador: es el expedidor autorizado de una remesa de cemento. Hay varios tipos de suministradores de cemento dependiendo del tipo de instalación que operen:

- **Fabricante:** persona física o jurídica que opera una fábrica o punto de expedición.
- **Intermediario:** persona física o jurídica que compra al fabricante cemento a granel, para suministrárselo a un tercero, asumiendo la plena responsabilidad del mantenimiento de la calidad del cemento, en todos sus aspectos. El Intermediario actúa como suministrador cuando expide cemento a granel y como receptor cuando recibe cemento a granel.
- **Almacenista:** persona física o jurídica que compra al fabricante o al intermediario cemento envasado, para suministrárselo a un tercero, asumiendo la plena responsabilidad del mantenimiento de la calidad del cemento, en todos sus aspectos. A los efectos de la Instrucción para la Recepción de Cementos se considera almacenista exclusiva-

mente al que suministra el cemento envasado a una obra de edificación u obra civil, central de fabricación de hormigón o instalaciones que fabrican productos de construcción. El almacenista actúa como suministrador cuando expide cemento envasado y como receptor cuando recibe cemento envasado.

- **Receptor:** es la persona física o jurídica que recibe una remesa de cemento. Dependiendo del destino del cemento, se contemplan tres tipos de receptores:
 - Obras de construcción.
 - Centrales de hormigón preparado.
 - Instalaciones que fabrican productos de construcción en los que en su composición se emplee cemento.

Operador de transporte: persona física o jurídica contratada, bien por el suministrador bien por el receptor, para realizar el transporte de una remesa de cemento desde los centros de suministro hasta las instalaciones del receptor. Para realizar el transporte, los operadores pueden disponer de sus propios vehículos o bien realizar acuerdos con algún transportista.

Transportista: persona física responsable del vehículo que realiza el transporte del cemento.

7.2. Formas de transporte del cemento

El cemento puede transportarse a granel o envasado.

En el caso de suministro a **granel**, se deberá poner especial atención en comprobar que éste se ha hecho mediante vehículos equipados de contenedores adecuados (cubas o cisternas), con el hermetismo, seguridad y almacenamiento tales que garanticen la perfecta conservación del cemento, de forma que su contenido no sufra alteración, y que no alteren el medio ambiente.

Quien contrate el transporte de cemento a granel (suministrador o receptor) deberá definir unas condiciones de transporte entre las que se incluirá la exigencia de que éste se realice en contenedores previamente tarados, lim-

pios y estancos, de forma que se mantengan las características del cemento hasta la descarga.

El operador del transporte deberá transmitir al transportista las condiciones exigidas por quien contrata el transporte y velar por su cumplimiento.

El transportista es el responsable de la limpieza, de la estanqueidad y del vaciado de los contenedores, así como de respetar las compatibilidades e incompatibilidades indicadas por quien contrate el transporte respecto a productos transportados anteriormente.

Cuando el suministrador de cemento sea quien contrate el transporte a granel, deberá:

- Establecer una sistemática que incluya como mínimo un control de taras de los camiones para verificar su vaciado. No deberá permitir un porcentaje mayor del 4 % de diferencia en relación a la tara registrada del vehículo.
- Definir una relación de compatibilidades o incompatibilidades respecto a productos transportados previamente por el transportista. Al menos se tendrán en cuenta en dicha relación las siguientes consideraciones:
 - En el caso de cemento gris:
Si el producto transportado con anterioridad fuese cemento o cualquier producto que forme parte de los componentes principales de los cementos comunes, se exigirá al transportista el vaciado de la cuba, siendo considerado dicho producto como compatible.
 - En el caso de cemento blanco:
Si el producto transportado con anterioridad fuese cemento blanco, se exigirá al transportista el vaciado de la cuba, siendo considerado dicho producto como compatible.
 - En el caso del cemento de aluminato de calcio:
Si el producto transportado con anterioridad fuese cemento de aluminato de calcio, se exigirá al transportista el vaciado de la cuba, siendo considerado dicho producto como compatible.

En los tres casos, si el producto transportado con anterioridad fuese cualquier otro, se exigirá el vaciado de la cuba, excepto que el suministrador lo contemple como incompatible, en cuyo caso se exigirá al transportista el certificado de limpieza de dicha cuba.

El cemento a granel se suministrará pesado con instrumentos que cumplan con las especificaciones de la clase III conforme a la norma UNE-EN 45501. El error máximo permitido en relación al peso neto de cemento a granel suministrado se fija en el 1%.

Aunque no es frecuente, el cemento también puede ser transportado en contenedores tipo big-bag que son embalajes flexibles en forma de bolsa de base cuadrada destinados al transporte de sólidos granulares fabricados en diferentes textiles y provistos de asas para su carga y manipulación. Su capacidad varía normalmente entre 1 y 2 m³ para contener entre 500 y 2.000 kg. Los big-bags tendrán la consideración de transporte a granel a los efectos dispuestos en la Instrucción para la Recepción de Cementos para los albañanes que les acompañen. Así mismo, no son de aplicación los requisitos de etiquetado que se definen para los envases habituales.

Cuando el cemento se suministre **envasado**, se utilizarán envases adecuados que garanticen la retención del cemento y que permitan mantener sus características hasta el momento de su empleo. Estos envases deberán tener la rigidez y resistencia suficiente para no sufrir daños durante su manipulación que puedan provocar la alteración del cemento en ellos contenido. El cemento se podrá expedir en sacos de 25 ó 35 kg. de peso, o de cualquier otra cantidad autorizada oficialmente en cualquier estado miembro de la Unión Europea o que sea parte del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo. La tolerancia máxima de masa en cada saco será del $\pm 2\%$.

7.3. Documentación del suministro

El suministro, tanto a granel como envasado, deberá disponer de la documentación reglamentaria. El suministrador del cemento deberá estar en disposición de facilitar esta documentación que está formada básicamente por

el albarán de suministro, el etiquetado, la declaración de prestaciones y, en su caso, la declaración del fabricante.

La documentación y el etiquetado pueden diferir según se trate de cementos sujetos al marcado CE o al Real Decreto 1313/1988 (Véase el capítulo 7º). El Responsable de la recepción deberá registrar, archivar y custodiar copia de toda esta documentación.

7.3.1 Albarán

De cada remesa expedida, tanto de cemento a granel como envasado, el suministrador deberá emitir previamente a la salida del cemento de sus instalaciones un albarán de suministro destinado al receptor y que debe acompañar a la remesa durante su transporte.

El albarán de suministro incluirá la información relativa a la identificación del cemento en cantidad y calidad, y los datos referentes al suministrador, al receptor y a los agentes que intervienen en el transporte.

El albarán de transporte por carretera (o en documentación aneja a éste) incluirá al menos los siguientes datos:

Sobre los suministradores, receptores y agentes de transporte:

- Nombre o denominación social y domicilio de la empresa suministradora.
- Lugar de origen y tipo de instalación: (fábrica, centro de distribución, punto de expedición, almacén).
- Nombre y dirección del comprador y punto de destino del cemento.
- Cuando proceda, nombre o denominación social y domicilio del operador de transporte.
- Nombre o denominación social y domicilio del transportista.
- Identificación del vehículo que lo transporta. En el caso de vehículos articulados deberá reflejarse tanto la matrícula del vehículo tractor

como las de los semirremolques o remolques arrastrados por los mismos.

Sobre el cemento suministrado:

- N° de referencia del pedido.
- Cantidad que suministra (en kg).
- Fecha del suministro.
- Designación completa normalizada del cemento (incluyendo la norma de referencia).
- Información sobre el Marcado CE (cuando sea el caso):
 - Logotipo del Marcado CE según el artículo 30 del Reglamento CE n° 765/2008 seguido de los dos dígitos del año en el que se estampó este logo por primera vez.
 - N° del organismo notificado
 - N° de certificado.
 - N° de Declaración de Prestaciones.
 - Nivel o clases de prestaciones declaradas
 - Uso previsto definido en la norma de especificaciones técnicas armonizadas correspondiente
- Información sobre el CCRR (cuando proceda).
 - Contraseña de Certificación DCE
- Información del Distintivo Oficialmente Reconocido (cuando proceda)
 - Nombre del DOR
 - N° del Certificado
- Recomendaciones de almacenamiento, conservación, uso, y restricciones empleo, en su caso.
- Referencia al cumplimiento del límite máximo de Cr (VI) soluble de acuerdo a la O.M. PRE/1954/2004 de 24 de junio que traspone la Directiva 2003/53/CE. Cuando sea el caso se incluirá referencia al periodo de eficacia del agente reductor.

- Advertencias en materia de seguridad y salud para la manipulación del cemento
 - Pictogramas indicando riesgos específicos del producto
 - Identificación de peligros
 - Consejos de prudencia
- Responsabilidades sobre la correcta gestión ambiental del envase según la Ley de Envases

En el caso de cemento envasado la información de los puntos 11,14 (relativos al marcado CE) y 16 puede no incluirse en el albarán siempre y cuando se refleje en el envase.

De cada albarán se emitirán copias al menos para el suministrador, receptor y transportista.

7.3.2 Declaración de Prestaciones

El 28 de febrero de 2011 el Consejo de Europa aprobó el Reglamento de Productos de Construcción que entrará en vigor el 1 de julio de 2013 sustituyendo a la Directiva de Productos de Construcción. Por este motivo, a partir del 1 de julio de 2013 los fabricantes de productos de construcción disponen de una Declaración de Prestaciones (*Declaration of Performance, DoP*) reemplazando a la actual Declaración de Conformidad (*Declaration of Conformity, DoC*) cuando coloquen un producto en el mercado (Art. 4 y anejo III del citado Reglamento).

Documento que debe elaborar y emitir el fabricante del cemento por el que se asume la responsabilidad de la conformidad del cemento con la prestación declarada, en el ámbito del Reglamento (UE) N° 305/2011.

Esta Declaración de Prestaciones podrá ser enviada al receptor del cemento bien por vía electrónica o en papel, en el caso de que éste lo solicite.

La Declaración de Prestaciones deberá estar redactada en español cuando se comercialice en España.

Los datos que deben aparecer en esta Declaración son los siguientes:

1. El número de la Declaración de Prestaciones (codificación a criterio del fabricante).
2. Nombre y/o código de identificación única del cemento tipo.
3. Uso o usos previstos del cemento.
4. Nombre o marca registrada y dirección completa del fabricante.
5. Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones (1+).
6. Nombre y número del organismo notificado que emite el certificado de constancia de las prestaciones del cemento.
 - Tarea realizada por el organismo notificado (toma de muestras; determinación del producto tipo; inspección inicial de la fábrica y del control de producción en fábrica; y vigilancia, evaluación y supervisión permanente del control de producción en fábrica, por el sistema 1+).
 - Número del certificado de constancia de las prestaciones emitido por el organismo notificado, y fecha de emisión del certificado.
7. Cuadro de las prestaciones declaradas
8. Se incluirá el texto: «las prestaciones del cemento identificado en el punto 2 son conformes con las declaradas en el punto 7».
9. Firma por y en nombre del fabricante (nombre y cargo)
10. Lugar y fecha de emisión.

7.3.3 Marcado CE

Al emitir la Declaración de Prestaciones el fabricante está obligado a estampar el marcado CE del cemento.

Al colocar el marcado CE el fabricante está indicando que asume la responsabilidad sobre la conformidad del cemento, así como el cumplimiento de todos los requisitos aplicables establecidos en el Reglamento (UE) N° 305/2011.

El marcado CE se deberá colocar antes de que el cemento se introduzca en el mercado, de manera visible, legible e indeleble sobre el envase, o en una etiqueta adherida al mismo, o en los documentos de acompañamiento

(por ejemplo en el albarán), en idioma español cuando el cemento se comercialice en España.

El marcado CE contendrá los siguientes datos:

- El logotipo CE.
- Las dos últimas cifras del año de su primera colocación.
- Nombre y domicilio registrado del fabricante.
- Nombre o código de identificación única del cemento tipo.
- El número de referencia de la Declaración de Prestaciones del cemento.
- La referencia al número de la norma armonizada.
- El uso previsto del cemento.
- El número de identificación del organismo notificado utilizado.
- La lista de las características esenciales y el nivel o clase de prestaciones de cada una.
- En su caso se incluirá un pictograma o cualquier otra marca que indique en particular un riesgo o uso específico.

En **Figura 19** se da un ejemplo del marcado CE.

Figura 19

EJEMPLO DE ETIQUETADO DE CEMENTOS SUJETOS AL MARCADO CE

 00??
Calle Estación, s/n E-2837 Navas del Rey (Madrid, España) 14 FBRC-CPR-4567
EN 197-1 Cemento portland resistente a los sulfatos CEM I 42,5 N-SR 5 Preparación de hormigón, mortero, pasta, etc.. Las prestaciones declaradas por niveles y clases están definidas por la designación del cemento.

7.3.4 Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios

El Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios (C.C.R.R.) o, en su caso, el Certificado de Conformidad de la Producción (este último se obtiene después de un año de posesión del primer certificado), lo emite el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, las autoridades de Industria de la Comunidad Autónoma en que está ubicada la fábrica de cemento, o los organismos de certificación acreditados para este campo.

El Certificado de Conformidad con Requisitos Reglamentarios es un documento oficial emitido a favor de un fabricante de cemento, o de su representante legal, por el que se autoriza a fabricar y comercializar un cemento específico de una fábrica determinada en el mercado español conforme con la reglamentación vigente³. Cada cemento, identificado por la fábrica que lo ha producido y la designación que le pertenece según las normas UNE de la serie 80 300 (normas UNE 80 303, UNE 80 305 y UNE 80 307), solo podrá poseer un CCRR.

El Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios debe contener los siguientes datos:

1. Nombre y dirección del fabricante o de su representante legal;
2. Identificación del cemento (designación normalizada);
3. Fábrica de procedencia del cemento;
4. Fecha de certificación (inicial);
5. Contraseña de certificación (formado por las siglas «DCE» y 4 cifras, separadas por un guión «-«);
6. Fechas de emisión y de caducidad del certificado; y
7. Firma y sello de la autoridad que lo concede

3 Real Decreto 1313/1988, de 28 de Octubre, del Ministerio de Industria y Energía, por el que se declara obligatoria la homologación de los cementos para la fabricación de hormigones y morteros para todo tipo de obras y productos prefabricados, las órdenes ministeriales que lo modifican o complementan, y al amparo de la disposición transitoria cuarta del Real decreto 2200/1995.

Resolución de 12 de junio de 1997, de la Dirección General de Industria, por la que se aprueba el sistema para la realización de los controles de la producción y distribución del cemento.

Orden de 17 de Enero de 1989 del Ministerio de Industria y Energía, por la que se declara que la Marca AENOR para cementos tiene la misma validez que la homologación concedida por el Ministerio.

Figura 20

EJEMPLO DE ETIQUETADO DE CEMENTOS SUJETOS AL REAL DECRETO 1313/1988

Fábrica 2 Ciudad. País
DCE-XXXX
06/10 + 08/10
III/A 42,5 N/SRC
UNE 80303-1

Nombre y dirección del fabricante
Contraseña del Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios
Fechas de fabricación y de envasado (indicando semana y año)
Designación normalizada del cemento
Norma de aplicación

7.4. Diseño de los sacos

El sistema de etiquetado (impresión, tipología, tamaño, posición, colores, etc.) podrá ser cualquiera de los autorizados oficialmente en un Estado miembro de la Unión Europea o que sea parte del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, con la única salvedad de que el logotipo del mercado CE debe ser de color negro.

En el caso de cementos envasados, éstos deben mostrar en sus envases la siguiente información:

1. Nombre o marca identificativa y dirección completa del fabricante y de la fábrica de cemento y de la instalación en la que se ha procedido a su envasado cuando esta sea diferente a la fábrica;
2. Designación normalizada del cemento suministrado conforme a la Instrucción para la Recepción de Cementos y norma UNE de aplicación;
3. los envases deberán llevar impreso el peso de su contenido de cemento, expresado en kilogramos.
4. Contraseña del Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios, cuando sea el caso;

5. Fecha de fabricación y fecha de envasado, indicando, al menos, el número de semana y el año. En el caso de que los envases se expidan directamente desde la fábrica, el fechado podrá hacer referencia sólo a la fecha de envasado. El procedimiento de fechado de los envases deberá incluir, al menos, la información sobre el nº de la semana y el año;
6. Condiciones específicas aplicables a la manipulación y utilización del producto, y restricciones de empleo en su caso;
 - Al menos una de sus caras debe llevar impreso, en distintos recuadros, el etiquetado correspondiente al marcado CE según el anejo ZA de la norma armonizada correspondiente o al Real Decreto 1313/1988 y el correspondiente a cementos con distintivo de calidad oficialmente reconocido.
 - En una zona recuadrada se indicarán las advertencias en materia de seguridad y salud para la manipulación del cemento.
 - Referencia al cumplimiento del límite reglamentario del Cr (VI) soluble en agua según lo establecido en la Orden Ministerial PRE/1954/2004 que traspone la Directiva 2003/53/CE.

Adicionalmente, los envases de cementos de albañilería (UNE-EN 413-1) llevarán impresa la siguiente frase: «Estos cementos solo son válidos para trabajos de albañilería».

La **Figura 21** muestra un ejemplo de diseño de sacos de 35kg. Para otros pesos se deberán ajustar las dimensiones a la escala adecuada. Las dimensiones se dan en cm. Además:

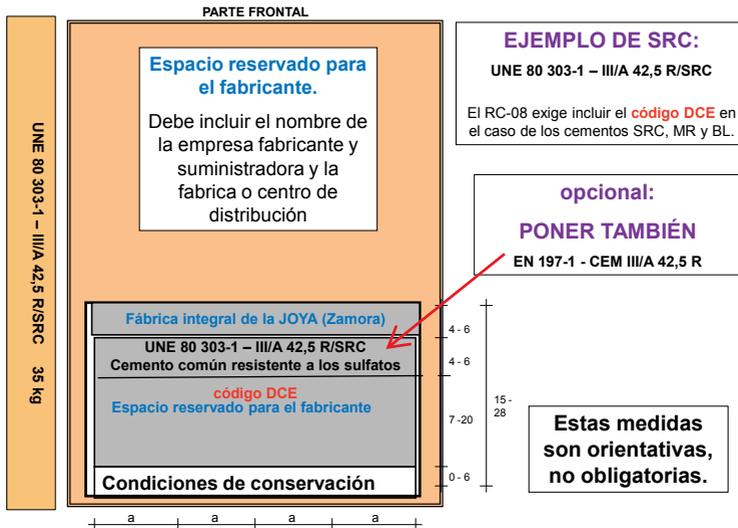
- El formato puede imprimirse en una o las dos caras del saco.
- El marcado CE debe incluir la designación según EN 197-1 siempre que esta sea diferente de la UNE.
- En su caso, en una zona recuadrada se indicaran las advertencias en materia de seguridad y salud para la manipulación del cemento.

- Las fechas de producción en la fábrica y ensacado deberán imprimirse al menos en un lomo del mismo, incluyendo información sobre la semana y año.
- El espacio reservado para las marcas de calidad voluntarias no debe reducir la visibilidad y legibilidad del Marcado CE, cuando el cemento disponga de él.
- Los sacos de cementos de albañilería llevarán impreso con un tamaño de letra no inferior a 50 mm la siguiente frase: «Estos cementos solo son válidos para trabajos de albañilería» y el recuadro tendrá color violeta.

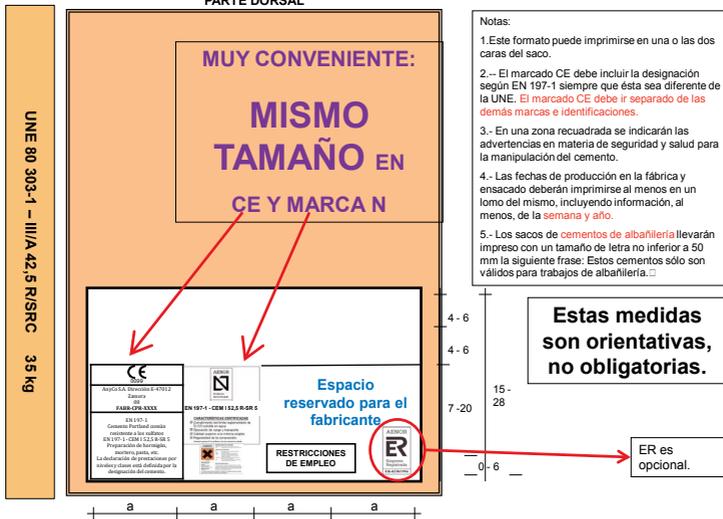
En el caso de cementos que ostenten un **distintivo oficialmente reconocido (D.O.R.)**, es decir, de una **marca de calidad de producto voluntaria**, el fabricante debe estar en disposición de aportar el Certificado de concesión de tal distintivo. Asimismo, la información adicional que suministren debe aparecer claramente separada de la correspondiente a la del marcado CE o a la del Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios. Finalmente, el logotipo identificador de la marca no cree confusión con el del marcado CE y no reduzca la legibilidad ni la visibilidad de éste.

Figura 21 DISEÑO DE LOS SACOS

Propuesta de modelo de saco de 35 Kg. (medidas en centímetros).



Propuesta de modelo de saco de 35 Kg. (medidas en centímetros).



7.5. Control de recepción

En los casos que sea necesario realizar el control de recepción conforme con la Instrucción para la Recepción de Cementos vigente, éste se realizará en el lugar, forma y momento en que el suministrador transfiera al cliente o a un tercero reconocido, la custodia de la remesa objeto de recepción, salvo otro acuerdo contractual. Si el cliente retirase el cemento de la fábrica o instalaciones del suministrador, la recepción deberá hacerse en dicho lugar y momento.

La recepción se llevará a cabo por el responsable de la instalación de destino o por la Dirección Facultativa de la obra en la cual el cemento sea suministrado. En el acto de recepción deberán estar presentes representantes del suministrador (fabricante o vendedor) y del cliente o persona en quien éstos deleguen por escrito.

El acto de recepción consta de tres fases:

- a. Inspección de las condiciones de almacenamiento, suministro y recepción, realizada por el cliente.

- b. Establecimiento de lotes y toma de muestras.
- c. Cumplimentar y firmar el acta de recepción.

7.5.1 Establecimiento de lotes y toma de muestras

En general, el lote lo formará la cantidad mensual recibida, salvo que se sobrepasen las 200 toneladas/mes, en cuyo caso las remesas recibidas se separarán formando lotes cada 200 toneladas o fracción.

De al menos 3 remesas se tomará una muestra siguiendo lo establecido en la norma UNE-EN 196-7. Con todas las muestras del lote se formará una muestra media, que a su vez se subdividirá en tres muestras individuales:

- Una de ellas se enviará a ensayar a un laboratorio de ensayos acreditado conforme con los criterios del RD 2200/1995 de 28 de Diciembre, o estar incluido en el Registro General del Ministerio de Fomento establecido por RD 1230/1989 de 13 de Octubre.
- Otra se conservará en las instalaciones del cliente.
- La tercera estará a disposición del suministrador del cemento.

El acta de recepción se cumplimentará con arreglo a lo establecido en la norma UNE-EN 196-7.

7.6. Ensayos

Los ensayos a realizar comprenden la verificación de las especificaciones de las normas aplicables en cada caso, siguiendo los métodos de ensayo descritos en las correspondientes normas UNE de ensayos químicos, físicos y mecánicos.

Los ensayos de recepción se extienden a la verificación de cualquier otra característica adicional o especificación particular convenida entre ambas partes con anterioridad al suministro.

7.7. Criterios de conformidad

El cumplimiento de la totalidad de las especificaciones supone la aceptación del lote. El cliente estará obligado a comunicar al suministrador de forma explícita esta circunstancia. Si en el plazo de 45 días a partir del acto de recepción del lote no se ha manifestado ninguna reserva por parte del cliente, dicho lote se considera aceptado.

En caso de incumplimiento de alguna de alguna de las especificaciones, el lote de cemento podrá ser rechazado explícitamente. Si el suministrador está disconforme con la calificación del lote, derivada del resultado de los ensayos de recepción lo comunicará al cliente y se enviará la muestra preventiva al laboratorio designado por ambas partes para su ensayo. Si los resultados de estos ensayos cumplen las especificaciones, el lote será aceptado; en caso contrario el lote podrá ser rechazado.

La inspección se realizará por variables para la resistencia y por atributos para el resto de especificaciones.

i) Inspección por variables:

Se comprobará que se cumplan simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$X_1 - K_A \sigma \geq L$$

$$X_n + K_A \cdot \sigma \leq U$$

Siendo:

X_n el mayor de los resultados obtenidos de la muestra de tamaño n

X_1 el menor de los valores obtenidos de la muestra de tamaño n

σ la desviación estándar de la población de procedencia. Lo aportará el fabricante como resultado de los ensayos de control de producción

K_A la constante de aceptabilidad

L el límite inferior especificado a igualar o superar por alguna de las características del cemento

U el límite superior especificado a no superar por alguna de las características del cemento

P_k la calidad límite para cada característica del cemento, expresada como máximo porcentaje de defectos admisible

Los valores de K_A se indican en la siguiente **Tabla 6**.

Tabla 6
VALORES DE K_A

Nº de muestras (n)	K_A	
	Límite inferior de resistencia	Límite superior de resistencias
3	2,11	1,75
5	1,63	1,27
7	1,35	0,99
10	1,09	0,73
20	0,64	0,27
35	0,32	-0,04

ii) Inspección por atributos

Para el control por atributos el número de resultados no conformes de la muestra (C_D) debe compararse con la el número de resultados aceptables en función del número de muestras tomadas y ensayadas (C_A) según la **Tabla 7**.

Tabla 7
EL NÚMERO DE RESULTADOS NO CONFORMES ACEPTABLES (C_A)

Número de muestras (n) $P_k = 10\%$	C_A	Número de muestras (n) $P_k = 5\%$
≤ 28	0	≤ 58
45	1	93
60	2	123

El lote será conforme cuando se cumpla la siguiente condición:

$$C_D \leq C_A$$

8. BALANCE ENERGÉTICO EN UNA FÁBRICA DE CEMENTO

La mayor parte del consumo de energía para la fabricación de cemento se da en la descarbonatación y la clinkerización de las materias primas (cerca del 90 % de la energía total). La energía eléctrica se consume en la molienda (75% de la energía eléctrica total) y la impulsión de gases y el transporte de materiales (25 %). Los costes energéticos –combustibles y electricidad– suponen un 30 % de los costes de fabricación.

El consumo energético en la fabricación de clínker está relacionado con la humedad de las materias primas y las reacciones químicas de formación del clínker. El proceso de cocción de las materias primas requiere, teóricamente, de 1.700 a 1.800 MJ/tonelada de clínker. Sin embargo, los diferentes tipos de hornos consumen más (**Tabla 8**).

Tabla 8
CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS HORNOS DE CEMENTO

Consumo energético (MJ/ tonelada de clínker)	Tipos de hornos
2.900-3.200	vía seca, con precalentador de ciclones y precalentador,
3.100-4.200	vías secas, con precalentador de ciclones,
3.300-4.500	vía semiseca o semihúmeda,
hasta 5.000	hornos largos vía seca,
5.000-6.000	vía húmeda.

El consumo de electricidad varía entre 90 y 130 kWh/tonelada de cemento y depende de:

- i. La molturación de los materiales,
- ii. La eficiencia energética de los molinos,
- iii. La finura.

Capítulo 6. La fabricación del cemento y el medio ambiente

Los aspectos ambientales más importantes de la fabricación de cemento son el consumo energético y la emisión a la atmósfera de partículas y de gases de combustión (óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_2)). Las partículas (polvo), provenientes de las operaciones de almacenamiento, transporte y manipulación de los materiales (fuentes dispersas o difusas), y de los filtros de desempolvado (fuentes localizadas).

La medición de las emisiones en fuentes localizadas es necesaria para cumplir con los límites de emisión. Las emisiones del horno dependen de las propiedades de las materias primas (humedad, contenido en compuestos sulfurosos volátiles, dificultad de cocción, etc) y del tipo de horno empleado (vías húmeda, semihúmeda, semiseca o seca).

Los vertidos de agua se limitan a las escorrentías de lluvia, la refrigeración de equipos (normalmente en circuito cerrado) y al agua sanitaria, y no representan un impacto ambiental significativo.

El almacenamiento y la manipulación de combustibles son una fuente potencial de contaminación del suelo y de las aguas freáticas, por lo que las fábricas deben dotarse de medios adecuados que garanticen la protección del suelo.

Otros aspectos ambientales, con efectos normalmente leves son la generación de residuos, el ruido y el olor.

1. LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES (MTDs)

La Ley 16/2002 relativa a la prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), da la definición de Mejores Técnicas Disponibles (MTD o BAT). El propósito de la ley es conseguir la prevención y el control integrados de la contaminación. La ley establece la concesión de autorizaciones ambientales que tengan en consideración los efectos ambientales de la actividad industrial de forma integrada. El objetivo integrado consiste en que la operación y control de las instalaciones industriales se realice de forma que se garantice una elevada protección del medio ambiente en su conjunto, para lo que la Directiva establece que las exigencias ambientales de los permisos deben basarse en las Mejores Técnicas Disponibles.

La Directiva define como Mejores Técnicas Disponibles (MTD) a *la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión.*

En particular, considera:

- Técnicas: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida y explotada.
- Disponibles: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el sector industrial correspondiente, en condiciones económicas y técnicamente viables.
- Mejores: las técnicas más eficaces.

La Directiva IPPC establece la obligación de realizar un intercambio de información a nivel de la Unión Europea sobre Mejores Técnicas Disponibles en los sectores de actividad a los que afecta la Directiva. El Grupo de Trabajo correspondiente a las industrias del cemento y de la cal comenzó sus trabajos

en junio de 1997, y el documento final sobre ambos sectores se hizo público en enero de 2002⁴.

1.1. Mejores Técnicas Disponibles en la industria del cemento

El «Acuerdo Voluntario para la Prevención y Control de la Contaminación de la Industria Española del Cemento», firmado el 28 de noviembre de 2001, entre el Ministerio de Medio Ambiente y la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España recoge explícitamente la realización de estudios sobre Mejores Técnicas Disponibles.

Las MTD, considerando como **técnicas primarias** que redundan en mejoras de calidad, reducción de costes y reducción de los consumos energéticos y de las emisiones a la atmósfera, son las siguientes:

- Optimización del control del proceso,
- sistemas gravimétricos de alimentación de combustibles sólidos,
- mejoras en los enfriadores y
- sistemas de gestión de energía.

Estas técnicas primarias se combinan con otras particulares en función del tipo de emisión considerada tal y como se presenta a continuación.

Las MTD particulares para la reducción de las emisiones de NO_x son una combinación de las técnicas primarias y:

- Quemadores de bajo NO_x,
- combustión por etapas (o escalonada),
- reducción selectiva no catalítica (SNCR).

⁴ *Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries* (BREF)

El nivel de emisión conseguido con estas MTD se reduciría a 500 y 1200 mgNO_x/Nm³ (como NO₂), 500-800 mgNO_x/Nm³ para instalaciones nuevas, 800 – 1200 mgNO_x/Nm³ para instalaciones existentes en vía seca.

Las MTD particulares para reducir las emisiones de SO₂ son una combinación de las técnicas primarias y la adición de materiales absorbentes de SO₂. El nivel de emisión se reduciría a 200-400 mgSO₂/Nm³ para hornos vía seca.

Las MTD particulares para la reducción de las emisiones de partículas provenientes de fuentes dispersas son:

- protección de los sistemas de transporte (pavimentación, cerramiento de cintas, etc),
- cerramiento total o parcial de los almacenamientos (silos de clínker, naves, pantallas de protección contra el viento, etc),
- desempolvado de los puntos de carga y descarga, y de transporte.

Las MTD para la reducción de las emisiones de partículas por fuentes localizadas, además de las técnicas primarias son:

- Filtros electrostáticos
- Filtros de mangas

El nivel de emisión se reduciría a 10-50 mg/Nm³, 30-50 mg/Nm³ para hornos y enfriadores, 10-30 mg/Nm³ para otras instalaciones de desempolvado.

2. LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS Y GASES

El foco más importante de emisión a la atmósfera por chimenea es el horno de clínker. Estas emisiones provienen de las materias primas y de los combustibles. Los principales constituyentes de los gases de salida de un horno de cemento son nitrógeno del aire de combustión; CO₂ de la descarbonatación del CaCO₃ y de la combustión (**Tabla 9**). Los volúmenes habituales de gases emitidos por el horno de clínker varían normalmente entre 1700 y 2500

m³ por tonelada de clínker (gas seco, 101,3 kPa, 273 K) para todos los tipos de hornos (horno con precalentador y precalenador: alrededor de 2.000 m³/tonelada de clínker). Las emisiones son:

- Óxidos de nitrógeno (NO_x),
- Dióxido de azufre (SO₂),
- Partículas (polvo),
- Dióxido de carbono (CO₂).

Tabla 9
COMPOSICIÓN DE LOS GASES EMITIDOS POR EL HORNO

Compuesto	% en Volumen
Nitrógeno (N ₂)	45-66
Dióxido de carbono (CO ₂)	11 -29
Agua (H ₂ O)	10-39
Oxígeno (O ₂)	4-12
Resto (incluidos contaminantes)	<1

otras emisiones asociadas a la operación del horno son:

- Monóxido de carbono (CO);
- Compuestos orgánicos volátiles (COV).

El contenido de estos dos compuestos en los gases emitidos se ve afectado por las condiciones de la combustión y por el contenido en materia orgánica de las materias primas.

Cuando los hornos de clínker utilizan residuos orgánicos como combustibles alterativos (neumáticos, disolventes, aceites, etc.) la emisión de los contaminantes relacionados es normalmente muy baja. Aún así, se realiza un control de:

- metales y sus compuestos
- HF
- HCl
- dioxinas (PCDDs)
- furanos (PCDFs)

Tabla 10
EMISIONES DE HORNOS DE CEMENTO (MEDIDAS ANUALES)

Compuesto o metal	mg/Nm ³	kg/tonelada de clínker	Toneladas/año
NOx	<200-3000	<0.4-6<0.02-7	400-6000
SO ₂	<10-3500	0.01-0.4	<20-7000
Partículas de polvo	5-200	1-4	10-400
CO	500-2000	800-1040	1000-4000
CO ₂	400 10 ³ – 520 10 ³	0.01-1	0.8 10 ⁶ -1.04 10 ⁶
TOC	5-500	<0.8 10 ⁻³ -10 10 ⁻³	10-1000
HF	<0.4-5	<2 10 ⁻³ -50 10 ⁻³	<0.8-10
HCL	<1-25	<200 10 ⁻¹² – 1000 10 ⁻¹²	<2-50
PCDDT	<1 10 ⁻⁶ -25 10 ⁻⁶	20 10 ⁻⁶ -600 10 ⁻⁶	<0.2 10 ⁻⁶ -1 10 ⁻⁶
Hg,Cd,Tl	0,01-0.3	2 10 ⁻⁶ -200 10 ⁻⁶	20 10 ⁻³ -600 10 ⁻³
As,Co,Ni,Se,Te	0.001-0.1	10 10 ⁻⁶ -600 10 ⁻⁶	2 10 ⁻³ -200 10 ⁻³
Sb,Pb,Cr,Cu,Mn,V,Sn, Zn	0.005-0.3		10 10 ⁻³ -600 10 ⁻³

Nota: los factores de emisión están basados en:

- emisión de 2.000 m³/tonelada de clínker
- producción de 1 millón de toneladas de clínker/año.
- contenido de O₂ de un 10%.

2.1. Filtros

Los gases de salida de los hornos se pasan a un dispositivo de depuración (precipitador electrostático o filtro de mangas) para la separación del polvo antes de que se emitan a la atmósfera.

Un aspecto medioambiental relevante es la emisión de partículas provenientes de:

- el transporte a fábrica,
- las operaciones de carga y descarga,

- la acción del viento sobre los almacenamientos,
- los puntos de transferencia,
- el transporte interno.

Las operaciones de molienda de materias primas, combustibles sólidos y cemento, son también fuentes de emisión de partículas.

En los procesos secos, los gases de salida proporcionan calor al molino de crudo y al molino de carbón para el secado. Si el molino de crudo no está en servicio (marcha directa), los gases se enfrían con agua pulverizada en una torre de acondicionamiento antes de conducirlos al colector de polvo.

Cuando se emplean precipitadores electrostáticos (EPs), el control de los niveles de CO es crítico en los hornos de cemento. Si éste se eleva un 0,5% en volumen, la alimentación de corriente eléctrica al electrofiltro se desconecta automáticamente para eliminar el riesgo de explosión.

Las mejores técnicas aplicables para la reducción de las emisiones de partículas son la combinación de las medidas primarias y:

i) Reducción de las emisiones de partículas mediante la instalación de:

- Precipitadores electrostáticos (EPs) con sistemas de medición de CO que minimizan el número de disparos.
- Filtros de mangas multicámara y sistemas de detección de rotura de las mangas.

El nivel de emisión MTD asociado con los filtros es:

- 30-50 mg/Nm³ para hornos y enfriadores.
- 10-30 mg/Nm³ para otras instalaciones de desempolvado.

La **Tabla 11** muestra las técnicas para el control del polvo proveniente de fuentes puntuales (hornos, los enfriadores de clínker y los molinos de cemento).

Tabla 11
TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS

Técnica	Aplicación	Emisiones	Coste	
		mg/Nm ³	Inversión (en millones de euros)	Operativo (en euros por tonelada de clinker)
Precipitador electrostático	Hornos de 3.000 ton. de clinker/día, y partículas=500 g/m ³	<50	2,1-4,6	0,1-0,2
	Enfriadores de clinker (3.000 ton. de clinker/día, partículas=20 g/m ³)		0,8-1,2	0,09-0,18
	Molinos de cemento 160 ton. cemento/hora partículas=300g/m ³		0,8-1,2	0,09-0,18
Filtros de mangas	Hornos de 3.000 ton. de clinker/día, y partículas=500 g/m ³		2,1-4,3	0,15-0,35
	Enfriadores de clinker (3.000 ton. de clinker/día, partículas=20 g/m ³)		1,0-1,4	0,1-0,15
	Molinos de cemento 160 ton. cemento/hora partículas=300g/m ³		0,3-0,5	0,03-0,04

Los EPs y los filtros de mangas tienen una alta eficacia de despolvado durante el funcionamiento normal. En condiciones de mal funcionamiento, algunos filtros han alcanzado valores de emisión de entre 5 y 20 mg/Nm³. La eficacia de los EPs puede estar reducida en el arranque del horno, la entrada en funcionamiento del molino de crudo, o su parada; mientras que no se afecta la eficacia de los filtros de mangas.

ii) Reducción de las emisiones dispersas mediante la aplicación de las técnicas:

Técnicas para la disminución de las emisiones dispersas son:

- Protección contra el viento de los acopios externos.
- Pulverizado de agua y reductores químicos de polvo que ayudan a la aglomeración.
- Pavimentación, limpieza y regado de viales.
- Aspiración fija y móvil.

- Ventilación y recogida en los filtros de mangas.
- Almacenamiento cerrado con sistema de manipulación automático.

2.1.1. Precipitadores electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos (EP) generan un campo electrostático en la corriente de aire. Las partículas se cargan negativamente y migran hacia las placas colectoras cargadas positivamente. Las placas se someten a golpeteo o vibración periódica para su limpieza, descargando el material que cae en tolvas colectoras. Las acumulaciones del material pueden formar una capa aislante sobre las placas colectoras, reduciendo así la intensidad del campo eléctrico. Esto se da si hay entradas de cloruros y azufre en el horno. Por tanto, los ciclos de limpieza son optimizados.

Los factores que afectan a la eficacia de este tipo de precipitadores son la velocidad del gas, la intensidad del campo eléctrico, la velocidad de carga de las micropartículas, la concentración del dióxido de azufre, el contenido de humedad y la forma y área de los electrodos. Los EPs funcionan en condiciones de altas temperaturas (<400 °C) y elevada humedad. Para el funcionamiento eficaz de los precipitadores electrostáticos, es importante evitar los disparos de CO.

2.1.2. Filtros de mangas

El principio básico de los filtros de mangas es emplear una membrana de tejido que es permeable al gas pero que retendrá el polvo. El gas fluye desde el exterior de la manga hacia el interior. El filtro de mangas puede tener múltiples compartimentos que se aíslan individualmente en caso de la rotura de alguna manga. Es necesario realizar periodos de limpieza del filtro. Los métodos más comunes de limpieza incluyen el flujo de gas inverso, agitación mecánica, vibración e impulsión con aire comprimido.

El empleo de filtros de mangas con gases a temperaturas altas exige el montaje de tejidos más resistentes que los normalmente suministrados, y por tanto, con un coste superior.

2.1.3. Filtros de híbridos

Se han desarrollado en los últimos años los filtros híbridos, consistentes en la combinación de ambos sistemas. Los gases pasan primero por una cámara electrostática, donde se realiza un desempolvado parcial, para pasar posteriormente a la cámara de mangas. Este sistema pretende aunar las ventajas de ambos sistemas y compensar sus desventajas.

Capítulo 7. Tipos de cemento. Normalización y reglamentación

1. NORMALIZACIÓN

El cambio de las normas de especificaciones de los cementos del año 1996 a las homologas de los años 2000 y 2001 ha sido una consecuencia del Mandato M114 «Cemento, cales de construcción y otros componentes hidráulicos» dado al Comité Europeo de Normalización (CEN) por la Comisión Europea y la Asociación Europea de Libre Comercio y de la Directiva Europea de Productos de la Construcción 89/106/CEE. En junio de 2000 se aprobaron como paquete normativo las normas EN 197-1: 2000 (Especificaciones de cementos comunes) y EN 197-2:2000 (Criterios de Conformidad), siendo obligatorias en la Unión Europea a partir del 1 de abril de 2002 (Resolución del CMC 2/2000).

1.1. Normalización europea

Las primeras normas del cemento se introdujeron en Alemania en el 1878; en Francia se permitió el uso del cemento en la construcción de los edificios gubernamentales en el 1885; en los Estados Unidos y Reino Unido se establecieron las normas del cemento en el 1904.

La preparación de Normas Europeas de Cementos se inicio por la Comunidad Económica Europea (CEE) en 1969. En 1973, el trabajo se encargo al Comité Europeo de Normalización (CEN), con participación de los

Estados miembros de la Unión Europea y de la Asociación Europea del Libre Comercio. Las Normas Europeas de Cementos han sido elaboradas por el Comité Técnico de Normalización número 51 del CEN «Cementos y cales de construcción» (CEN/TC51). El Grupo de Trabajo 6 «Definición y terminología del cemento» (CEN/TC51/WG6), ha desarrollado la norma europea armonizada de los «Cementos comunes» (EN 197-1:2000), mientras que el Grupo de Trabajo 13 «Criterios de Conformidad» (CEN/TC51/WG13), ha redactado la norma europea armonizada de «Evaluación de la Conformidad» (EN 197-2:2000), que se aplica a los cementos comunes, los cementos especiales y otros materiales de construcción análogos (cales de construcción, cementos de albañilería, conglomerantes hidráulicos para carreteras, etc.). El CEN/TC51 tiene otros Grupos de Trabajo dedicados a la elaboración de normas europeas de cemento relativas a sus métodos de ensayo (CEN/TC51/WG15).

La creación de normas europeas armonizadas tiene el objeto de suprimir las barreras técnicas que impedían la libre circulación de mercancías en la Unión Europea. Estas barreras se deben a que países europeos habían establecido normas y reglamentos nacionales para regular adecuadamente su comercio interior para proteger a los consumidores.

La Directiva de Productos de la Construcción 89/106/CEE, publicada en el Diario Oficial de la Comunidad Europea (DOCE u OJEC) en 1990, marcó las directrices de como elaborar las normas europeas. Además, esta Directiva otorga a la normativa armonizada europea carácter legislativo. En 1998 La Comisión Europea entregó al CEN el Mandato Definitivo para la elaboración de normas europeas armonizadas de productos de construcción. El 1 de julio de 2013 se anuló esta Directiva y dejó paso al Reglamento de Productos de Construcción (RPC) que se presenta al final de este capítulo.

El CEN ha tardado *30 años* en alcanzar la norma europea del cemento común, la primera norma europea armonizada de un producto de construcción. En 1992 se aprobó una norma europea provisional para los «cementos comunes» (ENV 197-1: 1992), y tres años más tarde la norma de «Evaluación de la Conformidad» (ENV 197-2:1995), que se tomaron como referencia por distintos países de la Unión Europea para la actualización de sus normas

nacionales. Por ejemplo, España puso al día sus normas UNE de cemento en 1996, publicando la UNE 80.301:96 de «cementos comunes» entre otras normas nacionales relativas al cemento. Dichas normas voluntarias pasaron a ser de carácter obligatorio en España en 1997, al aprobarse la Instrucción de Recepción de Cementos de 1997, RC-97, que recogía las UNE del 96.

Finalmente, el 1 de Julio del 2000 se aprobó como paquete normativo las normas europeas armonizadas EN 197-1:2000: «cementos comunes» y EN 197-2:2000: «evaluación de la conformidad» las cuales han sido las primeras normas europeas armonizadas que se han publicado para productos de la construcción.

Las Entidades Nacionales de Normalización de los países europeos trasladaron dichas normas europeas a normas nacionales en un plazo de 6 meses. AENOR en España, a través del Comité Técnico de Normalización 80: «Cementos y Cales» (AEN/CTN-80) las aprobó como normas UNE en diciembre de 2000 y las denominó UNE-EN 197-1:2000 y UNE-EN197-2:2000.

La publicación oficial de las mencionadas normas en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOCE o OJEC) se efectuó a los 9 meses de su entrega, el 1 abril del 2001, fecha a partir de la cual los cementos conformes con dichas normas podían llevar el marcado CE. Sin embargo, se estableció un periodo de transición de un año, entre el 1 de abril del 2001 y el 1 de abril del 2002, en que coexistieron en el mercado europeo cementos conformes con las normas nacionales y con las nuevas normas europeas armonizadas.

A partir del 1 de abril del 2002, sólo podían comercializarse dentro de los países de la Unión Europea aquellos cementos comunes conformes con la EN 197-1: 2000 y, por tanto, con marcado CE. A partir de su publicación, el carácter obligatorio de las mismas se contempla en la Instrucción de Recepción de Cementos.

Actualmente, las normas vigentes después de haberse realizado la primera revisión normativa son:

- a. EN 197-1:2011 Cemento – Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.
- b. EN 197-2:2014 Cemento – Parte 2: Evaluación de la conformidad.

Existen dos grandes grupos de normas europeas referentes a cementos: el de las EN 196, relativas a métodos de ensayos, y el de las EN 197, relativas a composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos.

1.2. Cementos con marcado CE

1.2.1 Cementos comunes definidos en la norma UNE-EN 197-1

El 6 agosto de 2011 se aprobó la primera revisión de la norma europea de especificaciones de cementos comunes EN 197-1:2000, la cual se denominó EN 197-1:2011, diez años después de la aparición de la EN 197-1:2000 que fue la primera norma de especificaciones armonizada de un producto de construcción dentro del campo de aplicación de la Directiva de Productos de Construcción (DPC). AENOR la publicó como UNE-EN 197-1:2011, la cual anuló a la UNE-EN 197-1:2000 y a su *erratum* (UNE-EN 197-1:2000 *erratum*).

Se consideran cementos comunes los definidos en la norma UNE-EN 197-1 que incluye 27 cementos comunes, 7 cementos comunes resistentes a los sulfatos, así como 3 cementos de horno alto de baja resistencia inicial de los que 2 de ellos son resistentes a los sulfatos. Las proporciones en masa de los componentes de los cementos comunes se especifican en las **Tablas 12 y 13**, según su clasificación por tipo, denominación y designación.

Como novedad importante de la EN 197-1:2011 en comparación con la EN 197-1:2000, hay que mencionar que se incorpora un nuevo requisito que deben cumplir los clínkeres con los que se van a fabricar los cementos resistentes a los sulfatos, se trata del límite superior del contenido de C_3A que se define en el capítulo 7.4 «Requisitos de durabilidad». De esta forma, la norma europea UNE-EN 197-1:2011 culminó el trabajo normativo sobre especificaciones de los cementos comunes realizado en Europa a comienzos de este siglo. Asimismo, con la normalización de los cementos comunes resistentes a los sulfatos se completa un aspecto fundamental del Mandato M/114 de la Comisión Europea al Comité Europeo de Normalización (CEN).

Los cementos portland comunes resistentes a los sulfatos y los cementos puzolánicos resistentes a los sulfatos se elaboran con clinker de cemento

portland resistente a los sulfatos (SR) en el cual el contenido de C_3A no excede:

Para el CEM I: **0%, 3 % ó 5 %**, según corresponda.

Para el CEM IV/A y CEM IV/B: **9 %**.

El contenido de aluminato tricálcico (C_3A) en el clínker conforme con la norma europea se calculará con la expresión:

$$C_3A (\%) = 2,65 \cdot A - 1,69 \cdot F$$

En donde A es el porcentaje en masa del óxido de aluminio (Al_2O_3) del clínker y F es el porcentaje en masa del óxido de hierro (III) (Fe_2O_3) del clínker ambos determinados de acuerdo con la UNE-EN 196-2. Puede suceder que se obtenga un valor negativo de C_3A en el cálculo, en este caso, se registrará el valor del 0 %.

En la norma española UNE 80304:2006 el contenido de aluminato tricálcico (C_3A) en el clínker se calcula con la misma fórmula de la norma europea y el contenido de ferrito-aluminato tetracálcico (C_4AF) en el clínker se calcula con la fórmula siguiente:

$$C_4AF (\%) = 3,04 \cdot F$$

La frecuencia mínima de ensayo y la utilización de métodos alternativos para la evaluación directa o indirecta del C_3A debería de incluirse en el control de producción de fábrica, aunque una frecuencia de ensayo habitual es de dos al mes.

Hay que destacar las peculiaridades de la composición de los cementos resistentes a los sulfatos en comparación con la composición de los cementos comunes:

- Los cementos CEM IV/A-SR deben contener del 65% al 79% de clínker, por lo que el límite superior es diez puntos porcentuales menor que el clínker ($K=65-89\%$) de los CEM IV/A que no son resistentes a los sulfatos.

- Las únicas adiciones permitidas son la escoria de horno alto, la puzolana natural y la ceniza volante silíceas.

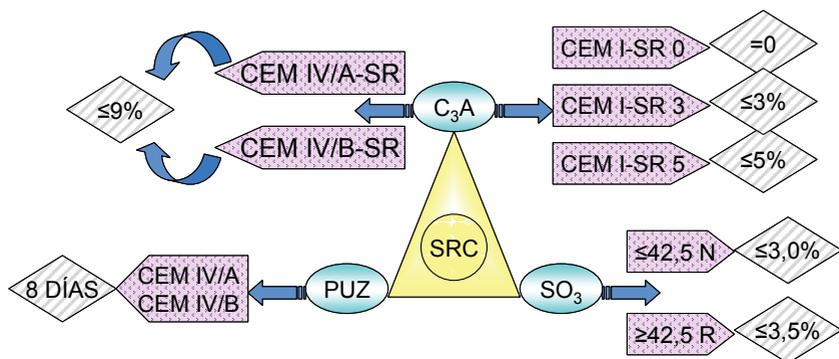
La norma UNE-EN 197-1:2011 recoge un anejo A (informativo) que cita a la norma nacional española de los cementos resistentes a los sulfatos no incluidos en la norma europea.

Con relación a las especificaciones químicas de los cementos comunes resistentes a los sulfatos hay que mencionar que se les exige un nuevo requisito (límite superior en el contenido de C_3A), como ya se ha adelantado en los apartados anteriores, y dos requisitos que también se piden al resto de los cementos comunes (contenido de sulfatos $-SO_3-$ y puzolanidad –sólo en los CEM IV–) pero con un nivel de exigencia superior; es decir, el contenido de sulfatos debe ser medio punto porcentual inferior que para el resto de los cementos comunes y el ensayo de puzolanidad, en el caso de los cementos CEM IV/A-SR y CEM IV/B-SR debe ser positivo a los 8 días. La **Figura 22** recoge las exigencias adicionales de los cementos comunes resistentes a los sulfatos:

- Nuevo requisito del contenido de C_3A (Límite superior).
- Requisito más exigente del contenido de SO_3 (Límite superior). El contenido de SO_3 para los cementos 32,5 N, 32,5 R y 42,5 N debe ser inferior o igual al 3,0 %, mientras que para los 42,5 R, 52,5 N y 52,5 R debe ser inferior o igual al 3,5 %.
- Requisito más exigente de la puzolanidad en los CEM IV/A-SR y CEM IV/ B-SR: cumplimiento del ensayo a 8 días.

Finalmente, conviene remarcar de nuevo que el límite inferior del contenido de P+V de los cementos comunes puzolánicos CEM IV/A-SR resistentes a los sulfatos es de 21% en vez del 11% especificado para el resto de los cementos puzolánicos del tipo CEM IV/A.

Figura 22
EXIGENCIAS ADICIONALES DE LOS CEMENTOS COMUNES
RESISTENTES A LOS SULFATOS



Las prescripciones relativas a las características mecánicas y físicas que deben cumplir los cementos comunes según sus clases de resistencia figuran en la **Tabla 14** mientras que las prescripciones relativas a las características químicas que deben cumplir los cementos comunes figuran en la **Tabla 15**.

El cemento portland se designará con las siglas CEM I, seguidas de la clase de resistencia (32,5 – 42,5 – 52,5), se añadirá un espacio en blanco y la letra (R) si es de alta resistencia inicial o la letra (N) si es de resistencia inicial normal. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1 seguida de un guión.

Los cementos portland con adiciones se designarán con las siglas CEM II seguidas de una barra (/) y de la letra que indica el subtipo (A ó B) separada por un guión (-) de la letra que identificativa del componente principal empleado como adición del cemento, es decir:

S: escoria granulada de horno alto;

D: humo de sílice;

P: puzolana natural;

Q: puzolana natural calcinada;

V: ceniza volante silíceas;

W: ceniza volante calcárea;

T: esquistos calcinados;

L: caliza con un contenido en carbono orgánico total menor o igual a 0,5% en masa.

LL: caliza con un contenido en carbono orgánico total menor o igual a 0,2% en masa.

En el caso de que se utilice una combinación de los componentes anteriores se designará con la letra M, indicando además entre paréntesis las letras identificativas de los componentes principales empleados como adición. A continuación se indicará la clase de resistencia (32,5 – 42,5 – 52,5), se añadirá un espacio en blanco y la letra R si es de alta resistencia inicial o la letra N si es de resistencia inicial normal. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1 seguida de un guión.

Tabla 12
CEMENTOS COMUNES DE LA UNE-EN 197-1:2011

Tipos	Denominación	Designación	Composición (proporción en masa ¹⁾)										Componentes minoritarios			
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humedad de Sílice D ²⁾	Componentes principales				Caliza ⁴⁾						
						Natural P	Natural calcinada Q	Síliceas V	Calceiras W	Esquistos Calcinados T	L	LL				
CEM I	Cemento portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	Cemento portland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM III	Cemento portland con humo de sílice	CEM III/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Cemento portland con puzolana	CEM III/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Cemento portland con puzolana	CEM III/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM V	Cemento portland con ceniza volante	CEM III/B-V	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-W	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM VI	Cemento portland con esquistos calcinados	CEM III/B-W	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
CEM VII	Cemento portland con caliza	CEM III/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-I	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
CEM VIII	Cemento portland compuesto ³⁾	CEM III/B-I	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-M	80-88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CEM IX	Cemento de horno alto	CEM III/B-M	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM X	Cemento puzolánico ⁵⁾	CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A	65-89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM IV/A	35-64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM IV/B	20-34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM XI	Cemento compuesto ⁶⁾	CEM V/A	40-64	18-30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5

1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).

- 2) El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10%.
- 3) En cementos p rtland compuestos, CEM II/A-M y CEM II/B-M, en cementos puzolánicos, CEM IV/A y CEM IV/B, y en cementos compuestos, CEM V/A y CEM V/B, los componentes principales diferentes del clinker deben ser declarados en la designación del cemento (véase el apartado A1.1.2).
- 4) El contenido de carbono orgánico total (TOC), determinado conforme al UNE EN 13639, será inferior al 0,20% en masa para calizas LL, o inferior al 0,50% en masa para calizas L.

Los cementos de horno alto, los cementos puzolánicos y los cementos compuestos se designarán con las siglas CEM III, CEM IV y CEM V, respectivamente, seguidas de una barra (/) y de la letra que indica el subtipo (A, B   C), en su caso. Cuando se trate de cementos puzolánicos tipo IV o cementos compuestos tipo V, se indicará además, entre paréntesis, las letras identificativas de los componentes principales empleados como adición. A continuación, se reflejará la clase de resistencia (32,5 – 42,5 – 52,5) y, seguidamente, un espacio en blanco y la letra R si se trata de un cemento de alta resistencia inicial o la letra N en el caso de ser de resistencia inicial normal y la letra L si es de baja resistencia inicial. Este último caso se contempla exclusivamente para los cementos de horno alto. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1 seguida de un guión.

En el caso de los cementos comunes de bajo calor de hidratación se debe añadir las letras LH precedidas por un guión al final de la designación correspondiente.

En el caso de los cementos comunes resistentes a los sulfatos se debe añadir las letras SR precedidas por un guión al final de la designación correspondiente. En el caso del CEM I, a las letras SR se añadirá un espacio en blanco y el número 0, 3   5, según sea su contenido de C_3A en el clinker del 0%, $\leq 3\%$   $\leq 5\%$, respectivamente.

En el caso de los cementos comunes resistentes a los sulfatos y que además sean de bajo calor de hidratación se debe añadir las letras LH/SR, precedidas por un guión al final de la designación correspondiente.

Tabla 13

CEMENTOS COMUNES RESISTENTES A LOS SULFATOS DE LA UNE-EN 197-1:2011

Tipos Principales	Denominación	Designación	Contenido de C ₃ A(%) ⁹⁾	Composición (proporción en masa ¹⁾)				
				Componentes principales				Componentes minoritarios adicionales
				Clinker, K	Escoria de horno alto, S	Puzolana natural, P	Ceniza volante Silicea, V	
CEM I	Cemento portland resistente a los sulfatos	CEM I-SR 0	0	95-100	-	-	-	0-5
		CEM I-SR 3	3					
		CEM I-SR 5	5					
CEM III ³⁾	Cemento de horno alto resistente a los sulfatos	CEM III/B-SR	-	20-34	66-80	-	-	0-5
		CEM III/C-SR	-	5-19	81-95	-	-	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico resistente a los sulfatos ²⁾	CEM IV/A-SR	≤ 9	65-79	-	21-35		0-5
		CEM IV/B-SR	9	45-64	-	36-55		0-5

- 1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios adicionales
- 2) En los cementos puzolánicos resistentes a los sulfatos, los tipos CEM V/A-SR y CEM V/B-SR, los componentes principales además del clinker deben ser declarados en la denominación del cemento.
- 3) En el caso de los cementos de horno alto resistentes a los sulfatos, CEM III/B-SR y CEM III/C-SR, no existe requisito relativo al contenido de C₃A en el clinker
- 4) Analizado en el clinker

Tabla 14
PRESCRIPCIONES MECÁNICAS Y FÍSICAS DE LOS CEMENTOS
COMUNES

Clase de resistencia	Resistencia a compresión ²⁾ UNE-EN 196-1 (N/mm ²)				Tiempo de principio de fraguado UNE-EN196-3 (min)	Estabilidad de volumen UNE-EN196-3 (Expansión, mm)	Calor de Hidratación ³⁾ (J/g)	
	Resistencia inicial		Resistencia nominal				UNE-EN 196-9	UNE-EN 196-8
	2 días	7 días	28 días				41 horas	7 días
32,5 L ¹⁾	-	12,0	≥32,5	52,5	≥75	≤10	≤270	
32,5 N	-	16,0						
32,5 R	10,0	-						
42,5 L ¹⁾	-	≥16,0	≥42,5	62,5	≥60			
42,5 N	≥10,0	-						
42,5 R	≥20,0	-						
52,5 L ¹⁾	≥10,0	-	≥52,5	-	≥45			
52,5 N	≥20,0	-						
52,5R	≥30,0	-						

¹⁾ Clase de resistencia definida sólo para los CEM III.

²⁾ 1 N/mm² = 1 MPa.

³⁾ Solo para cementos de bajo calor de hidratación (LH)

Tabla 15
PRESCRIPCIONES QUÍMICAS DE LOS CEMENTOS COMUNES

Característica	Norma de ensayo	Tipo de Cemento	Clase de Resistencia	Prescripción ¹⁾
Pérdida por calcinación	UNE-EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	≤5,0%
Residuo insoluble	UNE-EN 196-2 ²⁾	CEM I CEM III	Todas	≤5,0%
Contenido de sulfatos (como SO ₃)	UNE-EN 196-2	CEM I CEM II ³⁾ CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤3,5%
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤4,0%
		CEM III ⁴⁾	Todas	
		Todos ⁵⁾	Todas	≤0,10% ⁶⁾
Contenido de cloruros (Cl ⁻)	UNE-EN 196-2	Todos ⁵⁾	Todas	≤0,10% ⁶⁾
Puzolanidad	UNE-EN 196-5	CEM IV	Todas	Cumplimiento del ensayo

- 1) En el caso en que las prescripciones se expresan en porcentajes, estos se refieren a la masa del cemento final.
- 2) La determinación del residuo insoluble se realizará por el método basado en la disolución de la muestra en ácido clorhídrico y posterior ataque con disolución de carbonato de sodio.
- 3) El cemento tipo CEM II/B-T y CEM II/B-M con un contenido de T superior al 20% puede contener hasta el 4,5% de sulfatos para todas las clases de resistencia.
- 4) El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta el 4,5% de sulfatos.
- 5) El tipo de cemento CEM III puede contener más del 0,10% de cloruros, pero en tal caso el contenido máximo debe ser consignado en los envases y en los albaranes de entrega.
- 6) Para aplicaciones de pretensado, el cemento puede haber sido fabricado expresamente con valores de cloruros inferiores al máximo admisible. En este caso, se debe expresar dicho valor en los envases y albaranes de entrega.

La designación normalizada de esta norma se presenta en la **Tabla 16**. La primera columna indica la denominación del cemento común; la segunda columna indica la norma o preforma de donde proviene el cemento en cuestión y donde se integra en la norma europea UNE-EN 197-1:2011; la tercera columna muestra la designación adicional, si procede; y la cuarta un ejemplo que se designa en la quinta columna.

La **Figura 23** explica la designación normalizada de los cementos comunes de la UNE-EN 197-1:2011 presentados en los ejemplos de la **Tabla 16**.

Cuando en la misma fábrica, un fabricante produce diferentes cementos que corresponden a la misma designación normalizada, estos cementos reciben una identificación adicional en forma de un número o de dos letras minúsculas, entre paréntesis, con el fin de distinguir estos cementos unos de otros. Para el sistema numérico, éste número debería ser el 1 para el segundo cemento certificado, 2 para el siguiente y así sucesivamente. Para el sistema de letras, éstas se deben elegir de tal forma que se evite cualquier confusión.

Tabla 16

EJEMPLOS DE DESIGNACIÓN NORMALIZADA DE LA UNE-EN 197-1:2011

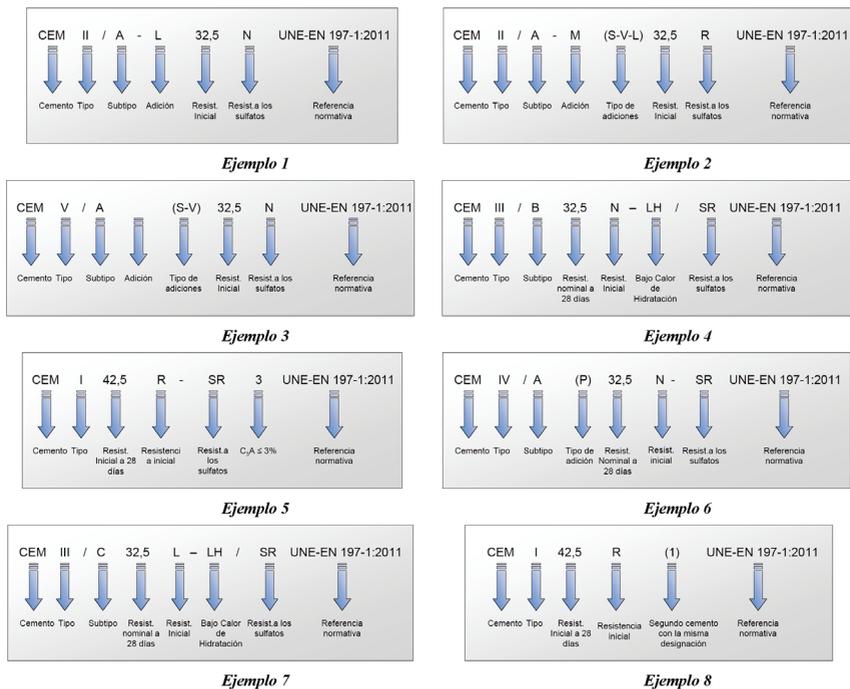
CEMENTO	NORMA ORIGINAL ANTERIOR A 2011	DESIGNACIÓN ADICIONAL	EJEMPLO DE LA UNE-EN 197-1:2011	DESIGNACIÓN DEL CEMENTO COMÚN DE LA UNE-EN 197-1:2011
Cemento común	UNE-EN 197-1:2000	-	Un cemento portland con caliza, conforme con la UNE-EN 197-1, con un contenido entre el 6 % y el 20 % en masa de una caliza (L) con un contenido de TOC que no exceda del 0,50 % en masa y de clase de resistencia 32,5 con una resistencia inicial ordinaria.	Cemento portland con caliza EN 197-1 – CEM III/A-L 32,5 N
Cemento común	UNE-EN 197-1:2000 y UNE-EN 12409:2000 / AS 2007	-	Un cemento portland compuesto, conforme con la UNE-EN 197-1, conteniendo en total una cantidad de escoria granulada de horno alto (S), de ceniza volante sílicea (V) y de caliza (L) entre el 12 % ¹⁾ y el 20 % en masa, y de clase de resistencia 32,5 con alta resistencia inicial.	Cemento portland compuesto EN 197-1 – CEM III/A-M (S-V-L) 32,5 R
Cemento común	UNE-EN 197-1:2000 y UNE-EN 12409:2000 / AS 2007	-	Un cemento compuesto, conforme con la UNE-EN 197-1, que contiene entre el 18 % y el 30 % en masa de escoria granulada de horno alto (S) y entre el 18 % y el 30 % en masa de ceniza volante sílicea (V) y de clase de resistencia 32,5 con una resistencia inicial ordinaria.	Cemento compuesto EN 197-1 – CEM V/A (S-V) 32,5 N
Cemento común resistente a los sulfatos de bajo calor de hidratación	UNE-EN 197-1:2000, UNE-EN 197-1:2000 / A1:2004 y prEN 197-1 prA2	LH/SR	Un cemento de horno alto, conforme con la UNE-EN 197-1, que contiene entre el 66 % y el 80 % en masa de escoria granulada de horno alto (S) y de clase de resistencia 32,5 con una resistencia inicial ordinaria, de bajo calor de hidratación y resistente a los sulfatos.	Cemento de horno alto EN 197-1 – CEM III/B 32,5 N – LH/SR
Cemento común resistente a los sulfatos	UNE-EN 197-1:2000 y prEN 197-1 prA2	SR 3	Un cemento portland, conforme con la UNE-EN 197-1, de clase de resistencia 42,5 con una elevada resistencia inicial y resistente a los sulfatos con un contenido de C ₃ A en el clínker ≤ 3 % en masa.	Cemento portland EN 197-1 – CEM I 42,5 R – SR 3
Cemento común resistente a los sulfatos	UNE-EN 197-1:2000 y prEN 197-1 prA2	SR	Un cemento puzolánico, conforme con la UNE-EN 197-1, que contiene entre el 21 % y el 35 % en masa de puzolana natural (P), de clase de resistencia 32,5 con una resistencia inicial ordinaria y resistente a los sulfatos con un contenido de C ₃ A en el clínker ≤ 9 % en masa y que cumple el requisito de puzolanicidad.	Cemento puzolánico EN 197-1 – CEM IV/A (P) 32,5 N – SR
Cemento común de baja resistencia inicial, bajo calor de hidratación y resistente a los sulfatos	UNE-EN 197-4:2004, prEN 197-1 prA2 y UNE-EN 197-4 prA1	LH/SR	Un cemento de horno alto, conforme con la UNE-EN 197-1, que contiene entre el 81 % y el 95 % en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase de resistencia 32,5 de baja resistencia inicial y bajo calor de hidratación y resistente a los sulfatos.	Cemento de horno alto EN 197-1 – CEM III/C 32,5 L – LH/SR
Cemento común con la misma designación en la misma fábrica	UNE-EN 197-1:2000	(1)	Un cemento portland, conforme con la UNE-EN 197-1, de clase de resistencia 42,5 con una elevada resistencia inicial y en el caso de que en la fábrica se produzcan diferentes cementos que cumplen con la misma designación normalizada.	Cemento portland EN 197-1 – CEM I 42,5 R (1)

¹⁾ Al ser un cemento con tres componentes principales además del clínker, este valor debe ser 18% (tres componentes principales multiplicado por 6%).

Figura 23

DESIGNACIÓN DE LOS CEMENTOS COMUNES RESISTENTES A LOS

SULFATOS DE LA UNE-EN 197-1:2011 PRESENTADOS EN LOS EJEMPLOS DE LA TABLA 16



1.2.2 Cementos especiales de muy bajo calor de hidratación

Se consideran cementos especiales de muy bajo calor de hidratación aquellos definidos en la norma UNE-EN 14216. Las proporciones en masa de los componentes de los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación se especifican en la **Tabla 17**, según su clasificación por tipo, denominación y designación.

Las prescripciones relativas a las características mecánicas y físicas que deben cumplir los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación según sus clases de resistencia figuran en la **Tabla 18**, mientras que las pres-

cripciones relativas a las características químicas que deben cumplir los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación figuran en la **Tabla 19**.

Los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación se designan con las siglas VLH seguidas del tipo de cemento, de acuerdo con el apartado anterior. Cuando se trate de cementos puzolánicos tipo IV o cementos compuestos tipo V, se indicarán además, entre paréntesis, las letras identificativas de los componentes principales empleados como adición. A continuación se indicará la clase resistente nominal 22,5. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma UNE-EN 14216 seguida de un guión. Por ejemplo, un cemento especial puzolánico de muy bajo calor de hidratación, con un contenido entre 36 % y 55 % en masa de puzolana natural (P) y de clase resistente 22,5 se designará como EN 14216 – VLH IV/B (P) 22,5.

Tabla 17
CEMENTOS ESPECIALES DE MUY BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN

Tipos	Denominación	Designación	Composición (proporción en masa) ¹⁾							Componentes minoritarios
			Componentes principales							
			Clinker K	Escoria de homo alto S	Humo de Sílice D ²⁾	Puzolana		Cenizas volantes		
						Natural P	Natural Calcinada Q	Silíceas V	Calcáreas W	
VLH III	Cemento de homo alto	VLH III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	0-5
		VLH III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	0-5
VLH IV	Cemento puzolánico ³⁾	VLH IV/A	65-89	-	<-----11-35----->				0-5	
		VLH IV/B	45-64	-	<-----36-55----->				0-5	
VLH V	Cemento compuesto ³⁾	VLH V/A	40-64	18-30	-	<-----18-30----->		-	0-5	
		VLH V/B	20-38	31-50	-	<-----31-50----->		-	0-5	

¹⁾ Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios. Los requisitos para la composición se refieren a la suma de todos los componentes principales y minoritarios. El cemento final es la suma de los componentes principales y minoritarios más el sulfato de calcio y cualquier aditivo.

²⁾ El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10 %.

³⁾ En los cementos puzolánicos VLH IV/A y VLH IV/B y en cementos compuestos VLH V/A y VLH V/B los componentes principales diferentes del clinker deben ser declarados en la designación del cemento.

Tabla 18
PRESCRIPCIONES MECÁNICAS Y FÍSICAS DE LOS CEMENTOS
ESPECIALES DE MUY BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN

Clase de resistencia	Resistencia a compresión UNE-EN 196-1 (N/mm ²)		Tiempo de principio de fraguado UNE-EN196-3 (min)	Estabilidad de volumen UNE-EN 196-3 Expansión (mm)	Calor de hidratación (J/g)	
	Resistencia nominal 28 días				UNE-EN 196-9 a 41 horas	UNE-EN 196-8 a 7 días
22,5	≥ 22,5	≤42,5	≥75	≤10	≤220	

Tabla 19
PRESCRIPCIONES QUÍMICAS DE LOS CEMENTOS ESPECIALES DE MUY
BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN

Propiedad	Ensayo de referencia	Designación	Prescripción ¹⁾
Pérdida por calcinación	UNE-EN 196-2	VLH III	≤5,0 %
Residuo insoluble	UNE-EN 196-2 ²⁾	VLH III	≤5,0%
Contenido de sulfatos (como SO ₃)	UNE-EN 196-2	VLH III/B	≤4,0%
		VLH III/C	≤4,5%
		VLH IV	≤3,5%
		VLH V	≤3,5%
Contenido de ión cloruro		Todos ³⁾	≤0,10%
Puzolanidad	UNE-EN 196-5	VLH IV	Cumplimiento del ensayo

¹⁾ Las prescripciones se dan en porcentajes en masa de cemento final.

²⁾ Determinación del residuo insoluble en ácido clorhídrico y carbonato de sodio.

³⁾ El cemento tipo VLH III puede contener más de 0,10 % de cloruros, pero en tal caso, el contenido máximo se debe consignar en los sacos o albaranes de entrega.

1.2.3 Cemento de aluminato de calcio

Se considera cemento de aluminato de calcio aquél definido en la norma UNE-EN 14647. El cemento de aluminato de calcio está compuesto únicamente por clínker de cemento de aluminato de calcio, obtenido a partir de una mezcla definida de materiales aluminosos y calcáreos sometida a tratamiento térmico adecuado.

Las prescripciones relativas a las características mecánicas y físicas que debe cumplir el cemento de aluminato de calcio figuran en la **Tabla 20**, mientras que las prescripciones relativas a las características químicas que debe cumplir el cemento de aluminato de calcio figuran en la **Tabla 21**.

Tabla 20
PRESCRIPCIONES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CEMENTO DE ALUMINATO DE CALCIO

Resistencia a compresión UNE-EN 196-1 y UNE-EN 14647 (aptdo. 7.1) (N/mm ²)		Tiempo de principio de fraguado UNE-EN 196-3 y UNE-EN 14647 (aptdo. 7.2) (min)
A 6 horas	A 24 horas	
≥ 18,0	≥40,0	≥90

Tabla 21
PRESCRIPCIONES QUÍMICAS DEL CEMENTO DE ALUMINATO DE CALCIO

Propiedad	Ensayo de referencia	Exigencia ¹⁾
Contenido de alúmina (como Al ₂ O ₃)	UNE-EN 196-2	35 % ≤ Al ₂ O ₃ ≤ 58%
Contenido de sulfuros (como S ²⁻)		≤ 0,10 %
Contenido de ion cloruro		≤ 0,10 %
Contenido de álcalis ²⁾		≤ 0,4 %
Contenido de sulfatos (como SO ₃)		≤ 0,5 %

¹⁾ Las exigencias se dan en porcentajes en masa de cemento final.

²⁾ Expresado como Na₂O equivalente (Na₂O + 0,658 K₂O).

El cemento de aluminato de calcio se identifica por las letras CAC, sin hacer referencia a la clase de resistencia. Por tanto, este cemento se designará EN 14647– CAC.

1.2.4 Cementos de albañilería

Se consideran cementos de albañilería aquéllos definidos en la norma UNE-EN 413-1. Los cementos de albañilería están compuestos por clínker de cemento pórtland, componentes inorgánicos y, cuando sea necesario, aditivos tal y como se recoge en la **Tabla 22**. El sulfato de calcio se añade en pequeñas cantidades a los otros componentes del cemento de albañilería durante su fabricación para controlar el fraguado.

Los componentes inorgánicos de los cementos de albañilería deben ser materiales seleccionados a partir de:

- Materiales minerales naturales.
- Materiales minerales empleados en el proceso de fabricación del clínker, o productos resultantes de dicho proceso.
- Cales hidratadas y/o hidráulicas para la construcción de acuerdo con la norma UNE-EN 459-1.
- Componentes especificados en la norma UNE-EN 197-1.
- Pigmentos inorgánicos (excepto aquellos que contengan negro de humo) de acuerdo con la norma UNE-EN 12878.

Tabla 22
COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS DE ALBAÑILERÍA

Tipo y clase de resistencia	Contenido (% en masa)	
	Clinker de cemento portland	Aditivos ^{1) y 2)}
MC 5	≥ 25	≤ 1
MC 12,5 MC 12,5 X ³⁾ MC 22,5 X ³⁾	≥ 40	≤ 1

¹⁾ Excluidos los pigmentos.

²⁾ La cantidad de aditivos orgánicos sobre una base seca no debe exceder el 0,5 % de la masa del cemento de albañilería.

³⁾ El término X designa un cemento de albañilería al cual no se ha incorporado un aditivo inclusor de aire

Las prescripciones relativas a las características mecánicas y físicas que deben cumplir los cementos de albañilería según su tipo y clase de resistencia figuran en la **Tabla 23**, mientras que las prescripciones relativas a las características químicas que deben cumplir los cementos de albañilería figuran en la **Tabla 24**.

Tabla 23
PRESCRIPCIONES MECÁNICAS Y FÍSICAS DE LOS CEMENTOS DE ALBAÑILERÍA

Tipo y clase de resistencia	Resistencia a compresión (N/mm ²) UNE-EN 196-1 ¹⁾			Tiempo de fraguado UNE-EN 413-2		Finura sobre Tamiz de 90 µm UNE 80122	Estabilidad de volumen UNE-EN 196-3
	7 días	28 días		principio (min)	Final ²⁾ (horas)	Residuo (%)	Expansión (mm)
MC 5	-	≥5,0	≤15	≥60	≤15	≤15	≤10
MC 12,5	≥7	≥12,5	≤32,5				
MC 12,5 X	≥7	≥12,5	≤32,5				
MC 22,5 X	≥10	≥22,5	≤42,5				

¹⁾ El ensayo deberá ser realizado según la norma UNE-EN 196-1. Si a la edad de 24 horas las probetas no muestran resistencia suficiente, podrán ser retiradas de los moldes transcurridas 48 horas. La velocidad de carga para la rotura de las probetas de los cementos de clase resistente 5 será de 400 ± 40 N/s. Podrá emplearse como equipo de compactación alternativo el de la norma UNE-EN 459-2.

²⁾ Si el tiempo de principio de fraguado del cemento de albañilería es menor de 6 horas, no se prescribe ningún requisito para el final de fraguado.

Tabla 24

PRESCRIPCIONES QUÍMICAS DE LOS CEMENTOS DE ALBAÑILERÍA

Característica	Norma de ensayo	Tipo y clase del cemento	Prescripciones (% en masa, referido a muestra seca)
Contenido de sulfatos (expresado como SO ₃)	UNE-EN 196-2	MC 5	≤ 2,0
		MC 12,5 MC 12,5 X MC 22,5 X	≤ 3,0 ¹⁾
		MC 5	-
Contenido de cloruros (expresado como Cl ⁻)	UNE-EN 196-2	MC 12,5 MC 12,5 X MC 22,5 X	≤ 0,10

1) Si el contenido de clinker es mayor o igual al 55% en masa, el límite máximo aplicable será del 3,5% en masa.

El mortero fresco de los cementos de albañilería debe cumplir las prescripciones de la **Tabla 25** determinadas sobre una pasta de consistencia normal obtenida para un valor de penetración de 35 ± 3 mm, determinado por aplicación del método de referencia definido en UNE-EN 413-2. Alternativamente, se puede emplear el ensayo de la mesa de sacudidas.

Tabla 25

PRESCRIPCIONES PARA EL MORTERO FRESCO DE LOS CEMENTOS DE ALBAÑILERÍA

Tipo y clase de resistencia	Contenido de aire UNE-EN 413-2 (% en volumen)	Retención de agua UNE-EN 413-2 (% en masa)
MC 5 MC 12,5	$8 \leq \text{contenido de aire} \leq 22$	≥ 80
MC 12,5 X MC 22,5 X	$\leq 6^1)$	≥ 75

¹⁾ El control del proceso de producción del cemento de albañilería asegura que no se excede este límite superior.

Los cementos de albañilería se identificarán empleando las letras MC, seguidas de la clase de resistencia (5, 12,5 y 22,5) y, cuando aplique, la letra X indicativa de que no se ha incorporado a él ningún agente aireante. Por ejemplo: EN 413-1 – MC 22,5 X.

1.2.5 Documentación citada en el anejo ZA de las normas armonizadas de cementos. El marcado CE y la Declaración de Prestaciones (DdP)

Las normas armonizadas de cementos tienen un anejo denominado anejo ZA que define cómo hay realizar el marcado CE y la Declaración de Prestaciones (DdP) de los cementos. La **Figura 24** muestra un ejemplo de marcado CE de acuerdo con la EN 197-1:2011. Por otro lado, la **Tabla 26** presenta la lista de los usos previstos y prestaciones declaradas dados en el anejo ZA de las normas armonizadas de los cementos con marcado CE. Finalmente, la **Tabla 27** da un ejemplo de declaración de prestaciones. La **Figura 25** muestra las dimensiones del logotipo del marcado CE.

Figura 24

EJEMPLO DE MARCADO CE DE ACUERDO CON LA EN 197-1:2011

 00??
AnyCo S.A. Dirección E-47012 Alicante 14 FABRI-CPR-XXXX
EN 197-1 Cemento Portland resistente a los sulfatos CEM I 52,5 R-SR 5 Preparación de hormigón, mortero y pasta. <i>Las prestaciones declaradas por niveles y clases están definidas por la designación del cemento.</i>

Figura 25
MARCADO CE DE CONFORMIDAD

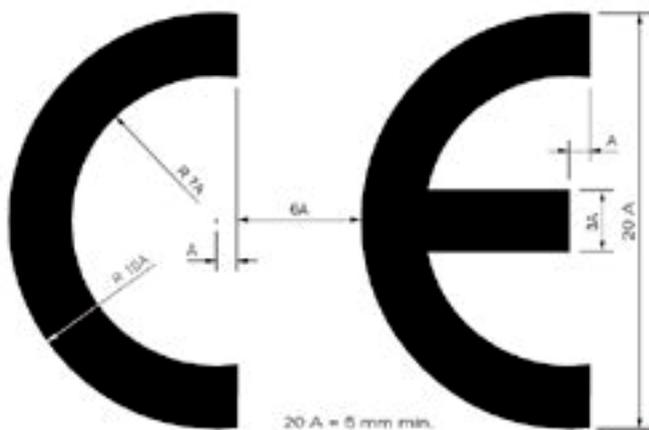
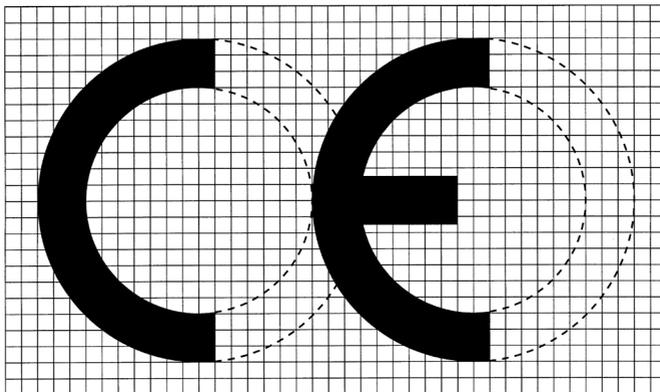


Tabla 26**USOS PREVISTOS Y PRESTACIONES DECLARADAS DADOS EN EL ANEJO ZA DE LAS NORMAS DE LOS CEMENTOS CON MARCADO CE**

Norma armonizada	Uso previsto	Declaración de Prestaciones
Cemento portland común. UNE-EN 197-1	Preparación de hormigón, mortero, pasta.	Las prestaciones declaradas por niveles y clases están definidas por la designación del cemento.
Cemento de albañilería. UNE-EN 413-1	Preparación de mortero para colocación de ladrillos y bloques, revocos y enlucidos.	
Cementos especiales de muy bajo calor de hidratación. UNE-EN 14216	Preparación de hormigón para la fabricación de productos de construcción de grandes masas.	
Conglomerantes hidráulicos para carreteras de endurecimiento rápido. UNE-EN 13282-1	Tratamiento de materiales para bases, sub-bases, capas de coronación de explanadas y terraplenes de carreteras, vías férreas, aeropuertos y otros tipos de infraestructuras.	
Cementos de aluminato de calcio. UNE-EN 14647	Preparación de hormigón, mortero, pasta.	

Tabla 27
EJEMPLO DE DECLARACIÓN DE PRESTACIONES (DdP)

DECLARACIÓN DE PRESTACIONES
Nº FABRI-CPR-XXXX

1. Identificación del producto:

Cemento Portland EN 197-1 – CEM I 32,5 R
2. Usos previstos del producto:

Preparación de hormigón, mortero, pasta, etc.
3. Fabricante:

AnyCo SA,
PO Box 21
E-77050 Bollullos del Condado, España
4. Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones:

Sistema 1+
5. El Organismo notificado **Nº004?** (**Nombre del O.N.**) ha realizado la evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones y ha expedido el certificado de constancia de prestaciones **Nº AAA-CPR-BBB emitido el CCCC.**
6. Prestaciones declaradas:

Características esenciales	Cumplimiento de la prestación	Especificaciones técnicas armonizadas
Cementos comunes (Subfamilias) componentes y composición	CEM I	UNE-EN 197-1:2011
Resistencia a compresión (inicial y nominal)	32,5 R	
Tiempo de fraguado	Cumple	
Residuo insoluble	Cumple	
Contenido de cloruros	Cumple	
Pérdida por calcinación	Cumple	
Estabilidad de volumen:		
– Expansión	Cumple	
– Contenido de SO ₃	Cumple	

7. Las prestaciones del producto identificado en el punto 1 son conformes con las prestaciones declaradas en el punto 6. *Esta declaración de prestaciones se expide bajo la responsabilidad única del fabricante identificado en el punto 3*

Firmado en representación del fabricante por:

.....

(Nombre y cargo)

.....

(Firma)

(Lugar y fecha de emisión)

1.2.6 Durabilidad de los cementos con marcado CE

En las normas armonizadas de cementos no hay prescripciones relativas a las prestaciones durables del cemento. Sin embargo, se menciona que para muchas aplicaciones, particularmente en condiciones ambientales severas, el tipo, subtipo y clase de resistencia del cemento pueden influir en la durabilidad de los hormigones, morteros y pastas, como por ejemplo en la resistencia a los agresivos químicos, en la resistencia al hielo-deshielo y, en su caso, en la protección de las armaduras.

Los cementos de horno alto de baja resistencia inicial podrían requerir precauciones adicionales tales como una ampliación del tiempo de retirada del encofrado y un cuidado especial con climatología adversa, todo ello debido a su lento desarrollo de resistencias.

Los hormigones o morteros fabricados con cementos especiales de muy bajo calor de hidratación necesitan una protección adicional contra la desecación y la carbonatación durante su curado. La resistencia al hielo de los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación deberá ser adecuada para las condiciones ambientales en el lugar de su utilización.

La elección del tipo de cemento de albañilería para diferentes usos y tipos de exposición debe seguir las normas apropiadas o reglamentaciones válidas en el lugar de uso del mortero.

El cemento de aluminato de calcio desarrolla resistencias a mucha mayor velocidad que el cemento portland, alcanzando en pocas horas valores similares a los de éste a 28 días. Con el tiempo, las resistencias suelen disminuir al tener lugar el proceso de conversión de los aluminatos de calcio hidratados, desde su estructura hexagonal a primeras edades a una estructura cúbica, termodinámicamente estable. Este proceso es muy dependiente de la relación agua/cemento y de la temperatura durante las primeras 24 horas después de la puesta en obra. Así mismo, el cemento de aluminato de calcio tiene buena resistencia a los sulfatos, resiste bien algunos medios agresivos siempre que no sean alcalinos. Para asegurar la durabilidad de obras con él elaboradas han de seguirse las prescripciones establecidas en la Instrucción EHE y las indicaciones de la norma UNE-EN 14647. Con áridos adecuados se pueden fabricar morteros y hormigones refractarios.

1.3. Cementos sujetos al Real Decreto 1313/1988

Los cementos sujetos al Real Decreto 1313/1988 son todos aquellos que presentan características adicionales de resistencia a los sulfatos, resistencia al agua de mar o blancura, así como aquellos con características especiales, que no están definidas por ninguna norma europea armonizada. Todos estos cementos tienen, a su vez, marcado CE excepto los cementos para usos especiales (ESP VI-1). Por tanto, tienen una designación conforme con el Real Decreto 1313/1988 y otra conforme con el marcado CE definido en el apartado 1.2. Sin embargo, se permite que en determinadas ocasiones y por razones de falta de espacio, podrá aparecer únicamente la designación conforme con la norma UNE correspondiente. Sin embargo, nunca se omitirá el recuadro del marcado CE cuando aplique.

1.3.1 Cementos resistentes a los sulfatos

Se consideran cementos comunes resistentes a los sulfatos, además de los definidos en la norma UNE-EN 197-1 (SR) del apartado 1.2.1 de este libro, aquéllos con la característica adicional de resistencia a los sulfatos definidos en la norma UNE 80303-1 (SRC). Se consideran cementos resistentes a los sulfatos aquellos en cuya elaboración se haya empleado un clínker que cumple las especificaciones descritas en la **Tabla 28**. Estos cementos deberán cumplir, además, las prescripciones relativas a su tipo y clase descritas en la **Tabla 12** de los cementos comunes.

Tabla 28

PRESCRIPCIONES ADICIONALES PARA LOS CEMENTOS RESISTENTES A LOS SULFATOS (SRC)

Tipos	Denominaciones		Designaciones	Especificaciones del clinker de los cementos resistentes a los sulfatos (SRC)	
				C ₃ A%	C ₃ A% + C ₄ AF%
II	Cementos portland con adiciones, resistentes a sulfatos	Con escoria de horno alto (S)	II/A-S	≤ 6,0	≤ 22,0
II			II/B-S		
II		Con humo de sílice (D)	II/A-D		
II		Con Puzolana Natural (P)	II/A-P		
II			II/B-P		
II		Con ceniza volante (V)	II/A-V		
II		II/B-V			
III	Cementos con adiciones, resistentes a sulfatos	Con escoria de horno alto (S)	III/A	≤ 8,0	≤ 25,0
V		Cementos compuestos (S+P+V)	V/A	≤ 8,0	≤ 25,0

Las prescripciones sobre C₃A y (C₃A + C₄AF) se refieren a porcentajes en masa de clinker. Los contenidos de C₃A y C₄AF se determinarán por cálculo, según la norma UNE 80304, a partir de los ensayos realizados sobre el clinker según la norma UNE-EN 196-2.

Los materiales puzolánicos que formen parte de estos cementos (cenizas volantes silíceas, puzolanas naturales y humo de sílice en su caso) cumplirán las siguientes prescripciones:

- La relación SiO₂/(CaO+MgO), en tanto por ciento en masa, debe ser superior a 3,5, siendo CaO el óxido de calcio reactivo definido en la norma UNE-EN 197-1.
- La ceniza volante silícea o puzolana natural molida a finura Blaine equivalente a la del cemento de referencia, con una tolerancia de ± 200 cm²/g, y mezclada con éste en proporción cemento/material puzolánico igual a 75/25 en masa, deberá cumplir el ensayo de puzolanicidad a la edad de 7 días, según la norma UNE-EN 196-5.
- La misma mezcla 75/25 en masa deberá presentar una resistencia a compresión a la edad de 28 días igual o superior al 75 por ciento de la resistencia del cemento de referencia a la misma edad (índice de

actividad resistente, IAR), según el método de ensayo de la norma UNE-EN 196-1.

El cemento de referencia, tanto para el ensayo de puzolanicidad como para el de resistencia será cualquiera de los cementos portland resistente a los sulfatos indicados a continuación y definidos en la norma UNE-EN 197-1: CEM I 42,5 R-SR 0, CEM I 42,5 R-SR 3 y CEM I 42,5 R-SR 5.

Los cementos resistentes a los sulfatos se designarán de manera similar a la indicada en el apartado 1.2.1 para los correspondientes cementos comunes, omitiendo el prefijo CEM, seguida por una barra (/), de las siglas SRC que identifican esta característica adicional y de la referencia a la norma UNE correspondiente. Por ejemplo, un cemento portland con ceniza volante, de clase resistente 42,5, alta resistencia inicial y resistente a los sulfatos de acuerdo a la norma UNE 80303-1 se designará con la doble denominación II/A-V 42,5 R/SRC – UNE 80303-1 y EN 197-1 – CEM II/A-V 42,5 R.

1.3.2 Cementos resistentes al agua de mar

Los cementos resistentes al agua de mar son aquéllos con la característica adicional de resistencia al agua de mar definidos en la norma UNE 80303-2. Se consideran cementos resistentes al agua de mar aquellos en cuya composición se haya empleado un clínker que cumpla las condiciones descritas en la **Tabla 29**. Estos cementos deberán cumplir, además, las prescripciones relativas a su tipo y clase recogidas en la **Tabla 12** de cementos comunes.

Los componentes puzolánicos que formen parte de estos cementos (cenizas volantes silíceas, puzolanas naturales y humo de sílice en su caso) cumplirán las prescripciones indicadas en el apartado 1.3.1.

Tabla 29

PRESCRIPCIONES ADICIONALES PARA LOS CEMENTOS RESISTENTES AL AGUA DE MAR (/MR)

Tipos	Denominaciones		Designaciones	Especificaciones del clinker de los cementos resistentes a agua de mar (MR)	
				C ₃ A%	C ₃ A% + C ₄ AF%
I	Cementos portland resistentes a agua de mar		I	≤ 5,0	≤ 22,0
II	Cementos portland con adiciones, resistentes a agua de mar	Con escoria de horno alto (S)	II/A-S	≤ 8,0	≤ 25,0
II			II/B-S		
II		Con humo de sílice (D)	II/A-D		
II		Con puzolana natural (P)	II/A-P		
II			II/B-P		
II		Con ceniza volante (V)	II/A-V		
II		II/B-V			
III	Cementos con adiciones, resistentes a agua de mar	Con escoria de horno alto (S)	III/A	≤ 10,0	≤ 25,0
III			III/B	Ninguna	
III			III/C	Ninguna	
IV		Cementos Puzolánicos (D+P+V)	IV/A	≤ 8,0	≤ 25,0
IV	Cementos compuestos (S+P+V)	IV/B	≤ 10,0	≤ 25,0	
V		V/A			

Las prescripciones sobre C₃A y (C₃A + C₄AF) se refieren a porcentajes en masa de clinker. Los contenidos de C₃A y C₄AF se determinarán por cálculo, según la norma UNE 80304, a partir de los ensayos realizados sobre el clinker según la norma UNE-EN 196-2

Los cementos con características adicionales resistentes al agua de mar se designarán de manera similar a la indicada en el apartado 1.2.1 para los correspondientes cementos comunes, omitiendo el prefijo CEM, seguida por una barra (/), de las siglas MR que identifican esta característica adicional y de la referencia a la norma UNE correspondiente. Por ejemplo, un cemento puzolánico con puzolana natural (P) y ceniza volante silíceas (V), de clase resistente 32,5 con una resistencia inicial normal, de bajo calor de hidratación y resistente al agua de mar de acuerdo a la norma UNE 80303-2 (MR) se designará IV/B (P, V) 32,5 N-LH/MR – UNE 80303-2 y EN 197-1 – CEM IV/B (P, V) 32,5 N-LH.

1.3.3 Cementos blancos

Se consideran cementos blancos aquellos que presenten una blancura —referente a las coordenadas CIELAB determinadas según el método de ensayo de la norma UNE 80117— L^* no inferior a 87, que estén definidos en la norma UNE 80305 y que sean conformes con la norma UNE-EN 197-1, la UNE-EN 14216 o la norma UNE-EN 413-1 (véase apartado 1.2).

El clínker de cemento portland blanco es el componente fundamental presente en todos los cementos blancos y se define en la Instrucción para la Recepción de Cementos y en la norma UNE 80305. El clínker blanco se produce tomando la precaución de limitar el contenido de compuestos ferrosos y otros compuestos metálicos, cuya presencia da al cemento portland común su color gris característico.

1.3.3.1 Cementos comunes blancos

Los tipos, subtipos, denominaciones y composición y las prescripciones mecánicas, físicas, químicas y de durabilidad de los cementos comunes blancos corresponden a los señalados para los cementos comunes en el capítulo 1.2.

Los cementos comunes blancos se designarán de manera similar a la indicada en el apartado 1.2 para los correspondientes cementos comunes, sustituyendo el prefijo CEM por el prefijo BL. Si el cemento dispusiera de una característica adicional (resistente a los sulfatos o al agua de mar) se indicará ésta de la forma indicada en los apartados 1.3.1 y 1.3.2, respectivamente. Por ejemplo, un cemento portland del tipo I, blanco, de clase resistente 42,5 y alta resistencia inicial se designará como BL I 42,5 R – UNE 80305 y EN 197-1 – CEM I 42,5 R.

1.3.3.2 Cementos de albañilería blancos

El cemento de albañilería blanco tendrá la clase de resistencia 22,5 X, y sus constituyentes, así como las prescripciones mecánicas, físicas, químicas serán conformes a lo indicado en el apartado 1.2.4. Las proporciones en masa

de los componentes del cemento de albañilería blanco son las que figuran en la **Tabla 30**.

Tabla 30
COMPOSICIÓN DEL CEMENTO DE ALBAÑILERÍA BLANCO

Tipo y clase de resistencia	Contenido (% en masa)	
	Clinker portland blanco	Aditivos ¹⁾
BL 22,5 X	≥ 40	≤ 1 ^{1) 2)}

¹⁾ Excluidos los pigmentos.

²⁾ El contenido de material orgánico no deberá superar el 0,5% expresado en masa de producto desecado.

El mortero fresco cumplirá el requisito de la **Tabla 31**. Las características del mortero fresco serán determinadas sobre una pasta de consistencia normal obtenida para un valor de penetración de 35 ± 3 mm, determinado por aplicación del método de referencia definido en la norma UNE-EN 413-2.

Tabla 31
REQUISITOS PARA EL MORTERO FRESCO

Tipo y clase de resistencia	Retención de agua (UNE-EN 413-2)
	%, en masa
BL 22,5 X	≥ 75

El cemento de albañilería blanco se designará de manera similar a la indicada en el apartado 1.2.4 sustituyendo el prefijo MC por el prefijo BL y añadiendo al final la referencia a la norma UNE 80305, es decir, BL 22,5 X – UNE 80305 y EN 413-1 – MC 22,5 X.

1.3.4 Cementos para usos especiales

El cemento para usos especiales es el definido en la norma UNE 80307. Las proporciones en masa de los componentes del cemento para usos especiales se especifican en la **Tabla 32** y las prescripciones relativas a las características mecánicas y físicas que deben cumplir se dan en la **Tabla 33**. Las prescripciones relativas a las características químicas que deben cumplir los cementos para usos especiales figuran en la **Tabla 34**.

Tabla 32
CEMENTO PARA USOS ESPECIALES: COMPOSICIÓN Y PROPORCIÓN EN MASA¹⁾

Tipo	Denominación	Designación	Clinker (K)	Escoria de horno alto (S)	Puzolana natural ²⁾ (P)	Ceniza Volante silicea (V)	Componentes minoritarios adicionales ³⁾
ESP-VI	Cemento para usos especiales	ESP VI-1	25-55	45-75			0-5

¹⁾ Los valores de la tabla se refieren a % en masa respecto al núcleo de cemento, entendiéndose por tal, el clinker y las adiciones, con exclusión del sulfato de calcio (regulador de fraguado) y de los aditivos.

²⁾ El contenido de puzolana natural no deberá ser superior al 40%.

³⁾ Los componentes minoritarios adicionales pueden ser caliza, o uno o más de los componentes principales, a menos que estén incluidos ya como tales en el cemento.

Estos cementos se designarán con el tipo (ESP VI-1), seguido de la clase de resistencia (22,5N – 32,5N – 42,5N) y de la referencia a la norma UNE 80307. Por ejemplo, un cemento para usos especiales, de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal se designará como ESP VI-1 32,5 N – UNE 80307.

Tabla 33
PRESCRIPCIONES MECÁNICAS Y FÍSICAS DE LOS CEMENTOS PARA
USOS ESPECIALES

Clases de resistencia	Resistencia a compresión (N/mm ²) UNE-EN 196-1			Tiempo de principio de fraguado UNE-EN 196-3 (min)	Estabilidad de Volumen (expansión) UNE-EN 196-3 (mm)
	28 días		90 días		
	22,5 N	≥ 12,5	≤ 32,5		
32,5 N	≥ 22,5	≤ 42,5	≥ 32,5		
42,5 N	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 42,5		

Tabla 34
PRESCRIPCIONES QUÍMICAS DE LOS CEMENTOS PARA USOS
ESPECIALES

Tipo y designación	Prescripciones	
	Contenido de sulfatos (como SO ₃) UNE-EN 196-2	Contenido de ión cloruro UNE-EN 196-2
ESP VI-1	≤3,5 %	≤0,10 %

1.4. Norma europea de evaluación de la conformidad de los cementos

La norma europea de evaluación de la conformidad de los cementos es la EN 197-2:2000, publicada en España como UNE-EN 197-2:2000 cuya primera revisión ya se ha aprobado y posiblemente se publique como UNE-EN 197-2:2014.

La **Tabla 35** presenta las acciones a tomar por el organismo de certificación en caso de no conformidad en los resultados de autocontrol y en los resultados de contraste del laboratorio verificador.

Esta norma tiene una Guía de aplicación de la Norma UNE-EN 197-2.

Tabla 35

**ACCIONES QUE DEBE TOMAR EL ORGANISMO DE CERTIFICACION
EN EL CASO DE NO CONFORMIDAD DE LOS RESULTADOS DEL
AUTOCONTROL Y/O CONTRASTE**

Criterio	Concepto		No conformidad de los resultado(s) de ensayo ^{a)}	Acción a tomar por el organismo de certificación		
				Emisión de una advertencia	Emisión de una advertencia más amonestación ^{b)}	Retirada del certificado de conformidad ^{c)}
Valor característico especificado	Ensayos de Autocontrol	Todos los resultados del período de control	No conformidad de los resultados de los ensayos con los requisitos de conformidad estadística especificados en la norma de especificación de producto aplicable	Primera no conformidad de los resultados de ensayo	No conformidad de los resultados de los ensayos para la misma propiedad en 2 verificaciones estadísticas consecutivas ^{d)}	No conformidad de los resultados de los ensayos para la misma propiedad en 3 verificaciones estadísticas consecutivas
Valor límite de un resultado individual	Ensayos de autocontrol y muestras de contraste	Resultados individuales	No conformidad de cualquier resultado con los requisitos del criterio de conformidad especificados para el valor límite del resultado individual de la norma de producto aplicable	Primera no conformidad de los resultados de ensayo	Segunda no conformidad de un resultado de ensayo para la misma propiedad en 12 ^{e)} meses ^{f)}	Tercera no conformidad de un resultado de ensayo para la misma propiedad en 12 ^{e)} meses ^{f)}

- a) Las no conformidades en diferentes propiedades se tratan independientemente.
- b) La frecuencia mínima de los ensayos de autocontrol se duplicará durante los dos meses siguientes a la recepción de la advertencia más amonestación, a no ser que se demuestre satisfactoriamente al organismo de certificación que se han tomado medidas adecuadas a partir del momento de la aparición de la no conformidad hasta su resolución, incluyendo la duplicación de la frecuencia mínima de ensayo de autocontrol durante un período mínimo de dos meses.
- c) La retirada se basa siempre en una valoración individual de cada caso.
- d) En el caso del límite superior de la resistencia nominal, la emisión de una advertencia más amonestación debería basarse en una decisión considerada caso por caso.
- e) Sólo si la información de la no conformidad precedente ha estado disponible en el momento del muestreo.
- f) 24 meses para el cemento de albañilería.

1.5. Normas europeas de métodos de ensayo de los cementos

Las normas europeas de métodos de ensayo de cemento fueron aprobadas en la década de los años 80 ya que no hubo problemas en alcanzar el consenso de todos los expertos que participaron en la redacción de las mismas.

Actualmente, muchas normas europeas de métodos de ensayo de cementos están siendo revisadas por el grupo de trabajo 15 del Comité Europeo de Normalización (CEN/TC51/WG15).

Los métodos de ensayo de los cementos, que constituyen las normas EN 196, están contemplados dentro de las siguientes partes citadas a continuación; no se consiguió el deseado consenso en la que debía llevar el número de EN 196-4, «Determinación de constituyentes», quedando tan sólo como un informe o documento técnico (CR) del CEN. Por otro lado, en España se emplea la norma UNE 80216:2010 – Métodos de ensayo de cementos. Determinación cuantitativa de los componentes. En particular, las partes de la norma de métodos de ensayo de cementos EN 196 son:

- EN 196-1 Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de la resistencia.
- EN 196-2 Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico del cemento.
- EN 196-3 Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.
- CR 196-4 Métodos de ensayo de cementos. Parte 4: Determinación de constituyentes.
- EN 196-5 Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Ensayo de puzolanidad de los cementos puzolánicos.
- EN 196-6 Métodos de ensayo de cementos. Parte 6: Determinación de la finura.
- EN 196-7 Métodos de ensayo de cementos. Parte 7: Métodos de toma y preparación de muestras de cemento.
- EN 196-8 Métodos de ensayo de cementos. Parte 8: Determinación del calor de hidratación – Método de disolución.
- EN 196-9 Métodos de ensayo de cementos. Parte 9: Determinación del calor de hidratación – Método semiadiabático.
- EN 196-10 Métodos de ensayo de cementos. Parte 10: Determinación del contenido de cromo (VI) soluble en agua en cementos.

Además de estas partes que constituyen la citada norma europea EN 196, son también de aplicación como métodos de ensayo las siguientes normas o proyectos de normas europeas:

- EN 13639 Determinación del carbono orgánico total en la caliza.
- EN 451-1 Método de ensayo de las cenizas volantes– Parte 1: Determinación del contenido en óxido de calcio libre.
- EN 939-9 Ensayos para determinar las características geométricas de los áridos. Parte 9: Determinación de finos. Ensayo del azul de metileno.
- EN 934-2 Aditivos para el hormigón, morteros y pastas: Parte 2: Aditivos para el hormigón. Definiciones y exigencias.
- ISO 9277 Determinación de la superficie específica de sólidos por adsorción de gas por medio del método BET.

1.6. Normas americanas de cementos

Las normas de especificaciones de cementos americanas de la American Standard Testing Materials (**ASTM**)⁵, American Petroleum Institute (**API**)⁶ y de la American Association of State Highway and Transportation Officials (**AASHTO**)⁷ están creadas con un enfoque dirigido hacia la aplicación deseada, es decir, se presentan requisitos concretos para cada prestación o aplicación requerida. Por el contrario, el Comité Europeo de Normalización (**CEN**) de cementos (CEN/TC51), en su norma armonizada de especificaciones de cementos comunes EN 197-1 clasifica a los cementos en función de su composición (tipos del I al V). Por este motivo, no existe una relación directa entre unas y otras normas. Asimismo, se pueden producir equívocos al denominarse de igual manera los tipos de cementos de la ASTM C 150 y de la EN 197-1. Por ejemplo, el tipo III de la ASTM C 150, que engloba a los cementos de elevada resistencia inicial, no tiene nada que ver con el tipo III de la EN 197-1 que se refiere a los cementos de escorias de horno alto y, en consecuencia, tienen una resistencia inicial moderada o baja.

5 <http://www.astm.org>

6 <http://api-ec.api.org/newsplashpage/index.cfm>

7 <http://www.aashto.org/aashto/home.nsf/FrontPage>

Las especificaciones norteamericanas de cemento portland comenzaron con la ASTM C-9-04, que fue reemplazada en 1940 por la ASTM C 150. Desde entonces, la normalización del cemento en las normas ASTM ha mantenido una posición conservadora, introduciéndose muy pocos cambios en los últimos 30 años pese al desarrollo de la investigación científica y tecnológica.

En lo que concierne a la clasificación del cemento, la norma ASTM C150 distingue cinco tipos de cemento Portland. Por el contrario, los denominados cementos de adición (*blended*) de la norma ASTM C 595 se definen de acuerdo con la proporción de sus constituyentes secundarios: Puzolanas, escorias de horno alto y caliza (*filler calizo*).

2. EL REGLAMENTO EUROPEO DE PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN. COMPARATIVA CON LA DIRECTIVA DE PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN

El sector de la construcción es uno de los más reglamentados. Además, es un sector muy fragmentado y heterogéneo y engloba a muchas profesiones diferentes con métodos de trabajo y materiales de construcción muy variados, con diferentes regulaciones y normativas, lo que acarrea la existencia de barreras técnicas a la libre circulación de productos; por tanto, ha sido difícil normalizar y regular este sector en el ámbito europeo.

En 1989 apareció la Directiva de Productos de Construcción (DPC) para tratar de evitar las barreras a la libre circulación de productos de construcción y, después de algo más de veinte años de existencia de la Directiva de Productos de Construcción (DPC), el 23 de mayo de 2008 la Comisión Europea presentó una primera propuesta del Reglamento Europeo de Productos de Construcción (RPC), que anuló y sustituyó a la DPC, con el ánimo de una simplificación y mejora de la legislación, que ésta fuera menos gravosa y más fácil de aplicar y, por ende, más efectiva; tratando de reducir la carga administrativa de la DPC, en especial para las PYMES.

El 18 de enero de 2011, el Parlamento emitió su dictamen en segunda lectura que configuraba un texto final, que fue aprobado el 28 de enero por

el Consejo Europeo y que, finalmente, se publicó en el DOUE el 4 de abril de 2011 con la referencia «Reglamento (UE) N° 305/2011». El Reglamento entró en vigor el 1 de julio de 2013, reemplazando a la DPC.

El enlace a la página web del Ministerio sobre el Reglamento Europeo, que ha anulado y sustituido a la que había de la Directiva es:

<http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/ReglamentoProductosConstruccion.aspx>

Esta es la página que utiliza la Subdirección General de Calidad y Seguridad Industrial del Ministerio para incluir todos los documentos de desarrollo del Reglamento.

Las principales diferencias entre la DPC y el RPC son:

A. Para los fabricantes de productos de construcción

Se sustituye la Declaración CE de conformidad (DPC) por una Declaración de Prestaciones, mucho más completa, que los fabricantes deberán conservar durante diez años después de la introducción del producto en el mercado, que incluirá todos los datos de:

- Número de la declaración de prestaciones.
- Nombre y dirección del fabricante.
- El sistema de evaluación de la constancia de las prestaciones.
- Nombre y número del organismo notificado + tarea, sistema y fecha de emisión (del certificado o informe de ensayo).
- Número y título de la norma armonizada.
- El uso o usos previstos del producto.

B. Para los organismos notificados (ON)

Su acreditación y notificación debe seguir las pautas del Reglamento 765/2008. Es decir:

- El ON será independiente de la organización o del producto que evalúa, así como sus directivos y el personal y sus filiales o subcontratistas (las asociaciones, federaciones o empresas pueden también serlo si demuestran su independencia y ausencia de intereses).
- Se les exigirá integridad profesional, conocimientos técnicos, experiencia, imparcialidad, medios, transparencia, etc., para el desempeño de sus tareas (aparece también el concepto de transparencia para con los fabricantes y evitar cargas a los agentes económicos).
- Suscribirán un seguro de responsabilidad civil.
- Deberán participar o estar debidamente informados de las actividades del Grupo Europeo de coordinación de los organismos notificados.
- Se definen los temas de las filiales o subcontratistas de los ON.
- Se articula la posible utilización de laboratorios externos al ON (de los fabricantes u otros laboratorios externos).
- Se estructura todo el procedimiento de notificación (solicitud, trámites y notificación final).
- Se establece el sistema europeo NANDO de ON (números de identificación y listados de ON).

C. Para las autoridades de los Estados miembros

Los Estados miembros:

- Darán por supuesto que la declaración de prestaciones emitida por el fabricante es correcta y fiable, y no prohibirán ni impedirán la comercialización o uso, en su territorio, de los productos que lleven el marcado CE.
- Desaparece el concepto de «idoneidad al uso» de los productos cuando lleven el marcado CE, como aparecía en la DPC, y la declaración de prestaciones queda únicamente como un documento que el fabricante presenta para expresar los valores de las prestaciones de su producto (su idoneidad en todo caso le corresponderá a las reglamen-

taciones de las obras en los EE.MM. o bajo la responsabilidad de los prescriptores de las obras).

- Designarán «puntos de contacto de productos» (en línea con el Reglamento 764/2008), que faciliten información transparente y fácilmente comprensible sobre las disposiciones en su territorio aplicables a los productos de construcción (**Tabla 36**).
- Se articulan todos los detalles sobre las «Autoridades Notificantes», acreditación y notificación de organismos en línea con el Reglamento 765/2008.
- Aparecen todos los aspectos y obligaciones de la «Vigilancia de Mercado», en línea con el Reglamento 765/2008.
- Al final del período de coexistencia de las normas armonizadas, los Estados Miembros derogarán la validez de las normas y disposiciones nacionales contradictorias.

D. Para los organismos de normalización nacionales y el CEN

- Los organismos nacionales de normalización estarán obligados a trasponer las normas armonizadas.
- El CEN velará porque las distintas categorías de partes interesadas estén representadas de forma justa y equitativa en el proceso de elaboración de normas armonizadas.
- Las normas armonizadas proporcionarán, cuando proceda, métodos menos onerosos que los ensayos para la evaluación de las prestaciones.

E. Para los prescriptores y técnicos de la obra

- Al desaparecer el concepto de idoneidad al uso de los productos con marcado CE (la declaración de prestaciones que emite el fabricante supone exclusivamente una expresión de los valores de las prestaciones de las características de su producto), queda bajo la responsabilidad de la Reglamentación del Estado miembro o, en su defecto, de

los técnicos prescriptores del proyecto y/o de la dirección facultativa, los valores que garanticen la idoneidad del producto para la obra concreta.

- Para aquellos productos de construcción en los que el fabricante puede abstenerse de emitir una declaración de prestaciones como son:
- El producto de construcción fabricado por unidad o hecho a medida en un proceso no en serie, en respuesta a un pedido específico e instalado en una obra única determinada.
- El producto de construcción fabricado en el propio lugar de construcción para su incorporación a la correspondiente obra.
- El producto de construcción fabricado de manera tradicional o de manera adecuada a la conservación del patrimonio y por un proceso no industrial para la renovación adecuada de obras de construcción protegidas oficialmente como parte de un entorno determinado o por un mérito arquitectónico o histórico especial.
- En estos casos, la colocación de estos productos en la obra será responsabilidad del responsable de la seguridad de la ejecución de la obra (Director Facultativo), en virtud de las normas nacionales aplicables.

Tabla 36

PARTES DE LA LISTA DE PUNTOS DE CONTACTO DE PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN



EUROPEAN COMMISSION

ENTERPRISE AND INDUSTRY DIRECTORATE-GENERAL

Sustainable Growth and Europe 2020

Sustainable Industrial Policy and Construction

CPR 005/12/1

SITUATION 14 JUNE 2013

List of Product Contact Points for Construction (Regulation (EU) 305/2011, Art 10)

COUNTRY	PCP CONSTRUCTION	ADDRESS	TELEPHONE	FAX	E-MAIL	BPAGE
SPAIN	Subdirección General de Inspección, Certificación y Asistencia Técnica del Comercio Exterior Dirección General de Comercio e Inversiones SECRETARÍA DE ESTADO DE COMERCIO MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD In English: Deputy Directorate for Foreign Trade, Inspection, Certification and Technical Assistance General Directorate for Foreign Trade and Investments STATE SECRETARIAT FOR TRADE MINISTRY OF ECONOMY AND COMPETITIVENESS	Pasco de la Castellana, 162, 28046 MADRID	+34 91 349 36 69	+34 91 349 37 40	pcontactpoint@ comercio.mineco.es	

3. REQUISITOS BÁSICOS DE LAS OBRAS DE CONTRUCCIÓN

La Directiva de Productos de construcción (DPC) 89/106/CEE de 21 de diciembre de 1998 relativa a la aproximación de disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción, que fue transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 1630/1992, como directiva de nuevo enfoque, la DPC establece una serie de requisitos esenciales que deben cumplir los edificios y las obras de ingeniería civil a los que se incorporen productos de construcción. Estos requisitos esenciales que son de obligado cumplimiento proporcionan los elementos necesarios para la protección de la salud y la seguridad de los usuarios. Los requisitos esenciales de la DPC eran:

- Resistencia mecánica y estabilidad
- Seguridad en caso de incendio
- Higiene, salud y medio ambiente
- Seguridad de utilización
- protección contra el ruido

El 9 de marzo de 2011 se derogó la Directiva 89/106/CEE del Consejo y se publicó el Reglamento (UE) N° 305/2011 del Parlamento europeo y del Consejo en el que se incorporaron unos nuevos REQUISITOS BÁSICOS DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN. Estos requisitos se definen para que las obras de construcción, en su totalidad y en sus partes aisladas, deberán ser idóneas para su uso previsto, teniendo especialmente en cuenta la salud y la seguridad de las personas afectadas a lo largo del ciclo de vida de las obras. Sin perjuicio del mantenimiento normal, las obras de construcción deben cumplir estos requisitos básicos de las obras durante un período de vida económicamente razonable. La **Tabla 37** presenta los requisitos básicos de las obras de construcción del Anexo I del Reglamento (UE) N° 305/2011 del Parlamento europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011.

Tabla 37

REQUISITOS BÁSICOS DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

REQUISITO	DEFINICIÓN
1. Resistencia mecánica y estabilidad	<p>Las obras de construcción deberán proyectarse y construirse de forma que las cargas a que puedan verse sometidas durante su construcción y utilización no produzcan ninguno de los siguientes resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) derrumbe de toda o parte de la obra; b) deformaciones importantes en grado inadmisibles; c) deterioro de otras partes de la obra, de los accesorios o del equipo instalado, como consecuencia de una deformación importante de los elementos sustentantes; d) daño por accidente de consecuencias desproporcionadas respecto a la causa original.
2. Seguridad en caso de incendio	<p>Las obras de construcción deberán proyectarse y construirse de forma que, en caso de incendio:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) la capacidad de sustentación de la obra se mantenga durante un período de tiempo determinado; b) la aparición y la propagación del fuego y del humo dentro de la obra estén limitados; c) la propagación del fuego a obras de construcción vecinas esté limitada; d) los ocupantes puedan abandonar la obra o ser rescatados por otros medios; e) se tenga en cuenta la seguridad de los equipos de rescate.
3. Higiene, salud y medio ambiente	<p>Las obras de construcción deberán proyectarse y construirse de forma que, en todo su ciclo de vida, no supongan una amenaza para la higiene, la salud o la seguridad de los trabajadores, ocupantes o vecinos, ni tengan un impacto excesivamente elevado durante todo su ciclo de vida sobre la calidad del medio ambiente ni sobre el clima durante su construcción, uso y demolición, en particular como consecuencia de cualquiera de las siguientes circunstancias:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) fugas de gas tóxico; b) emisiones de sustancias peligrosas, compuestos orgánicos volátiles (COV), gases de efecto invernadero o partículas peligrosas, en espacios interiores y exteriores; c) emisión de radiaciones peligrosas; d) liberación de sustancias peligrosas en las aguas subterráneas, las aguas marinas, las aguas superficiales o el suelo; e) liberación de sustancias peligrosas en el agua potable o sustancias que puedan tener de algún modo repercusiones negativas en la misma; f) defectos en el vertido de aguas residuales, emisión de gases de combustión o defectos en la eliminación de desechos sólidos o líquidos; g) humedad en partes de la obra o en superficies interiores de la misma. ES 4.4.2011 Diario Oficial de la Unión Europea L 88/33
4. Seguridad y accesibilidad de utilización	<p>Las obras de construcción deberán proyectarse y construirse de forma que su utilización o funcionamiento no supongan riesgos inadmisibles de accidentes o daños como resbalones, caídas, colisiones, quemaduras, electrocución heridas originadas por explosión y robos. En particular, las obras de construcción deben proyectarse y construirse teniendo en cuenta la accesibilidad y la utilización para las personas discapacitadas.</p>
5. Protección contra el ruido	<p>Las obras de construcción deberán proyectarse y construirse de forma que el ruido percibido por los ocupantes y las personas que se encuentren en las proximidades se mantenga a un nivel que no ponga en peligro su salud y que les permita dormir, descansar y trabajar en condiciones satisfactorias.</p>
6. Ahorro de energía y aislamiento térmico	<p>Las obras de construcción y sus sistemas de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación deberán proyectarse y construirse de forma que la cantidad de energía necesaria para su utilización sea moderada, habida cuenta de sus ocupantes y de las condiciones climáticas del lugar. Las obras de construcción también deberán ser eficientes desde el punto de vista energético, es decir que su consumo de energía deberá ser lo más bajo posible durante su construcción o desmantelamiento.</p>
7. Utilización sostenible de los recursos naturales	<p>Las obras de construcción deberán proyectarse, construirse y demolerse de tal forma que la utilización de los recursos naturales sea sostenible y garantice en particular:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) la reutilización y la reciclabilidad de las obras de construcción, sus materiales y sus partes tras la demolición; b) la durabilidad de las obras de construcción; c) la utilización de materias primas y materiales secundarios en las obras de construcción que sean compatibles desde el punto de vista medioambiental.

Dado que los requisitos esenciales se refieren a la obra terminada y que el objeto de la directiva son los productos de construcción, era necesario:

- Dar forma concreto a los requisitos esenciales
- Indicar diferentes niveles y clases de cada requisito
- Correlacionar los requisitos con las especificaciones de producto
- Establecer una referencia para la elaboración de especificaciones técnicas

Para ello, el Comité Permanente de la Construcción (definido en el artículo 19 de la DPC elaboró unos documentos interpretativos publicados por la Comisión en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas (DOCE) en el año 1996. Los documentos interpretativos son seis, uno por cada requisito esencial.

Una vez establecidas estas bases, la Comisión elaboró una serie de mandatos para la elaboración de especificaciones técnicas, esto es, normas y documentos de idoneidad técnica europea (con o sin guía).

Los mandatos están dados para familias de productos. Una vez hecho el mandato, el Comité Permanente de la Construcción decide el nivel de certificación de la conformidad para la familia de producto, en función de la importancia que el material tenga en la obra.

Asimismo, según se iban elaborando las normas empezaron a surgir problemas de interpretación de algunos puntos de la directiva. Para clarificarlos, el Comité Permanente de la Construcción aprobó una serie de documentos guía de la DPC que son los recogidos en la **Tabla 38**.

Tabla 38
DOCUMENTOS GUÍA DE LA DPC

<i>Documento guía</i>	Título
<i>A</i>	Designación de organismos notificados en el ámbito de la directiva de productos de construcción
<i>B</i>	Definición del control de producción en fábrica en las especificaciones técnicas para productos de construcción
<i>C</i>	Tratamiento de los kits y sistemas de la directiva de productos de construcción
<i>D</i>	Marcado CE bajo la directiva de productos de construcción
<i>E</i>	Niveles y clases en la directiva de productos de construcción
<i>F</i>	Durabilidad y la directiva de productos de construcción
<i>G</i>	El sistema de clasificación europeo de reacción al fuego de productos de construcción
<i>H</i>	Una visión armonizada relativa a las sustancias peligrosas de la dirección de productos de construcción
<i>I</i>	Aplicación del artículo 4(4) de la directiva de productos de construcción
<i>J</i>	Periodos transitorios de la directiva de productos de construcción
<i>K</i>	Papel y tareas de los organismos notificados
<i>L</i>	Aplicación y uso de los eurocódigos

Una vez establecidos los mandatos, aprobados por el Comité Permanente de productos de construcción y enviados a CEN, cada comité responsable de los productos cubiertos por el mandato elaboró su repuesta al mismo, en la que aparecen las normas que a su entender eran necesarias para definir el producto (armonizadas), así como los métodos de ensayo necesarios para demostrar el cumplimiento de las características. Las normas armonizadas se diferencian de las que no lo son en que incluyen las prestaciones del producto necesarias para dar presunción de conformidad con los requisitos esenciales de la Directiva. Además de todo esto, para que una norma sea armonizada es necesario que su referencia aparezca publicada en el DOCE.

En muchos casos las normas recogen más requisitos de los necesarios para dar esa presunción de conformidad. Para definir cuáles son las características que permiten dar presunción de conformidad con la Directiva, las normas armonizadas llevan un anexo informativo que, por lo general, se denomina ZA cuyo cumplimiento da presunción de conformidad con los requisitos esenciales de la DPC que actualmente se denominan REQUISITOS BÁSICOS DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN (RBOC) en el Reglamento de

Productos de Construcción y, por tanto, va a permitir al fabricante estampar el marcado CE a su producto.

En el anexo ZA de las normas armonizadas de la DPC no sólo aparecen los mandatos, sino también las tareas del fabricante y de los organismos notificados, así como la información que debe acompañar al marcado CE. Las tareas que debe realizar el fabricante y los organismos notificados dependen del nivel de evaluación de la conformidad que el Comité Permanente de la Construcción haya asignado a cada familia de productos. Existen cinco niveles diferentes de verificación de la constancia de las prestaciones, con una serie de tareas asignadas tanto al fabricante como a los organismos notificados, cuando sean necesarios. La **Tabla 39** presenta los sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones del Anexo V del Reglamento (UE) N° 305/2011 del Parlamento europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011 por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo.

Tabla 39

SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA CONSTANCIA DE LAS PRESTACIONES (ANEXO V DEL REGLAMENTO (UE) N° 305/2011)

Sistema	Tareas del fabricante	Tareas del organismo de certificación de producto notificado
Sistema 1+	<p>Declaración de prestaciones de las características esenciales del producto de construcción, por parte del fabricante, sobre la base de los siguientes elementos:</p> <p>a) el fabricante efectuará:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) el control de producción en fábrica, ii) ensayos adicionales de muestras tomadas en la fábrica, de acuerdo con un plan de ensayos determinado; 	<p>b) el organismo de certificación de producto notificado emitirá el certificado de constancia de las prestaciones del producto en virtud de:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) la determinación del producto tipo sobre la base de ensayos de tipo (incluido el muestreo), cálculos de tipo, valores tabulados o documentación descriptiva del producto, ii) la inspección inicial de la planta de producción y del control de producción en fábrica, iii) la vigilancia, evaluación y supervisión permanentes del control de producción en fábrica, iv) ensayos mediante sondeo de muestras tomadas antes de la introducción del producto en el mercado.
Sistema 1	<p>Declaración de prestaciones de las características esenciales del producto de construcción, por parte del fabricante, sobre la base de los siguientes elementos:</p> <p>a) el fabricante efectuará:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) el control de producción en fábrica, ii) ensayos adicionales de muestras tomadas en la fábrica por el fabricante, de conformidad con un plan de ensayos determinado; 	<p>b) el organismo de certificación de producto notificado emitirá el certificado de constancia de las prestaciones del producto en virtud de:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) la determinación del producto tipo sobre la base de ensayos de tipo (incluido el muestreo), cálculos de tipo, valores tabulados o documentación descriptiva del producto, ii) la inspección inicial de la planta de producción y del control de producción en fábrica, iii) la vigilancia, evaluación y supervisión permanentes del control de producción en fábrica.
Sistema 2+	<p>Declaración de prestaciones de las características esenciales del producto de construcción, por parte del fabricante, sobre la base de los siguientes elementos:</p> <p>a) el fabricante efectuará:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) la determinación del producto tipo sobre la base de ensayos de tipo (incluido el muestreo), cálculos de tipo, valores tabulados o documentación descriptiva del producto, ii) el control de producción en fábrica, iii) ensayos de muestras tomadas en la fábrica, de acuerdo con un plan de ensayos determinado; ES L 88/42 Diario Oficial de la Unión Europea 4.4.2011 	<p>b) el organismo de certificación del control de producción notificado emitirá el certificado de conformidad del control de producción en fábrica sobre la base de:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) la inspección inicial de la planta de producción y del control de producción en fábrica, ii) la vigilancia, evaluación y supervisión permanentes del control de producción en fábrica.
Sistema 3	<p>Declaración de prestaciones de las características esenciales del producto de construcción, por parte del fabricante, sobre la base de los siguientes elementos:</p> <p>a) el fabricante efectuará un control de producción en fábrica;</p>	<p>b) el laboratorio de ensayos notificado procederá a la determinación del producto tipo sobre la base de ensayos de tipo (basados en el muestreo realizado por el fabricante), cálculos de tipo, valores tabulados o documentación descriptiva del producto.</p>
Sistema 4	<p>Declaración de prestaciones de las características esenciales del producto de construcción, por parte del fabricante, sobre la base de los siguientes elementos:</p> <p>a) el fabricante efectuará:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) la determinación del producto tipo sobre la base de ensayos de tipo, cálculos de tipo, valores tabulados o documentación descriptiva del producto, ii) el control de producción en fábrica; 	<p>b) el organismo notificado no interviene.</p>

Además del anexo ZA pueden aparecer anexos ZB, ZC etc.. en función del número de mandatos a los que responda el producto. Las respuestas a los mandatos elaboradas por los comités involucrados en la DPC, han producido más de 1500 normas (armonizadas y de apoyo) y hay involucrados más de 80 comités de CEN. Un ejemplo de los mandatos dados al CEN por la Comisión en el marco de la DPC, actualmente RPC, son los recogidos en la **Tabla 40**.

Tabla 40

RELACIÓN MANDATOS Y COMITÉS TÉCNICOS DE NORMALIZACIÓN DE AENOR RELACIONADOS

Mandato	Comités de Normalización de AENOR AENCTN XX
M 100 Productos prefabricados de hormigón	127. Prefabricados de cemento y de hormigón
M 101 Puertas, ventanas y productos relacionados	85. Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios 108. Seguridad física y elementos de cierre 53. Plásticos y caucho 56. Madera y corcho
M 102 Membranas	104. Materiales impermeabilizantes para la construcción
M 103 Productos para aislamiento térmico	02. Aislamiento térmico
M 104 Apoyos estructurales	76. Estructuras metálicas
M 105 Chimeneas, conductos de humo y productos específicos	123. Chimeneas
M 106 Productos de yeso	102. Yeso y productos a base de yeso
M 107 Geotextiles	86. Industrias textiles
M 108 Muros cortina (fachadas ligeras)	85. Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios
M 109 Productos para instalaciones de detección y de alarma, instalaciones fijas de lucha contra incendios, control del fuego y del humo y supresión de explosiones e incendios	3. Seguridad contra incendios
M 110 Aparatos sanitarios	67. Aparatos sanitarios
M 111 Equipamientos para vías de circulación	72. Iluminación y color 135. Equipamiento para la señalización vial
M 112 Producción de madera para uso estructural y elementos de fijación	56. Madera y corcho
M 113 Tablones derivados de la madera	56. Madera y corcho
M 114 Concretos, calas de construcción y otros conglomerados hidráulicos	80. Concreto y calas
M 115 Acero para hormigón armado y pretensado	36. Siderurgia
M 116 Aluailiteria y productos relacionados	22. Minería y explosivos 41. Construcción 80. Concretos y calas 83. Hormigón 102. Yeso y productos a base de yeso 127. Prefabricados de cemento y de hormigón 136. Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción
M 117 Evaluación de los productos y elementos de construcción en relación con su resistencia al fuego	23. Seguridad contra incendios
M 118 Productos para la instalación de evacuación de aguas residuales	149. Ingeniería del agua
M 119 Pavimentos	88. Productos de cemento reforzado con fibras 127. Prefabricados de cemento y de hormigón 53. Plásticos y caucho 36. Siderurgia 22. Minería y explosivos 41. Construcción 53. Plásticos y caucho 56. Madera y corcho 85. Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios 127. Prefabricados de cemento y de hormigón 136. Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción
M 120 Productos metálicos estructurales y accesorios	138. Herrerías cerámicas 36. Siderurgia
M 121 Terminaciones interiores de muros y techos	22. Minería y explosivos 41. Construcción 53. Plásticos y caucho 56. Madera y corcho 57. Cables y papel 88. Productos de cemento reforzado con fibras 138. Herrerías cerámicas
M 122 Cubiertas, lucerneros, ventanas de cubierta y productos auxiliares	22. Minería y explosivos 36. Siderurgia 18. Madera ligeros y sus aleaciones 41. Construcción 53. Plásticos y caucho 85. Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios 88. Productos de cemento reforzado con fibras 104. Materiales impermeabilizantes para la construcción 127. Prefabricados de cemento y de hormigón 131. Cobre y sus aleaciones 136. Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción 165. Cera y sus aleaciones
M 123 Evaluación de los productos de construcción en relación con su reacción al fuego	23. Seguridad contra incendios
M 124 Productos para la construcción de carreteras	41. Construcción 51. Productos petrolíferos 104. Materiales impermeabilizantes para la construcción
M 125 Áridos	166. Áridos
M 127 Adhesivos para la construcción	138. Herrerías cerámicas 143. Adhesivos
M 128 Productos relacionados con el hormigón el mortero y los fachados	83. Hormigón
M 129 Aparatos de calefacción ambiental	48. Fontanería y fontanerías 124. Gasoductos y emisores de calor
M 131 Tabos, sistemas y componentes auxiliares sin contacto con el agua destinada al consumo humano	149. Ingeniería del agua
M 135 Vidrio	127. Prefabricados de cemento y de hormigón 36. Siderurgia 53. Plásticos y caucho 143. Adhesivos 19. Taberías de fundición, grifería, valvulería y accesorios de materiales metálicos 60. Combustibles gaseosos e instalaciones y aparatos de gas 131. Cobre y sus aleaciones 62. Horno de equipo para la industria química 100. Climatización
M 136 Productos en contacto con el agua destinada al consumo humano	85. Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios 108. Seguridad física y elementos de cierre 149. Ingeniería del agua 127. Prefabricados de cemento y de hormigón 36. Siderurgia 53. Plásticos y caucho 143. Adhesivos 19. Taberías de fundición, grifería, valvulería y accesorios de materiales metálicos 60. Combustibles gaseosos e instalaciones y aparatos de gas 131. Cobre y sus aleaciones 62. Horno de equipo para la industria química 100. Climatización

En cuanto a los mandatos M/127 y M/123 de reacción al fuego de los materiales de construcción darán normas de apoyo para el resto de mandatos, ya que están directamente relacionados con el segundo requisito esencial de la DPC y del RPC y van a establecer clasificaciones de resistencia y de reacción al fuego⁸.

Una vez que se ha aprobado una norma candidata a armonizada y que está disponible, no es de aplicación inmediata. El Comité Permanente de la Construcción determina un periodo transitorio. A partir de la fecha de disponibilidad de la norma, ésta debe ser anunciada en un plazo de tres meses, y adoptada por los organismos de normalización miembros de CEN en seis meses.

A los nueve meses, la Comisión deberá publicar en el DOCE la referencia a la norma, y en ese momento, la norma podrá utilizarse como base para el mercado CE del producto. Durante un periodo de un año coexistirán los sistemas de certificación de la conformidad de cada país con el mercado CE y después será obligatorio el mercado CE. Durante el periodo de coexistencia de los sistemas de certificación de la conformidad de cada país con el mercado CE, los productos con el mercado CE podrán circular libremente en la UE.

8 2000/147/CE: Decisión de la Comisión, de 8 de febrero de 2000, por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo a lo que respecta a la clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de construcción.

2000/367/CE: Decisión de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo relativo a la clasificación de las propiedades de resistencia al fuego de los productos de construcción, las obras de construcción y los elementos de los mismos.

2001/671/CE: Decisión de la Comisión, de 21 de agosto de 2001, relativo a la aplicación de la Directiva 89/106/CEE del Consejo en to que concierne a la reacción al fuego de las cubiertas y de los revestimientos de cubiertas ante un fuego exterior.

3.1. El mercado CE en el sector del cemento

El mercado CE en el sector del cemento se define en el anejo ZA.4 de la EN 197-1. Se puede decir que el anejo ZA de la EN 197-1:2011 se compone de cuatro partes:

- Anejo ZA.1 Capítulos armonizados de la norma de especificaciones (**Tabla 41**).
- Anejo ZA.2 Sistema de verificación de la conformidad (**Tabla 42**).
- Anejo ZA.3 Certificado de conformidad y declaración de prestaciones.
- Anejo ZA.4 Mercado CE de conformidad: Cemento ensacado y a granel.

3.1.1. Capítulos armonizados

Los capítulos armonizadas son aquellos que son de obligado cumplimiento dentro de la UE (**Tabla 41**).

3.1.2. Sistema de verificación de la conformidad.

El anejo ZA define el sistema de verificación de la conformidad para cementos: 1+. El sistema de verificación de la conformidad de los cementos comunes de la norma EN 197-1 se muestra en la **Tabla 42**, de acuerdo con la Decisión de la Comisión, del 14 de Julio de 1997 (97/555/EC), publicada en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas y dada en el Anexo 3 del Mandato para la familia de productos «Cementos».

Tabla 41

ANEJO ZA.1.– CAPÍTULOS ARMONIZADOS DE LA UNE-EN 197-1

Productos de construcción: 27 diferentes productos de cementos comunes, 7 cementos resistentes a los sulfatos y 3 de escoria de horno alto de baja resistencia inicial Uso previsto: Preparación de hormigón, morteros, lechadas y otras mezclas para la construcción y para la fabricación de productos de construcción.				
Requisitos/Características del Mandato	Capítulos de requisitos de esta Norma Europea		Clases o niveles mandados	Notas
	Capítulos	Explicación de los requisitos		
Cementos comunes (Subfamilias) componentes y composición	3.4.5.6.8.9	Composición de los 27 productos diferentes (véase tabla 1 de la norma que es la Tabla 12 de este libro) dentro de la familia de «Cementos Comunes», definidos a base de los materiales componentes y de la composición.	Ninguno	La selección de cementos, por los estados miembros en sus reglamentaciones técnicas de para destinos particulares, será posible, y se basará en los distintos tipos de cemento y en las clases de resistencia de los mismos.
Resistencia a compresión (inicial y nominal)	7.1.8.9	Requisitos de resistencia a compresión expresados en términos de clases resistentes y límites. (2)	Ninguno	
Fraguado	7.2.9	Requisitos expresados en términos de límites inferiores. (2)	Ninguno	
Residuo insoluble	7.3.9	Requisitos expresados en términos de límites superiores. (2)	Ninguno	Sólo para CEM I y CEM III.
Pérdida por calcinación	7.3.9	Requisitos expresados en términos de límites superiores. (2)	Ninguno	Sólo para CEM I y CEM III.
Estabilidad de volumen Expansión - contenido de SO ₃	7.2.9.7.3.9	Requisitos expresados en términos de límites superiores. (2)	Ninguno	
Calor de hidratación	7.2.3.9	Requisitos expresados en términos de límites superiores. (2)	Ninguno	
Contenido de cloruros	7.3.9	Requisitos expresados en términos de límites superiores. (2)	Ninguno	
Puzolanicidad (sólo para cementos puzolánicos)	7.3.9	Requisitos expresados en términos de límites. (2)	Ninguno	Sólo para CEM IV.
Durabilidad	4.6.7.4			La durabilidad se refiere al hormigón, mortero, lechadas y otras mezclas lechadas de cemento, de acuerdo con las reglas de aplicación válidas en el lugar de empleo.
C.A en el clínker	7.1.2.9	Requisitos expresados en términos de límites superiores. (2)	Ninguno	Sólo para cementos SR.
Liberación de sustancias peligrosas	Véanse notas 1 y 2			

(1) Los requisitos de estos capítulos, incluyendo los contenidos completos y las tablas indicadas, son partes integrantes en su totalidad de esta norma europea armonizada de cemento.

(2) Estos límites son parte de la definición de los productos incluidos en esta norma de cemento.

Tabla 42

ANEJO ZA.2 SISTEMA DE VERIFICACIÓN DE LA CONFORMIDAD

Producto(s)	Uso(s) previsto(s)	Nivel(es) o clase(s)	Certificación del sistema de conformidad
Cementos comunes, incluyendo: Cementos Portland Cementos Portland compuestos C. Portland con escoria C. Portland con humo de sílice C. Portland con puzolana C. Portland con cenizas volantes C. Portland con esquistos calcinados C. Portland con caliza C. Portland mixto Cementos de horno alto Cementos puzolánicos Cementos compuestos	Preparación de hormigón, mortero, lechada y otras mezclas para la construcción y fabricación de productos de la construcción	1+
Sistema 1+: Ver Anexo III Sección 2 punto (i) de la Directiva 89/106/EEC, con ensayos de verificación de muestras tomadas en fábrica			

Table ZA.2 System of attestation of conformity

Product(s)	Intended use(s)	Level(s) or class(es)	Attestation of conformity system(s)
Common cements, including common cements with low heat of hydration and sulfate resisting common cements as well as low early strength blast furnace cements and low early strength blast furnace cements with low heat of hydration	Preparation of concrete, mortar, grout and other mixes for construction and for the manufacture of construction products	1+
- Portland cements			
- Portland composite cements			
Portland-slag cement			
Portland-silica fume cement			
Portland-pozzolana cement			
Portland-fly ash cement			
Portland-burnt shale cement			
Portland-limestone cement			
Portland composite cement			
- Blast furnace cements			
- Pozzolanic cements			
- Composite cements			
System 1+: See annex III Section 2 point (i) of Directive 89/106/EEC, with audit-testing of samples taken at the factory			

4. MARCAS DE CALIDAD VOLUNTARIAS PARA EL CEMENTO

Certificación es la acción de acreditar, por medio de un documento emitido por un organismo autorizado, que un determinado producto o servicio cumple con los requisitos o exigencias definidos por una norma o especificación técnica.

El Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) desarrolló a partir del año 1986 un sistema de certificación para cementos llamado: «Sello de calidad IECA», basado en un autocontrol por parte del fabricante y una supervisión externa. Este sistema de certificación con sus correspondientes modificaciones se integró en el sistema de Certificación AENOR en fecha 12 de Julio de 1988.

Este mismo año se declaró obligatoria la homologación de los cementos para todo tipo de obras y productos prefabricados (Real Decreto 1313/88 de fecha 28 de octubre) y poco después, en 1989, apareció una Orden Ministerial que estableció la certificación o marca voluntaria emitida por AENOR para

los cementos como alternativa a esta homologación, ya que los controles contemplados en la certificación AENOR son mucho más exigentes.

El Comité Técnico de Certificación de AENOR, CTC-015 «Cementos», es el encargado de las actividades de AENOR en el campo de la certificación de cementos. Para garantizar la imparcialidad y equilibrio de las decisiones y acuerdos tomados, este Comité está compuesto por una representación equilibrada de todas las partes implicadas.

El sistema de certificación establecido es un sistema de control de calidad dirigido a limitar el riesgo del usuario de adquirir partidas no conformes de cemento a niveles muy bajos, basado en la realización de un programa de autocontrol por parte del fabricante y de unos ensayos adicionales de contraste por parte de un laboratorio de referencia externo⁹. El Reglamento Particular de la Marca AENOR para cementos (Reglamento Particular 15.01) es el documento que desarrolla el sistema de certificación específico para este producto. En el mismo se definen los procedimientos para la solicitud, concesión, uso y seguimiento de los certificados AENOR de cementos.

Con la entrada en vigor de la Directiva 89/106/CEE, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los Productos de Construcción, y el Reglamento de Productos de Construcción que lo anuló y sustituyó el 1 de Julio de 2013, después del periodo de dos años de transición, los distintivos de calidad oficialmente reconocidos (D.O.R.) o Marcas de calidad voluntarias establecen exigencias y garantías superiores sobre la composición, las prestaciones y el control de los componentes del cemento que las exigidas por el mercado CE.

Los distintivos de calidad (D.O.R.) están reconocidos por la Administración a los efectos de la Instrucción para la recepción de cementos (RC-14) y a los efectos de la Instrucción de Hormigón Estructural, EHE, según se recoge, por ejemplo, en el BOE de 4 de junio de 2001. Este reconocimiento se renueva cada dos años.

9 LOEMCO (Laboratorio Oficial de Ensayos de Materiales de Construcción), INTEMAC y TECNALIA, que están acreditados según lo dispuesto en el Real Decreto 2200/1995, de 28 de Diciembre.

La certificación realizada por los distintivos de calidad oficialmente reconocidos garantiza un alto nivel de calidad en la producción y expedición permitiendo al usuario prescindir de la realización de los ensayos de recepción previstos en la Instrucción para la Recepción de Cementos.

Bibliografía

- CALLEJA, J.: Recomendaciones para el uso de los cementos de las normas de 1996. IECA, Madrid, 2000.
- CALLEJA, J.: Normas españolas UNE 2002 para cementos. IECA, Madrid, 2002.
- CEMBUREAU: World Cement Directory – Cement standards of the world, 1991.
- DUDA, W. H.: Cement Data Book, Vol.1-3, Bauverlag Gmb, Wiesbaden y Berlin, 1985.
- FERNANDEZ CANOVAS, M.: Cementos: clasificación, fabricación y propiedades. Publicaciones Universidad Politécnica de Madrid, 1989.
- GALAN GUTIERREZ, L. y AMADOR BLANCO, J. J.: Cementos. Publicaciones Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid, 1993.
- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Secretaria General Técnica. Ministerio de Fomento. Madrid, España (2008).
- Labahn, O.: Prontuario del cemento. De. Palestra, Barcelona, 1959.
- PERAY, K.: The rotary cement kiln, Chemical Publishing Co, Nueva York, USA, 1986.
- PUBLICACIONES «ASLAND»: El cemento portland y sus aplicaciones, 1926.
- RODRIGUEZ GARCIA, F.: Características e identificación de los componentes en los cementos españoles. ETSI Minas. Madrid, 1993.
- TAYLOR, H.: Cement Chemistry, Academic Press, Londres, 1990.

Normas

Normas de producto de los cementos sujetos al mercado CE

UNE-EN 197-1:2011. Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

UNE-EN 14216:2005. Cemento. Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación.

UNE-EN 413-1:2011. Cementos de albañilería. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad.

UNE-EN 14647:2006. Cemento de aluminato de calcio. Composición, especificaciones y criterios de conformidad.

EN 13282-1:2013. Conglomerantes hidráulicos para carreteras. Parte 1: Conglomerantes hidráulicos para carreteras de endurecimiento rápido. Composición, especificaciones y criterios de conformidad.

prEN 13282-2:2014. Conglomerantes hidráulicos para carreteras. Parte 2: Conglomerantes hidráulicos para carreteras de endurecimiento lento. Composición, especificaciones y criterios de conformidad.

Normas de producto de cementos sujetos al Real Decreto 1313/1988

UNE 80303-1:2013. Cementos con características adicionales. Parte 1: Cementos resistentes a los sulfatos.

- UNE 80303-2:2011. Cementos con características adicionales. Parte 2:
Cementos resistentes al agua de mar.
- UNE 80305:2012. Cementos blancos.
- UNE 80307:2001. Cementos para usos especiales.

Normas relativas a la evaluación de conformidad

- UNE-EN 197-2:2014. Cemento. Parte 2: Evaluación de la conformidad.

Normas relativas a la toma de muestras y a los métodos de ensayo

- UNE 80117:2012. Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos.
Determinación del color en los cementos blancos.
- UNE 80216:2010. Métodos de ensayo de cementos. Determinación cuantitativa de los componentes.
- UNE 80220:2012. Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico.
Determinación de la humedad.
- UNE-EN 196-1:2005. Métodos de ensayo de cementos. Parte 1:
Determinación de resistencias mecánicas.
- UNE-EN 196-2:2006. Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos.
- UNE-EN 196-3:2005+A1:2009. Métodos de ensayo de cementos. Parte 3:
Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad del volumen.
- UNE-EN 196-5:2011. Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Ensayo de puzolanidad para los cementos puzolánicos.
- UNE-EN 196-6:2010. Métodos de ensayo de cementos. Parte 6:
Determinación de la finura.
- UNE-EN 196-8:2010. Métodos de ensayo de cementos. Parte 8:
Determinación del calor de hidratación. Método por disolución.
- UNE-EN 196-9:2011. Método de ensayo de cementos. Parte 9: Determinación del calor de hidratación. Método semi-adiabático.

- UNE-EN 196-10:2008. Método de ensayo de cementos. Parte 10: Determinación del contenido de cromo (VI) soluble en agua en cementos.
- UNE 80304:2006. Cementos. Cálculo de la composición potencial del clínker pòrtland.
- UNE 80402:2008/M1:2011. Cementos. Condiciones de suministro.
- UNE-EN 413-2:2006. Cementos de albañilería. Parte 2 Métodos de ensayo

Otras normas

- UNE-EN 12878:2007 ERRATUM:2008. Pigmentos para la coloración de materiales de construcción fabricados a partir de cemento y/o cal. Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE EN 13639:2002. Determinación del carbono orgánico total en la caliza.
- UNE-EN 13639:2002/AC: 2005. Determinación del carbono orgánico total en la caliza.
- UNE-EN 450-1:2006+A1:2008. Cenizas volantes para hormigón. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.
- UNE-EN 451-1:2006. Métodos de ensayo de cenizas volantes. Parte 1: Determinación de óxido de cal libre.
- UNE-EN 459-2: 2011. Cales para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 933-9: 2010. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno.
- UNE-EN 934-2: 2010+A1:2012. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.
- UNE-EN 459-1: 2011. Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.
- UNE-EN ISO/IEC 17065:2012 Evaluación de la conformidad. Requisitos para organismos que certifican productos, procesos y servicios. (ISO/IEC 17065:2012).

- UNE-EN ISO/IEC 17021: 2011. Evaluación de la conformidad. Requisitos para los organismos que realizan la auditoría y la certificación de sistemas de gestión. (ISO/IEC 17021: 2011).
- UNE-EN ISO 9001: 2008/AC:2009. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. (ISO 9001: 2008/Cor 1:2009).
- UNE-EN ISO/IEC 17025:2005. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 ERRATUM: 2006. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. (ISO/IEC 17025:2005/Cor 1:2006).
- UNE-ISO 9277: 2009. Determinación del área superficial específica de los sólidos mediante la adsorción de gas utilizando el método BET.

Normas de Ensayos físicos

- UNE 80116:1986 Métodos de ensayo de cementos. Determinación de la resistencia mecánica de los cementos naturales rápidos.
- UNE 7105:1957 Determinación del calor de hidratación de los cementos portland.
- UNE 7204:1962 Ensayo de expansión de conglomerantes hidráulicos, con galletas de pasta dura.
- UNE 80103:1986 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la densidad real mediante el volumenómetro de Le Chatelier.
- UNE 80104:1986 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la densidad real mediante el picnómetro de aire.
- UNE 80105:1986 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la densidad real mediante el picnómetro de líquido.
- UNE 80108:1986 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la finura de molido por tamizado húmedo.

- UNE 80112:1989 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la retracción de secado y del hinchamiento en agua. (Experimental).
- UNE 80113:1986 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la expansión en autoclave.
- UNE 80114:1996 Método de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de los fraguados anormales (método de la pasta de cemento).
- UNE 80122:1991 Métodos de ensayo de cementos. Determinación de la finura.

Normas de Ensayos químicos

- UNE 80210:1994 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación de la composición química de clínker portland y cementos por fluorescencia de rayos x. (Experimental).
- UNE 80211:1994 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación de la composición química de cales y calizas por fluorescencia de rayos x. (Experimental).
- UNE 80213:1999 Métodos de ensayo de cementos. Determinación potenciométrica de cloruros. (Experimental).
- UNE 80216:1991 Métodos de ensayo de cementos. Determinación cuantitativa de los componentes. (Experimental).
- UNE 80217:1991 Métodos de ensayo de cementos. Determinación del contenido de cloruros, dióxido de carbono y alcalinos en los cementos.
- UNE 80220:2000 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación de la humedad. (Experimental).
- UNE 80225:1993 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación del dióxido de silicio reactivo en los cementos, en las puzolanas y en las cenizas volantes. (Experimental).
- UNE 80225:1994 ERRATUM Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación del dióxido de silicio reactivo en los cementos, en las puzolanas y en las cenizas volantes. (Experimental).

- UNE 80226:1999 Métodos de ensayo de cementos. Determinación del contenido total en carbono orgánico (TOC) en la caliza.
- UNE 80228:1988 Métodos de ensayos de cementos. Análisis químico: Determinación del contenido de titanio por colorimetría. Método de referencia. (Experimental).
- UNE 80230:1999 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Métodos alternativos.
- UNE 80230:2000 ERRATUM Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Métodos alternativos.
- UNE 80243:2002 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación del óxido de calcio libre; método del etilenglicol.

Normas de producto de cales para construcción

- UNE 80502. Cales vivas o hidratadas utilizadas en la estabilización de suelos.
- UNE 80503. Hidróxido de calcio para utilización en mezclas asfálticas.
- UNE-EN 459-1. Cales para construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.
- UNE-EN 459-2. Cales para construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.

Enlaces

ieca: www.ieca.es

Oficemen: www.oficemen.com

Portland Cement Association Homepage: <http://www.cement.org/>

British Cement Association: <http://www.bca.org.uk>

International Cement Journal: <http://www.cemnet.com/publications/international-cement-review>

CEMENT: <http://www.pwnt.com/directy/1149.htm>

Informacion sobre cemento portland:

www.fevicon.com

www.cicb.org

www.hormigonelaborado.com

www.camarco.org.ar

www.cement.org

www.afcp.org.ar

<http://www.inti.gob.ar/construcciones/>

AEC – Asociacion Espanola para la Calidad: www.aec.es

American Concrete Institute: www.aci-int.org

AENOR: www.aenor.es

ANCADE: www.ancade.es

ACHE: www.e-ache.net

ANDECE: <http://www.andece.org/>

Anefa: www.aridos.org

ANEFHOP: www.anefhop.com

AFNA: www.anfah.org
ANIFER: www.anifer.es
Asociacion Espanola de la Carretera: www.aecarretera.com
Asociacion Tecnica de Carreteras: www.atc-piarc.com
Bauberations Zement: www.bdzement.de
BCA: www.bca.org.uk
BIBM: www.bibm.org
Canadian Portland Cement Association: www.cPCA.ca
CEDEX: www.cedex.es
CEMBUREAU (Asociacion Europea del Cemento): www.cembureau.be
Cementeras Suizas: www.cemsuisse.ch
Cemento-Hormigon (Revista Tecnica): www.cemento-hormigon.com
CEPCO: www.cepco.es
Cimbeton: www.cimbeton.asso.fr
Ciment Catala: www.ciment-catala.org
Comision Permanente del Hormigon: www.mfom.es/cph
Consortio Termoarcilla: www.termoarcilla.org
CRSI: www.crsi.org
ENAC – Entidad Nacional de Acreditacion: www.enac.es
ERMCO: www.ermco.org.uk
Febelcem: www.febelcem.be
Hyspalit: www.hispalyt.es
IMCYC: www.imcyc.com
Instituto Eduardo Torroja: www.ietcc.csic.es
Interlocking Concrete Pavement Institute: www.icpi.org
Precast/Prestressed Concrete Institute: www.pci.org
PTI: www.post-tensioning.org
The Concrete Society: www.concrete.org.uk