

ÍNDICE ANEXOS

Índice anexos.....	1
ANEXO 1: Normativa medioambiental	3
ANEXO 2: Ficha de seguridad del cemento	9
ANEXO 3: PFC1	15

ANEXO 1:

NORMATIVA

MEDIOAMBIENTAL

FABRICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

El proceso de fabricación de cemento está asociado a los siguientes efectos ambientales:

- La explotación de canteras supone un impacto medioambiental derivado de la ocupación de espacios (impacto visual) y de las actividades realizadas durante la explotación (voladuras, trituración, transporte).
- La manipulación, almacenamiento y procesado de materiales en forma pulverulenta está asociada a la emisión de partículas, aspecto éste que ha sido el de mayor impacto histórico de las fábricas de cemento.
- La cocción en el horno da lugar a emisiones de gases de combustión a la atmósfera, óxidos de nitrógeno y de azufre principalmente.

No obstante, como se describe en el apartado valorización de residuos, la fábrica de cemento aporta un potencial importante de contribución ambiental en la gestión de residuos de otras actividades industriales.

La cocción de las materias primas en el horno de clínker tiene lugar en contacto directo de éstas con los gases de combustión que circulan en contracorriente.

Las emisiones a la atmósfera provenientes del horno de clínker tienen su origen en las reacciones químicas y físicas provocadas por la cocción de las materias primas, y en los procesos de combustión.

Antes de ser emitidas a la atmósfera, los gases provenientes de los hornos de clínker se desempolvan en filtros, y el polvo recogido se alimenta de nuevo al proceso de fabricación.

Salvo en contadas excepciones, el horno de clínker no genera residuos, ni vertidos de agua.

Los constituyentes principales de los gases emitidos por el horno de cemento son nitrógeno proveniente del aire de combustión, CO₂ proveniente de la descarbonatación de la caliza y de la combustión, agua proveniente de las materias primas y del proceso de combustión, y oxígeno.

Los gases emitidos a la atmósfera contienen también en pequeña proporción partículas, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, y en una pequeña proporción, cloruros, fluoruros, compuestos orgánicos y metales pesados.

LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

Las sociedades desarrolladas generan una gran cantidad de residuos: industriales, domésticos, de construcción y demolición, etc, que necesitan una gestión adecuada. La problemática de la gestión de los residuos ha merecido una atención creciente por parte de administraciones, empresas, ciudadanos, etc., debido a la necesidad de proteger el medio ambiente. Las políticas de la Unión Europea se han orientado a prevenir la producción de residuos y a gestionar adecuadamente los existentes según la siguiente jerarquía:

- Reducción: minimizar su generación y reutilizarlos.
- Valorización: dar uso a los residuos, aprovechando los recursos materiales (reciclaje) o energéticos contenidos en ellos.
- Eliminación: asociada al vertido o a la destrucción sin aprovechamiento energético de los residuos.

Aunque los objetivos prioritarios respecto a los residuos sean evitar su generación, la realidad es que su eliminación es práctica común, y no siempre en las condiciones adecuadas. Para evitarlo, el reciclado y valorización son hoy por hoy las vías con mayor potencial real, desde un punto de vista técnico, ecológico y económico.

Las fábricas de cemento ofrecen una oportunidad en este sentido, pues las características de su proceso productivo les permiten reciclar y valorizar varios tipos de residuos con las condiciones técnicas y ambientales óptimas. Con la prestación de este servicio la actividad industrial cementera realiza pues una contribución medioambiental y social.

RECICLAJE O VALORIZACIÓN MATERIAL

La utilización de residuos y subproductos minerales como materia prima en el proceso cementero aporta las siguientes ventajas al entorno:

- Evita la ocupación de vertederos y sus impactos asociados.
- Reducción de la explotación de canteras, sustituyendo recursos naturales por residuos.
- Disminución del consumo energético al fabricar menos clínker gracias al uso de las adiciones.

- Reducción de las emisiones a la atmósfera al disminuir el consumo de combustibles.

La industria cementera ha empleado tradicionalmente ciertos residuos y subproductos minerales de composición similar a la de sus materias primas o que mejoran las prestaciones de los cementos. Dadas las enormes cantidades de materias primas que procesa el sector (más de 53 millones de toneladas al año), este reciclaje supone un gran ahorro de recursos naturales y evita el vertido de grandes volúmenes de materiales aprovechables. Como ejemplo, durante el año 2002 las fábricas de cemento reciclaron cerca de 3,86 millones de toneladas de minerales, evitando un vertido equivalente a tres estadios olímpicos.

Estos residuos se pueden emplear en dos fases diferentes del proceso productivo. Una de ellas es en la preparación inicial de las materias primas o "crudo". La otra es la fase de molienda del clínker junto con otros minerales para dar lugar al cemento:

- En la preparación del crudo.

Para la obtención del clínker son necesarios ciertos minerales que se pueden encontrar en la naturaleza o en algunos residuos. Algunos de los residuos y subproductos que se reciclan en la preparación del crudo son:

- Cenizas de piritas, por su alto contenido en hierro.
- Lodos de papelera, por su alto contenido en carbonato cálcico.
- Arenas de fundición, por su alto contenido en óxido de silicio.
- Residuos de demolición, de naturaleza cálcica o silíceas.

La industria cementera española recicló más de 600.000 toneladas de estos residuos en el año 2002, evitando así que estos materiales se destinaran a vertederos.

- En la molienda de cemento.

Los materiales susceptibles de ser empleados como componentes en la molienda de cemento (como adiciones al clínker) tienen características que mejoran sus propiedades, tales como la trabajabilidad, retención de agua, durabilidad, resistencia mecánica, resistencia a sulfatos, resistencia al hielo, etc. Estos materiales están recogidos en las normas españolas y europeas sobre cementos y pueden ser naturales o provenir de subproductos de otros procesos industriales tales como:

- Escoria de horno alto.
- Puzolanas industriales.
- Cenizas volantes de central térmica.
- Humo de sílice de la industria de ferroaleaciones.
- Esquistos calcinados.
- Sulfato de calcio proveniente de la desulfuración de gases industriales.

La industria cementera española recicló más de 3.200.000 toneladas de residuos en el año 2002 utilizándolas como adiciones al clínker. En la Unión Europea, aproximadamente el 20% en peso del cemento corresponde a componentes distintos del clínker.

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

Para obtener el clínker es necesario calentar las materias primas en grandes hornos rotatorios hasta su fusión parcial. El calor necesario para ello se obtiene de la combustión en una gran llama principal y a veces en una secundaria. Este proceso requiere una gran cantidad de combustibles (más de 3 millones de toneladas de carbón equivalente al año) y aporta la posibilidad de valorizar ciertos residuos orgánicos utilizándolos como combustibles alternativos en sustitución de los tradicionales.

Las ventajas de la utilización de combustibles alternativos en los hornos de clínker se pueden resumir en:

- Evita el vertido de estos residuos y sus impactos asociados.
- Tratamiento ecológico y seguro de los residuos, aprovechando al máximo su energía y minerales sin generar impactos añadidos sobre el entorno.
- Ahorro de combustibles fósiles no renovables (carbón y derivados del petróleo).
- Disminución global de las emisiones, en particular las de CO₂ (uno de los gases responsables del efecto invernadero) al sustituir combustibles fósiles por materiales que hubieran sido incinerados o fermentados en vertederos, con sus correspondientes emisiones.
- Alternativa de gestión económica y flexible, pues permite volver a utilizar combustibles fósiles cuando se mejoren las prácticas de reducción de residuos.

Los combustibles alternativos más utilizados son los neumáticos usados, aceites usados, disolventes, residuos de madera, pudiendo alimentarse otro tipo de residuos orgánicos como plásticos, lodos de depuradora, pinturas, barnices, harinas animales, etc.

El sector cementero español utilizó en el año 2002 unas 81.000 toneladas de residuos como combustibles alternativos, que supusieron poco más del 1% del consumo térmico de los hornos de clínker. Estos residuos son principalmente:

Estas cifras, aunque van aumentando cada año, resultan bastante escasas en comparación con otros países de nuestro entorno, especialmente Holanda, Suiza, Francia, Austria, Bélgica o Alemania, que sustituyen entre el 20 y el 70% de sus combustibles fósiles por alternativos, o con la media de la Unión Europea que se sitúa en el 13% de sustitución.

Como se explica al principio varias son las ventajas de la utilización de combustibles alternativos en los hornos de clínker que han llevado a los países más respetuosos con el medio ambiente a optar por esta vía de gestión de los residuos. La primera de ellas (tratamiento seguro y ecológico de los residuos) se basa en las características específicas de los hornos de clínker, que aportan unas garantías ambientales óptimas para la valorización de residuos, y que son las siguientes:

- Los gases de combustión permanecen durante largos tiempos de residencia a muy alta temperatura (hasta 2000 °C) y en una atmósfera rica en oxígeno, por lo cual el horno de clínker se considera el sistema más efectivo para la completa destrucción de los compuestos orgánicos presentes en los residuos.
- La interacción de los gases de combustión con la materia prima presente en el horno hace que los gases ácidos (sulfurosos y halogenados) formados en la

combustión sean neutralizados y que la parte mineral no combustible del residuo quede retenida en la estructura del clínker de forma irreversible.

Estas dos razones evitan que se produzcan ciertos impactos que han preocupado en otras instalaciones de valorización, como son las emisiones de compuestos orgánicos o metales pesados, o la generación de cenizas, escorias o aguas residuales. En concreto, no se producen emisiones de dioxinas en el horno de clínker por emplear residuos. Éstas son controladas de acuerdo a la normativa y permanecen por debajo de los límites más exigentes que garantizan la seguridad del entorno.

CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

La utilización de residuos en las fábricas para reciclarlos o valorizarlos se realiza respondiendo a las siguientes condiciones:

- Suponer una mejora medioambiental global.
- Mantener la seguridad de los trabajadores y de las personas en el entorno de la fábrica.
- Ser compatible con la calidad exigida al cemento y con la operación de la instalación.
- En concreto, la valorización energética de residuos se lleva a cabo con las siguientes garantías:

- Los combustibles alternativos provienen de gestores autorizados y sólo son aceptados tras un control de su composición y una verificación de su aptitud para ser valorizados en la planta cementera.

- Durante su valorización, tanto los parámetros que aseguran la adecuada combustión, como las emisiones del proceso, son controladas, verificando que se adecuan a las condiciones establecidas por las autoridades competentes. Estas condiciones se han detallado recientemente en la Directiva 2000/76/CE, y en el Real Decreto 256/2003, aplicable a todas las industrias donde se realiza combustión de residuos y son mucho más estrictas que las habituales de funcionamiento.

La industria cementera considera que los acuerdos sectoriales son un instrumento adecuado para abordar materias de interés común para las empresas y las organizaciones sindicales que representan a los trabajadores. Asimismo, considera que el gran potencial existente para la utilización de residuos en sus procesos productivos debe basarse en el absoluto respeto de la legislación ambiental aplicable, garantizándose que no se perjudica en modo alguno el comportamiento ambiental de las fábricas, la salud y la calidad de los productos derivados del cemento.

Como muestra de que el progreso económico y social es compatible con el respeto al medio ambiente y a los recursos naturales y con la garantía de la salud de los trabajadores para una mejora de la calidad de vida, tanto para las generaciones presentes como para las futuras, la industria cementera andaluza firmó con sus organizaciones sindicales, el 1 de abril de 2002, el Acuerdo de la Mesa Sectorial para la Valorización Energética en la Industria Andaluza del Cemento y en Castilla La Mancha se firmó un acuerdo análogo en Toledo el 28 de julio de 2003.

ANEXO 2: FICHA DE SEGURIDAD DEL CEMENTO

INFORMACIÓN SOBRE SUS COMPONENTES

El cemento está compuesto de clinker y otros componentes en distintas proporciones en masa, según la norma UNE – EN 197 – 1: 2000.

Componentes:

- Clinker: está compuesto principalmente de silicato, aluminato y ferrito – aluminato de calcio, pequeñas cantidades de cal libre, óxido de magnesio, sulfato de sodio, potasio y calcio.
- Puzolana.
- Cenizas volantes silíceas.
- Escoria siderúrgica.
- Caliza
- Sulfato de calcio: en forma de yeso.

IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación de preparado:

Irritante (Xi)

PRINCIPALES PELIGROS PARA LA SALUD HUMANA

- Contacto cutáneo:

Cemento seco: puede provocar sequedad de la piel seguida de leve irritación.

Cemento en contacto con piel húmeda o cemento mezclado con agua: puede provocar efectos cutáneos más severos como agrietamiento de la piel. Una exposición más prolongada puede ocasionar efectos más severos en forma de quemaduras cáusticas debido a su pH elevado.

- Contacto ocular:

Cemento seco en poca cantidad: puede causar una leve irritación en los ojos.

Cemento seco en gran cantidad o proyecciones de cemento mezclado con agua: pueden causar efectos que van desde una moderada irritación de los ojos hasta quemaduras cáusticas.

- Inhalación:

La inhalación de polvo de cemento más allá de los límites de exposición ambiental permisibles puede provocar la irritación de las vías respiratorias.

- Ingestión:

La ingestión de este producto es poco probable a menos que se trate de un acto deliberado.

Pequeñas ingestas de polvo no son dañinas pero en cantidades significativas, pueden ocasionar dolores abdominales y/o irritación el tracto digestivo.

PRINCIPALES PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE

El cemento no presenta riesgo particular para el medio ambiente, siempre que se respeten las recomendaciones de los siguientes puntos.

PRIMEROS AUXILIOS

- Inhalación:

Si una persona presenta trastornos por la inhalación de grandes cantidades de cemento, se le trasladará inmediatamente a un lugar al aire libre. En caso de paro respiratorio emplear el método de reanimación cardiopulmonar (RCP). Mantener al paciente abrigado y acostado.

Conseguir atención médica tan pronto como sea posible.

- Contacto cutáneo:

Si el contacto con el polvo de cemento o cemento mezclado con agua produce irritaciones, lavar con agua abundante la parte afectada y si persiste la irritación consultar al médico.

- Contacto ocular:

Si el cemento o el cemento mezclado con agua, entra en los ojos, evitar la compresión y la introducción de instrumentos para eliminarlo. Lavar los ojos con abundante cantidad de agua y solicitar asistencia médica.

No deben usarse lentes de contacto cuando se trabaje con este producto de no ser que se utilice protección adecuada.

- Ingestión:

No inducir al vómito y procurar asistencia médica. Si la persona está consciente darle a beber gran cantidad de agua. Buscar inmediatamente ayuda médica.

MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

El cemento no es inflamable.

El cemento, en caso de incendio, no limita el uso de agentes de extinción.

MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

- Precauciones personales:

- Evitar todo contacto con los ojos.

- Evitar el contacto con la piel.

- Evitar respirar el polvo.

- En caso de atmósfera de polvo de cemento utilizar una mascarilla antipolvo homologada.

- Manipular el producto con guantes impermeables.

- Precauciones para la protección del medio ambiente:

- No verter cemento en alcantarillas y en las aguas superficiales.

MÉTODOS DE LIMPIEZA

No limpiar el cemento barriendo ni soplando, utilizar un método apropiado para evitar levantar polvo. Después de fraguado, el cemento puede ser retirado como un residuo inerte. El cemento mezclado con agua tarda en endurecer entre 30 y 90 minutos.

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Manipulación:

- El suministro de este material se realiza a granel en cubas que posteriormente se descargan en silos cerrados o bien en sacos de papel o big bags.

- Los silos para descarga de las cubas deberán estar provistos de un sistema de filtración del aire de escape.

- En los locales donde se manipule el producto se deberá garantizar una buena ventilación.

- Evitar nubes de polvo durante la manipulación. Si no es así llevar gafas y mascarilla antipolvo homologadas.

- Evitar el contacto directo del cemento con la piel y las mucosas.

- Observar una higiene personal adecuada.
- No comer durante la manipulación del producto.
- Almacenamiento:

No es necesario tener ninguna precaución especial en el almacenamiento salvo el proteger los sacos de papel de la humedad para evitar su rotura y los consiguientes derrames del producto.

Mantener fuera del alcance de los niños.

CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN

- Valores límites de la exposición:

Los límites de exposición profesional actual para el cemento vienen dados por los Valores Límites Ambientales de Exposición Diaria según R. D. 374/2001, 6 de abril:

VLA/ED (8 horas) = 10 mg /m³

- Controles de la exposición profesional:

- Protección respiratoria:

En caso de presencia de polvo de cemento en el aire usar mascarilla específica para partículas.

- Protección cutánea:

Llevar guantes impermeables, para uso en mezclas acuosas.

Llevar la indumentaria adecuada adaptada al tipo de trabajo y proteger la piel de proyecciones de pasta de cemento húmeda.

Cuando se tenga que trabajar arrodillado se recomienda rodilleras impermeables.

- Protección de los ojos:

Llevar gafas de protección homologadas en caso de riesgo de polvo o de proyección de pasta sobre los ojos.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- Información general:

Aspecto: polvo gris o blanco.

Olor: inodoro.

- Información importante en relación con la salud, la seguridad y el medio ambiente:

pH en solución acuosa: básico entre 11 y 13.5

Temperatura de fusión: > 1000 °C

Densidad absoluta: de 2.8 a 3.2 g/cm³ a 20 °C

Densidad aparente: de 0.9 a 1.2 g/ cm³ a 20 °C

Solubilidad en agua: 1.5 g/l a 20 °C

Temperatura de inflamación: no aplicable

Granulometría: del orden de 20 a 30 % de finos <a 5 μ .

- Estabilidad y reactividad:

Estabilidad: el producto es estable.

- Condiciones que deben evitarse:

La humedad puede provocar el fraguado del cemento.

- Información toxicológica:

- Inhalación:

El cemento puede provocar irritación de las vías respiratorias.

El cemento puede provocar irritación de la mucosa nasal. En casos extremos se ha observado una erosión de la mucosa.

- Ingestión:

En caso de ingestión significativa, el cemento puede causar la irritación del tracto digestivo y provocar dolores abdominales.

- Contacto con la piel:

El cemento puede irritar la piel por tener sus soluciones acuosas un pH elevado e incluso puede llegar a provocar quemaduras cáusticas en exposiciones significativas.

- Contacto con los ojos:

Si entra cemento en los ojos puede producir conjuntivitis, irritación de los párpados (blefaritis) y provocar lesiones de los globos oculares.

- Patología crónica cutánea:

En caso de contacto prolongado sin protección, pueden aparecer lesiones como dermatitis fisurativas, ulceraciones, hiperqueratosis, generalmente en los dedos.

INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- Ecotoxicidad:

En caso de derrame accidental de cemento en el agua se puede producir una débil subida de su pH. El cemento fraguado es un material estable que fija sus compuestos y los hace insolubles.

- Movilidad: ninguna.

- Persistencia y degradabilidad: ninguna.

- Potencial de bioacumulación: ninguno.

- Otros efectos nocivos: ninguno.

CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

El cemento puede ser eliminado como otros residuos de construcción y almacenado respetando la reglamentación en vigor.

INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Mercancía no peligrosa según la reglamentación de transporte.

INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Símbolo de peligro: Xi (irritante)

Componentes principales: cemento.

Frases R:

- R 36/37/38: irrita los ojos, las vías respiratorias y la piel.

FraseS S:

- S2: manténgase fuera del alcance de los niños.

- S24/25: evítese el contacto con los ojos y la piel.

- S26: en caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.

- S37/39: úsense guantes adecuados y protección de para los ojos/la cara.

ANEXO 3:

PFC1

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA FÁBRICA
DE CEMENTO PORTLAND PARA LA OBTENCIÓN DE
1.000.000 DE TM AL AÑO**

Alicia Carneado Moreno

Enero 2009

1. ÍNDICE:

1. ÍNDICE.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. HISTORIA.....	2
4. TIPOS DE CEMENTOS.....	6
4.1. El cemento portland.....	6
4.2. Cementos portland especiales.....	7
4.3. Portland férrico.....	7
4.4. Cementos blancos.....	7
4.5. Cementos de mezclas.....	7
4.6. Cemento puzolánico.....	7
4.7. Cemento siderúrgico.....	8
4.8. Cemento de fraguado rápido.....	8
4.9. Cemento aluminoso.....	9
5. PROCESO DE FABRICACIÓN.....	10
6. ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO.....	16
7. EL CEMENTO Y EL MEDIO AMBIENTE.....	17
8. NORMATIVA.....	24
9. BIBLIOGRAFIA.....	29
10. DIAGRAMA DE GANTT.....	30

2. INTRODUCCIÓN

Se denomina cemento a un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido, fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétrea, denominado hormigón. Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil, siendo su principal función la de aglutinante.

3. HISTORIA

La historia del cemento es la historia del hombre y de su búsqueda de un espacio para vivir con la máxima seguridad, protección y comodidad. Desde sus inicios y hasta la actualidad, los avances técnicos han transformado a este material en un elemento indispensable para el desarrollo social y la mejora de la calidad de vida de las personas.

Desde los inicios de la humanidad, la evolución de la actividad constructiva ha estado íntimamente ligada al conocimiento y al uso de los materiales, originalmente en su estado natural, y posteriormente en un estado más elaborado. Las primeras construcciones se limitaban a simples cerramientos y cubiertas, creando zonas protegidas del exterior mediante el empleo de materiales naturales, vegetales y minerales como únicos elementos de las estructuras. Más adelante se hizo uso de minerales con características hidráulicas -como el yeso y la cal- conocidos por el nombre de cementos (del latín *cementum*), consiguiendo así la unión de elementos primarios.

Los cementos se han utilizado históricamente, como mínimo desde hace 8.000 años, para hacer:

- **pastas de cemento** (cemento + agua)
- **morteros** (cemento + agua + arena)
- **hormigones** (cemento + agua + arena + áridos)

El cemento Portland (tal como lo conocemos hoy en día) es un ligante hidráulico inventado en el siglo XVIII y obtenido de la molienda conjunta de clinker portland (producto procedente de la calcinación a altas temperaturas de piedra caliza), yeso y ciertas adiciones.

Las edades del cemento

Prehistoria

Hace 8.000 años, la mezcla de cemento con agua, arena y áridos dio como resultado un nuevo material que se podía moldear fácilmente y que, cuando endurecía, adquiría características de solidez, resistencia y durabilidad notables. Este nuevo material fue el origen del hormigón.

Según fuentes históricas, la construcción más antigua realizada en hormigón es el suelo de una cabaña en Lepensky Vir (Yugoslavia), datada en el año 5.600 a.C.

Edad Antigua

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero (mezcla de arena con materia cementosa) para unir bloques de piedra y levantar sus prodigiosas construcciones. Parte de una de las pirámides de Gizeh (2.600 a.C.) fue levantada con hormigón, y en el mural de Tebas (1.950 a.C.) se conservan escenas de hombres fabricando hormigón y aplicándolo en una obra.



Figura 1. Pirámides de Gizeh.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos materiales procedentes de depósitos volcánicos, mezclados con caliza, arena y agua, producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua dulce y salada. La civilización romana utilizaba el hormigón en la construcción de grandes edificios, y también en la red de agua potable y en la evacuación de aguas residuales.

Entre otros ejemplos romanos de utilización de hormigones, se pueden destacar los siguientes:

- El anfiteatro de Pompeya, construido en el año 75 a.C., muestra anillos de hormigón en su perímetro.

- El Coliseo de Roma, construido en el año 82 d.C., contiene hormigón en los cimientos, los muros interiores y la estructura.



Figura 2. Coliseo de Roma.

- El Panteón de Roma, construido en el año 127 d.C., donde se utilizó un hormigón aligerado para construir la cúpula, de 50 m de diámetro.

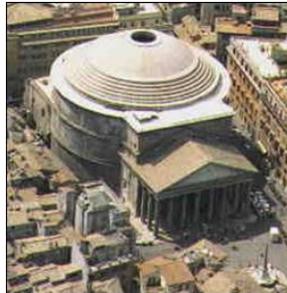


Figura 3. Panteón de Roma.

- En diversas canalizaciones de agua, con numerosos ejemplos.



Figura 4. Canalizaciones de agua.

Hormigón medieval

Después del gran papel del hormigón en las construcciones del Imperio Romano, no se encuentran muestras de su uso hasta el año 1.200, en que se vuelve a utilizar para la construcción de grandes obras como la Catedral de Salisbury en Inglaterra, cuyos cimientos están hechos de hormigón.



Figura 5. *Catedral de Salisbury.*

Cemento Portland

A partir de mediados del siglo XVIII, se empezaron a realizar una serie de investigaciones relacionadas con el cemento y el hormigón. Así, en 1.759, John Smeaton, un ingeniero de Leeds, en el Reino Unido, desarrolló un nuevo mortero para unir los bloques de piedra del faro de Eddystone. Al cabo de pocos años, el reverendo James Parker creó un nuevo cemento de manera accidental al quemar unas piedras calizas. Este nuevo cemento, denominado cemento romano porque se pensaba que era el que se había utilizado en la época romana, se patentó y se empezó a utilizar en diversas obras en el Reino Unido.

En 1.824, James Parker y Joseph Aspdin patentaron un nuevo cemento hidráulico artificial, fabricado por la combustión conjunta de caliza y carbón, que denominaron Portland Cement por su color oscuro, similar a la piedra de la isla de Portland. En sus inicios este material no fue demasiado empleado, a causa de su complejo procedimiento de fabricación, que encarecía su producción.

Hacia finales del siglo XIX, el proceso de industrialización y la introducción de hornos rotatorios propiciaron la extensión de su uso para todo tipo de aplicaciones. Actualmente, y a pesar de todas las mejoras técnicas introducidas, el cemento Portland continua siendo, en esencia, muy similar al primero que se patentó, aunque su impacto y prestaciones han mejorado muy significativamente.



Figura 6. *Construcción pública de cemento Portland.*

Época actual

Hoy en día, los hormigones fabricados con cemento portland admiten múltiples posibilidades de aplicación. La diversidad de características pone al alcance de la sociedad un amplio abanico de modalidades para escoger. Todas las modalidades de hormigones han demostrado a lo largo del tiempo sus excelentes propiedades y su elevado grado de durabilidad y resistencia, lo que se puede constatar en las grandes edificaciones, las obras públicas o los conjuntos artísticos (como esculturas), muestra de la funcionalidad y el buen comportamiento de todo un clásico actual.

4. TIPOS DE CEMENTO

Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos:

- De **origen arcilloso**: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente;
- De **origen puzolánico**: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente. Puesto que la composición química de los cementos es compleja, se utilizan terminologías específicas para definir las composiciones.

4.1. El cemento portland

El tipo de cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto es el cemento portland.

Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su *resistencia característica*.

Con el agregado de materiales particulares al cemento (calcáreo o cal) se obtiene el *cemento plástico*, que fragua más rápidamente y es más fácilmente trabajable. Este material es usado en particular para el revestimiento externo de edificios.

4.2. Cementos portland especiales

Los *cementos portland especiales* son los cementos que se obtienen de la misma forma que el portland, pero que tienen características diferentes a causa de variaciones en el porcentaje de los componentes que lo forman.

4.3. Portland férrico

El *portland férrico* está caracterizado por un *módulo de fundentes* de 0,64. Esto significa que este cemento es muy rico en hierro. En efecto se obtiene introduciendo cenizas de pirita o minerales de hierro en polvo. Este tipo de composición comporta por lo tanto, además de una mayor presencia de Fe_2O_3 , una menor presencia de $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ cuya hidratación es la que desarrolla más calor. Por este motivo estos cementos son particularmente apropiados para ser utilizados en climas cálidos. Los mejores cementos férricos son los que tienen un *módulo calcáreo* bajo, en efecto estos contienen una menor cantidad de 3CaOSiO_2 , cuya hidratación produce la mayor cantidad de cal libre (Ca(OH)_2). Puesto que la cal libre es el componente mayormente atacable por las aguas agresivas, estos cementos, conteniendo una menor cantidad, son más resistentes a las aguas agresivas.

4.4. Cementos blancos

Contrariamente a los cementos férricos, los *cementos blancos* tienen un módulo de fundentes muy alto, aproximadamente 10. Estos contienen por lo tanto un porcentaje bajísimo de Fe_2O_3 . El color blanco es debido a la falta del hierro que le da una tonalidad grisácea al Portland normal y un gris más oscuro al cemento férrico. La reducción del Fe_2O_3 es compensada con el agregado de fluorita (CaF_2) y de criolita (Na_3AlF_6), necesarios en la fase de fabricación en el horno para bajar la calidad del tipo de cemento, que hoy en día hay 4, que son: tipo I 62,5, tipo II 52,5, tipo III 42,5 y tipo IV 32,5; también llamado pavi) se le suele añadir una adición extra de caliza que se le llama clinkerita para rebajar el tipo, ya que normalmente el clinker molido con yeso sería tipo I.

4.5. Cementos de mezclas

Los cementos de mezclas se obtienen agregando al cemento Portland normal otros componentes como la *puzolana*. El agregado de estos componentes le da a estos cementos nuevas características que lo diferencian del Portland normal.

4.6. Cemento puzolánico

Se denomina *puzolana* a una fina ceniza volcánica que se extiende principalmente en la región del Lazio y la Campania, su nombre deriva de la localidad de Pozzuoli, en las proximidades de Nápoles, en las faldas del Vesubio. Posteriormente se ha generalizado a las cenizas volcánicas en otros lugares. Ya Vitrubio describía cuatro tipos de puzolana: negra, blanca, gris y roja.

Mezclada con cal (en la relación de 2 a 1) se comporta como el cemento puzolánico, y permite la preparación de una buena mezcla en grado de fraguar incluso bajo agua.

Esta propiedad permite el empleo innovador del hormigón, como ya habían entendido los romanos: El antiguo puerto de Cosa fue construido con puzolana mezclada con cal apenas antes de su uso y colada bajo agua, probablemente utilizando un tubo, para depositarla en el fondo sin que se diluya en el agua de mar. Los tres muelles son visibles todavía, con la parte sumergida en buenas condiciones después de 2100 años.

La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, al ser muy porosa y puede obtenerse a bajo precio. Un cemento puzolánico contiene aproximadamente:

55-70% de clinker Portland

30-45% de puzolana

2-4% de yeso

Puesto que la puzolana se combina con la cal (Ca(OH)_2), se tendrá una menor cantidad de esta última. Pero justamente porque la cal es el componente que es atacado por las aguas agresivas, el cemento puzolánico será más resistente al ataque de éstas. Por otro lado, como el $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ está presente solamente en el componente constituido por el clinker Portland, la colada de cemento puzolánico desarrollará un menor calor de reacción durante el fraguado. Este cemento es por lo tanto adecuado para ser usado en climas particularmente calurosos o para coladas de grandes dimensiones.

4.7. Cemento siderúrgico

La puzolana ha sido sustituida en muchos casos por la ceniza de carbón proveniente de las centrales termoeléctricas, escoria de fundiciones o residuos obtenidos calentando el cuarzo. Estos componentes son introducidos entre el 35 hasta el 80%. El porcentaje de estos materiales puede ser particularmente elevado, siendo que se origina a partir de silicatos, es un material potencialmente hidráulico. Esta debe sin embargo ser activada en un ambiente alcalino, es decir en presencia de iones OH^- . Es por este motivo que debe estar presente por lo menos un 20 % de cemento Portland normal. Por los mismos motivos que el cemento puzolánico, el cemento siderúrgico también tiene buena resistencia a las aguas agresivas y desarrolla menos calor durante el fraguado. Otra característica de estos cementos es su elevada alcalinidad natural, que lo rinde particularmente resistente a la corrosión atmosférica causada por los sulfatos.

4.8. Cemento de fraguado rápido

El *cemento de fraguado rápido*, también conocido como "cemento romano ó prompt natural", se caracteriza por iniciar el fraguado a los pocos minutos de su preparación con agua. Se produce en forma similar al cemento Portland, pero con el horno a una temperatura menor (1.000 a 1.200 °C). Es apropiado para

trabajos menores, de fijaciones y reparaciones, no es apropiado para grandes obras porque no se dispondría del tiempo para efectuar una buena colada. Aunque se puede iniciar el fraguado controlado mediante retardantes naturales (E-330) como el ácido cítrico, pero aun así si inicia el fraguado aprox. a los 15 minutos (temperatura a 20°C). La ventaja es que al pasar aprox. 180 minutos de iniciado del fraguado, se consigue una resistencia muy alta a la compresión (entre 8 a 10 MPa), por lo que se obtiene gran prestación para trabajos de intervención rápida y definitivos. Hay cementos rápidos que pasados 10 años, obtienen resistencia a la compresión superior algunos hormigones armados (pasan en la gráfica de 60 MPa).

4.9. Cemento aluminoso

El *cemento aluminoso* se produce a partir principalmente de la bauxita con impurezas de óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de titanio (TiO_2) y óxido de silicio (SiO_2). Adicionalmente se agrega calcáreo o bien carbonato de calcio. El cemento aluminoso, también es llamado «cemento fundido», porque la temperatura del horno alcanza hasta los 1.600°C y se alcanza la fusión de los componentes. El cemento fundido es colado en moldes para formar lingotes que serán enfriados y finalmente molidos para obtener el producto final.

El cemento aluminoso tiene la siguiente composición de óxidos:

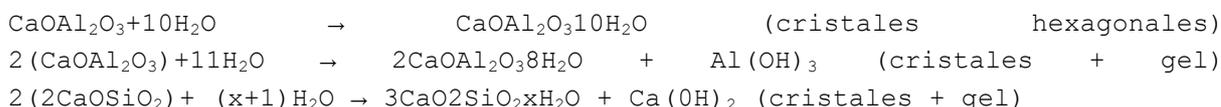
- 35-40% óxido de calcio
- 40-50% óxido de aluminio
- 5% óxido de silicio
- 5-10% óxido de hierro
- 1% óxido de titanio

Por lo que se refiere a sus reales componentes se tiene:

- 60-70% CaOAl_2O_3
- 10-15% 2CaOSiO_2
- $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$
- $2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$

Por lo que se refiere al óxido de silicio, su presencia como impureza tiene que ser menor al 6 %, porque el componente al que da origen, es decir el ($2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$) tiene pocas propiedades hidrófilas (poca absorción de agua).

Reacciones de hidratación:



Mientras el cemento Portland es un cemento de naturaleza básica, gracias a la presencia de cal Ca(OH)_2 , el cemento aluminoso es de naturaleza sustancialmente neutra. La presencia del hidróxido de aluminio Al(OH)_3 , que en este caso se comporta como ácido, provoca la neutralización de los dos componentes y da como resultado un cemento neutro.

El cemento aluminoso debe utilizarse con temperaturas inferiores a los 30°C , por lo tanto en climas fríos. En efecto, si la temperatura fuera superior, la segunda reacción de hidratación cambiaría y se tendría la formación de $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (cristales cúbicos) y una mayor producción de Al(OH)_3 , lo que llevaría a un aumento del volumen y podría causar fisuras, por lo tanto, el cemento portland es el mejor.

5. PROCESO DE FABRICACIÓN

La fabricación del cemento es una actividad industrial de procesamiento de minerales que se divide en tres etapas básicas:

- Obtención de materias primas
- Molienda y cocción de materias primas
- Molienda de cemento

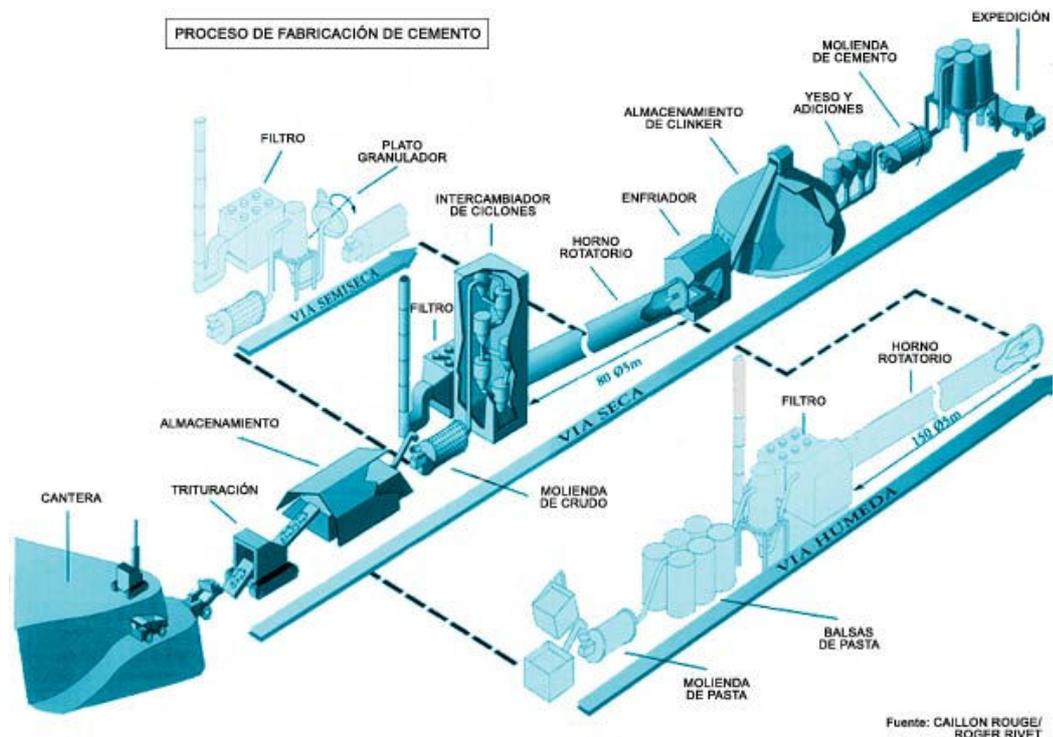


Figura 7. Proceso de fabricación del cemento.

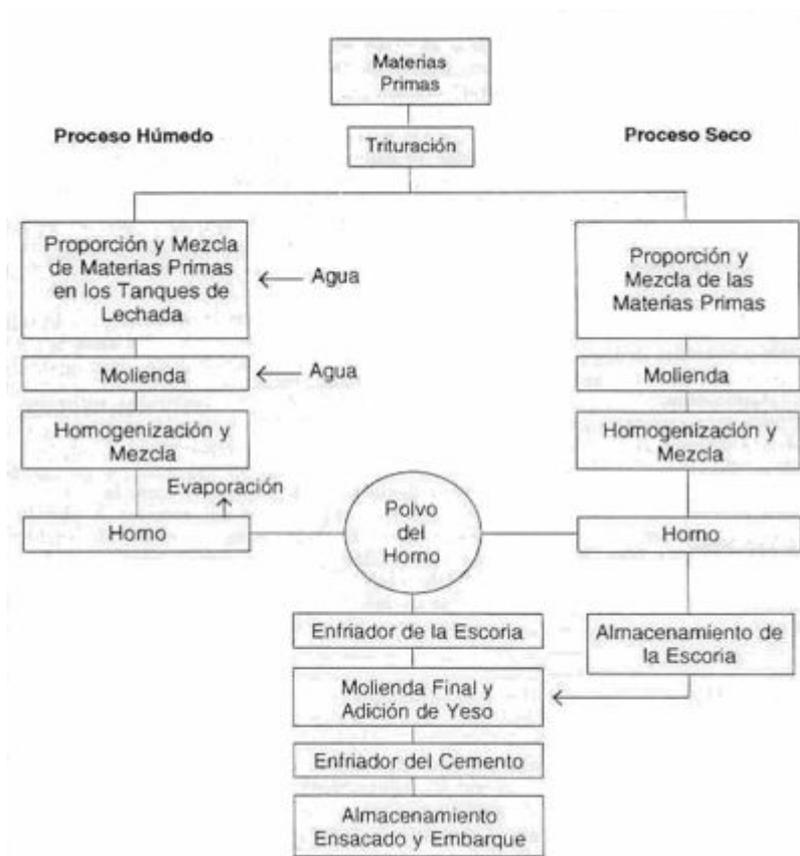


Figura 8. Esquema básico del proceso de fabricación del cemento.

Obtención y preparación de materias primas

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada de óxidos metálicos para la producción de clínker.

El clínker se compone de los siguientes óxidos (datos en %):

- Óxido de calcio "cal" (CaO)
- Óxido de Silicio "sílice"
- Óxido de Aluminio "alúmina" (Al₂O₃)
- Óxido de Hierro (Fe₂O₃)

La obtención de la proporción adecuada de los distintos óxidos se realiza mediante la dosificación de los minerales de partida:

- Caliza y margas para el aporte de CaO.
- Arcilla y pizarras para el aporte del resto óxidos.

Las materias primas son transportadas a la fábrica de cemento donde se descargan para su almacenamiento.

La prehomogenización realizada mediante diseños adecuados del apilamiento y la extracción de los materiales en los almacenamientos reduce la variabilidad de los mismos.

Los estudios de composición de los materiales en las distintas zonas de cantera y los análisis que se realizan en fábrica permiten dosificar la mezcla de materias primas para obtener la composición deseada.



Figura 9. Fases del cemento.

Molienda y cocción de materias primas

La finalidad de la molienda es reducir el tamaño de las partículas de materias para que las reacciones químicas de cocción en el horno puedan realizarse de forma adecuada.

La molienda de materias primas (molienda de crudo) se realiza en equipos mecánicos rotatorios, en los que la mezcla dosificada de materias primas es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas.

El material obtenido debe ser homogeneizado para garantizar la calidad del clínter y la correcta operación del horno.

En la actualidad, en torno al 78 % de la producción de cemento de Europa se realiza en hornos de vía semi-seca o semi-húmeda; y un 6 % de la producción europea se realiza mediante vía húmeda.

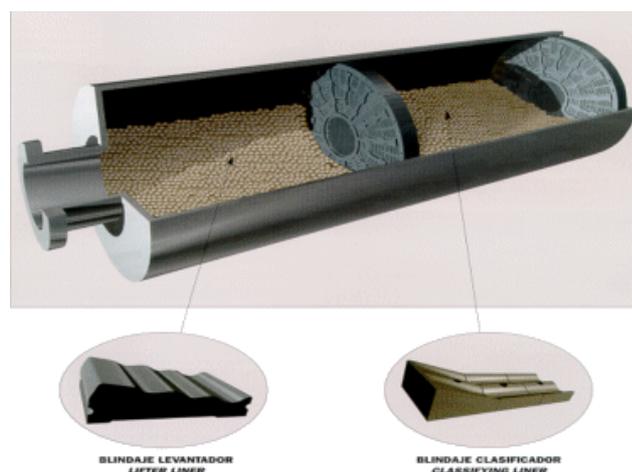


Figura 10. Molienda.

Procesos de fabricación del clínker:

1. Vía Seca
2. Vía húmeda
3. Vía semi-seca
4. Vía semi-húmeda

1. Proceso de vía seca

La materia prima es introducida en el horno en forma seca y pulverulenta.

El sistema del horno comprende una torre de ciclones para intercambio de calor en la que se precalienta el material en contacto con los gases provenientes del horno.

El proceso de descarbonatación de la caliza (calcinación) puede estar casi completado antes de la entrada del material en el horno si se instala una cámara de combustión a la que se añade parte del combustible (precalcinador).

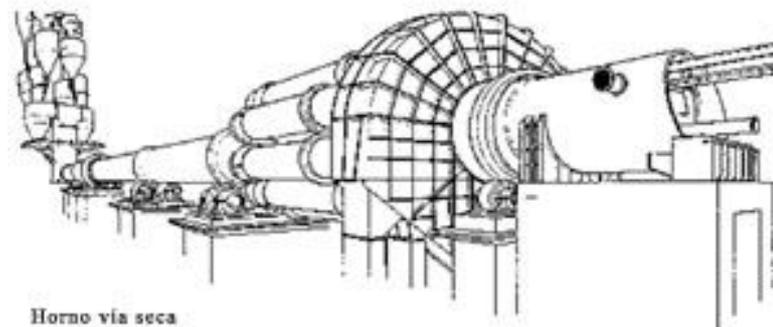


Figura 11. Horno de vía seca.

2. Proceso de vía húmeda

Este proceso es utilizado normalmente para materias primas de alto contenido en humedad.

El material de alimentación se prepara mediante molienda conjunta del mismo con agua, resultando una pasta con contenido de agua de un 30-40 % que es alimentada en el extremo más elevado del horno de clínker.

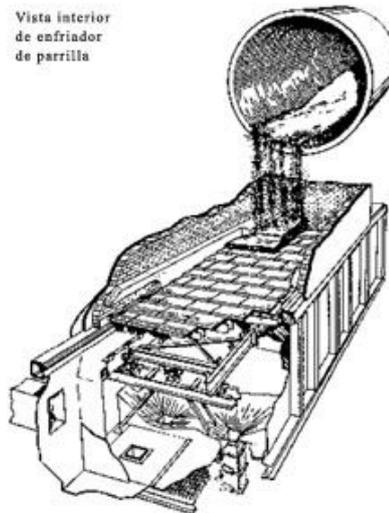


Figura 12. *Enfriador de parrilla.*

3 y 4. Procesos de vía semi-seca y semi-húmeda

El material de alimentación se consigue añadiendo o eliminando agua respectivamente, al material obtenido en la molienda de crudo.

Se obtienen "pellets" o gránulos con un 15-20 % de humedad que son depositados en parrillas móviles a través de las cuales se hacen circular gases calientes provenientes del horno. Cuando el material alcanza la entrada del horno, el agua se ha evaporado y la cocción ha comenzado.

En todos los casos, el material procesado en el horno rotatorio alcanza una temperatura entorno a los 1450°. Es enfriado bruscamente al abandonar el horno en enfriadores planetarios o de parrillas obteniéndose de esta forma el clínker.



Figura 13. *Clínker.*

Molienda de cemento

El proceso de fabricación de cemento termina con la molienda conjunta de clínker, yeso y otros materiales denominados "adiciones".

Los materiales utilizables, que están normalizados como adiciones, son entre otros:

- Escorias de horno alto
- Humo de sílice
- Puzolanas naturales
- Cenizas volantes
- Caliza

En función de la composición, la resistencia y otras características adicionales, el cemento es clasificado en distintos tipos y clases.

La molienda de cemento se realiza en equipos mecánicos en las que la mezcla de materiales es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas.

Para ello se utilizan los siguientes equipos:

- Prensa de rodillos
- Molinos verticales de rodillos
- Molinos de bolas
- Molinos horizontales de rodillos

6. ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO

El cemento es una sustancia particularmente sensible a la acción del agua y de la humedad, por lo tanto para salvaguardar sus propiedades, se deben tener algunas precauciones muy importantes, entre otras: Inmediatamente después de que el cemento se reciba en el área de las obras, si es cemento a granel, deberá almacenarse en depósitos secos, diseñados a prueba de agua, adecuadamente ventilados y con instalaciones apropiadas para evitar la absorción de humedad.

Si es cemento en sacos, deberá almacenarse sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses. Para evitar que el cemento envejezca indebidamente, después de llegar al área de las obras, el contratista deberá utilizarlo en la misma secuencia cronológica de su llegada. No se utilizará bolsa alguna de cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en el área de las obras, salvo que nuevos ensayos demuestren que está en condiciones satisfactorias.



Figura 14. Silos de cemento.

7. EL CEMENTO Y EL MEDIO AMBIENTE

La industria del cemento, consciente del impacto de la actividad industrial sobre su entorno, se esfuerza desde hace años en evitar, reducir o atenuar estos efectos. La actitud de respetar y proteger el medio ambiente alrededor de los centros de producción de cemento es una misión firmemente implantada en el sector, pero además de estas estrategias de prevención, se llevan a cabo numerosas iniciativas de carácter proactivo, con el objetivo de generar beneficios medioambientales, como las estrategias de valorización.

El cemento es un producto básico para el desarrollo de la sociedad, dado que permite la construcción de viviendas y de infraestructuras. Su fabricación representa un empleo para muchas personas, y su consumo es uno de los principales indicadores económicos de un territorio. No obstante, su producción, como cualquier actividad industrial, tiene una serie de efectos sobre el entorno, cuya minimización es prioritaria para el sector.

La fabricación de cemento se inicia con la obtención de materias primas para la producción de clínker. Para llevar a cabo este proceso es necesaria la explotación de canteras, cuyos efectos se relacionan con la ocupación de espacios (impacto visual) y con las actividades que se realizan durante la explotación (voladuras, trituración y transporte).

La primera medida a emprender es la minimización de la extracción mediante la valorización de residuos, ya sea como materias primas o como adiciones. De este modo, se mantiene la productividad sustituyendo parte de los materiales extraídos de las canteras por materiales reciclados.

La restauración de canteras permite rehabilitar los terrenos alterados por una intervención o explotación, recuperando el equilibrio ecológico y mejorando los ecosistemas de las zonas de extracción de la piedra. De esta manera se puede compatibilizar la actividad del sector con el imprescindible respeto por el paisaje y el entorno visual.

Las principales actuaciones para la minimización de los efectos de la actividad extractiva son:

- Restauración integrada en las zonas de extracción, mediante la adecuación del terreno que va quedando fuera de la explotación y la introducción progresiva de especies vegetales autóctonas que faciliten su integración en la zona. Con ello, se consigue una recuperación de las zonas mucho más rápida que con las restauraciones clásicas, ya que se inicia antes de que finalice totalmente la actividad extractiva en el conjunto de la cantera.
- Control de las voladuras, analizando rigurosamente la ubicación de los barrenos para no dañar los estratos rocosos y protegiendo el entorno de la caída de fragmentos y las emisiones de partículas.
- Cuando la distancia lo permite, transporte mediante cintas cubiertas hasta las fábricas para evitar las emisiones de polvo.

Las transformaciones mineralógicas y físicas inherentes al proceso productivo del cemento requieren gran cantidad de combustible y energía eléctrica para llevarse a cabo. La obtención del clínker requiere el calentamiento de las materias primas a temperaturas muy altas, por lo que la fabricación de cemento constituye un proceso industrial en el que los costes energéticos totales representan casi el 40% de los gastos de fabricación. Este hecho ha propiciado la optimización de los procesos y las instalaciones de las plantas, con el propósito de maximizar su eficacia y rentabilidad en términos energéticos. El planteamiento estratégico es el siguiente:

- Conseguir la reducción del consumo energético necesario para el proceso de producción del cemento, a través de:
 1. La mejora energética de los equipos de producción
 2. El potenciamento de los cementos con adiciones
 3. La búsqueda de fuentes energéticas de menor coste
- Intensificación del uso de residuos como sustitutos de determinadas materias primas y como combustibles alternativos
- Conseguir la adaptación al nuevo marco de liberalización energética de la Unión Europea
- Defensa de la industria cementera en el mercado internacional, frente a la posibilidad de un incremento de los costes energéticos

Desde hace ya unos cuantos años, muchas empresas cementeras de los países más desarrollados aprovechan residuos con contenido energético, derivados de otras actividades industriales, como combustible alternativo para la fabricación de clínker. De este modo se sustituye una parte del combustible convencional consumido en los hornos. Estas prácticas se llevan a cabo con unas condiciones de seguridad que garantizan la estricta calidad de los cementos fabricados, sin que se vea afectada la seguridad de los trabajadores y comunidades de vecinos de las fábricas ni, por supuesto, el equilibrio del entorno.

Las ventajas del uso de combustibles alternativos son claras:

- Ahorro de combustibles fósiles, no renovables (carbón y derivados del petróleo).
- Tratamiento ecológico y seguro de los residuos, aprovechando su energía sin generar impactos añadidos sobre el entorno:
 - Se eliminan los compuestos orgánicos, inhibiendo la formación de otros contaminantes como dioxinas y furanos, debido a la combinación de las altas temperaturas, con un largo tiempo de residencia de los gases y una atmósfera oxidante
 - Los metales pesados se fijan en el clínker quedando inertizados
 - En residuos con contenido en SOx o cloro, los gases ácidos generados son neutralizados y absorbidos por la cal y otros compuestos alcalinos presentes en el horno.

- Eliminación del vertido de estas sustancias.
- Disminución global de las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI).
- Flexibilización de la gestión económica, ya que permite volver al uso de los combustibles fósiles si disminuye la generación de residuos por parte de la sociedad.

El uso de combustibles alternativos en la fabricación de cemento es una práctica consolidada en países como Bélgica, Holanda, Suiza, Alemania o los países nórdicos desde hace más de 10 años. Actualmente, el uso de combustibles alternativos llega hasta el 90% en algunas fábricas.

Es esencial para el sector poder emplear estos materiales en cantidad suficiente y con la transferencia de derechos de emisión correspondiente, con el objetivo de reducir las emisiones globales sin disminuir el volumen de producción.

En algunas fábricas, las formas de biomasa que se utilizan como combustible alternativo son: restos de poda vegetal, posos de café, huesos de aceituna, orujo y/o cáscaras de arroz o almendra.

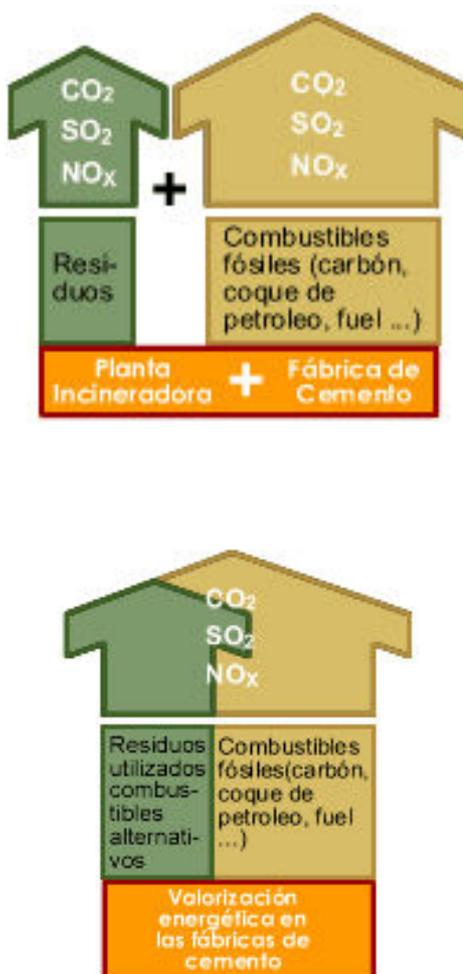


Figura 15. Formas de biomasa como combustible.

Parte de las actividades desarrolladas por las fábricas de cemento interaccionan directamente con la atmósfera terrestre, al emitir polvo y gases contaminantes; y de forma indirecta, mediante el consumo de energía que requiere el proceso y la extracción de materias primas.

La industria cementera, en el marco de sus actuaciones medioambientales, lleva a cabo desde hace años diversas iniciativas de prevención y control con el fin de reducir este impacto, colaborando activamente en la reducción de las emisiones de gases contaminantes, por un lado, y en la optimización de las técnicas de producción para reducir los consumos energéticos y de materias primas, por otra parte.

Desde los años '60 el sector europeo del cemento está reduciendo sus emisiones de CO₂ gracias a la adopción de nuevas tecnologías energéticas más eficaces, y al desarrollo de cementos con mayor contenido de adiciones principales, que sustituyen al clínker.

Actualmente, para la fabricación del cemento se utilizan subproductos industriales como la escoria de horno alto o las cenizas volantes de las centrales térmicas. El uso de estos componentes como adiciones para la fabricación de cementos permite reducir la cantidad de clínker que contienen los mismos, y, por consiguiente, se reduce la extracción de materias primas, el consumo de energía y las emisiones de polvo y gases a la atmósfera, sin disminuir las prestaciones del material.

Medidas de control de emisiones

- Minimización y control de emisiones de partículas:
 1. Emisiones de gases vehiculadas por chimeneas
 2. Emisiones generadas en otros lugares dispersos
- Verificación periódica del cumplimiento de los límites de emisiones, mediante controles reglamentarios y procedimientos de autocontrol
- Reducción de los niveles de inmisión (calidad del aire alrededor de las fábricas)
- Estudios medioambientales sobre los efectos de las emisiones
- Instalación de equipos de filtrado de última generación
- Mediciones continuas de NOx , SO2 y CO
- Mediciones de metales pesados y dioxinas

El sector de la construcción responde a las necesidades básicas de las personas: vivienda, protección, movilidad, interacción social, etc. No obstante, la construcción genera también un impacto ambiental significativo. El uso de cementos permite atender a la demanda de viviendas e infraestructuras, exigida para mantener el nivel de vida de que disfrutamos, minimizando su impacto sobre el entorno: es un material totalmente reciclable, y además, se elabora a partir del recurso natural más abundante del planeta, la piedra caliza, a través de un proceso optimizado.

Con el fin de atender la demanda de una forma sostenible y minimizar los impactos asociados a la fabricación de cemento, la industria lleva a cabo numerosas acciones de I+D+i encaminadas a mejorar las propiedades del cemento y optimizar su comportamiento:

- Cementos más resistentes y duraderos
- Cementos resistentes al agua de mar y demás elementos agresivos
- Cementos con cada vez mayores porcentajes de materias primas y adiciones procedentes del reciclaje

Las sociedades desarrolladas generan una gran cantidad de residuos, que necesitan una adecuada gestión. Esta problemática requiere, de este modo, una atención creciente por parte de la sociedad, debido a la necesidad de proteger el medio ambiente. En este sentido, los esfuerzos se centran en reducir al máximo la generación de residuos y buscar vías de aprovechamiento de aquellos que son inevitables, soluciones mucho más aconsejables desde el punto de vista técnico, ecológico y económico que su vertido o destrucción.

La industria del cemento, que produce cantidades mínimas de residuos derivados directamente del mantenimiento de las instalaciones, ha diseñado una serie de actuaciones encaminadas a optimizar su gestión y disminuir su impacto. Igualmente, las empresas ofrecen una vía para reciclar residuos procedentes de fuentes externas al proceso cementero.

El sector europeo del cemento, y el catalán en particular, figuran entre los más avanzados del mundo en la optimización y el rendimiento energético. En este sentido, se ha conseguido minimizar el consumo de energía térmica y eléctrica con importantes inversiones y la tecnología más avanzada, que incluye la reducción del consumo de combustibles a través de la valorización energética.

La industria cementera produce una cantidad muy poco significativa de residuos derivados directamente del mantenimiento de las instalaciones. En todo caso, el volumen de estas sustancias, potencialmente contaminantes, se reutiliza como materia prima.

En los últimos años, las fábricas de cemento han conseguido aumentar su producción al tiempo que disminuían la extracción de recursos naturales, de manera que, para producir una tonelada de cemento, ahora se necesita menos margas, menos piedra caliza y menos energía. Esto ha sido posible gracias al uso de adiciones, de las que una gran parte está constituida por residuos procedentes de otros procesos industriales, como la escoria de horno alto o cenizas volantes; escombros procedentes de la demolición de edificios, etc. Estos materiales contienen minerales empleados habitualmente en la fabricación de clínker: calcio, sílice, alúmina o hierro (entre otros), y son residuos, que, de

no ser reutilizados por las plantas cementeras, habría que eliminar por otra vía para proteger el medio ambiente.

La fabricación de cemento permite efectuar el reciclaje en dos momentos del proceso:

- Como materia prima de sustitución (materia prima secundaria): añadiendo los residuos en la preparación del crudo, antes de la fabricación del clínker en el horno. Los materiales más utilizados son: cenizas de pirita (con un alto contenido en hierro), lodos de papelera (carbonato cálcico), arenas de fundición (óxido silíceo), o residuos de demolición (de naturaleza cálcica o silícea).

- Como sustitutos del clínker (adiciones): incluyéndolos en la molienda de cemento y aprovechando su eventual capacidad para mejorar las propiedades del producto final (resistencia, durabilidad, manejabilidad, etc.). Las fábricas utilizan diversos tipos de residuos con propiedades hidráulicas como adiciones: cenizas volantes provenientes de centrales térmicas de carbón, escorias granuladas de horno alto, puzolanas industriales, yeso industrial...

La principal ventaja de estos procesos, técnicamente viables y ya contrastados, es que permiten ahorrar tanto en materias primas -y en consecuencia reducir el volumen de materiales extraídos de las canteras- como en el consumo energético y las emisiones de polvo y gases a la atmósfera, al permitir fabricar cemento con menos proporción de clínker sin disminuir la calidad ni las prestaciones del producto final. Por otra parte, evita la ocupación de vertederos y sus impactos asociados. No obstante, la utilización de adiciones no es ilimitada, ya que está regulada por los estándares de calidad del producto, recogidos en las normas UNE y UNE-EN.

La industria del cemento, consciente del impacto que ejerce sobre su entorno, se esfuerza desde hace años en evitar, reducir o atenuar estos efectos, tal como demuestra año tras año el incremento de las inversiones en instalaciones y tecnologías de carácter medioambiental. No se trata únicamente de cumplir la legislación, sino de avanzar a los retos del futuro en una clara apuesta por el desarrollo sostenible.

El cemento pórtland es un aliado esencial del desarrollo de nuestra sociedad, un elemento que se encuentra en el origen de la calidad de vida de que disfrutamos. Ha tenido un papel clave en hacer posibles muchos de los avances técnicos que se aplican actualmente a todo tipo de infraestructuras (obras públicas, viviendas). Estos avances están permitiendo llegar a un modelo de desarrollo que conduce al bienestar de las personas en armonía con la conservación de la naturaleza.

Las aportaciones clave del cemento (a través del hormigón, su derivado principal) se pueden agrupar en los siguientes ámbitos:

Mejora de la salud e higiene:

Es evidente la estrecha relación que existe entre salud y calidad de vida. No obstante, con frecuencia no se es consciente de la relación, también muy directa, entre la construcción y el mantenimiento y mejora de la salud e higiene.

Para garantizar la salud y la higiene de una población es indispensable controlar las aguas, que históricamente han sido foco de enfermedades y epidemias y, por

tanto, la causa de una elevada mortalidad y una baja esperanza de vida. En este sentido, la implantación de infraestructuras y procesos de control (depuración, tratamiento, etc.) de las aguas realizadas con hormigón han hecho posible los impresionantes avances del último siglo en la contención y el control de enfermedades y toxinas y, por consiguiente, en la mejora de la calidad y la esperanza de vida. A continuación se enumeran algunas de las áreas de actuación:

- Abastecimiento de agua potable: pozos, canales, conducciones, plantas desalinizadoras, plantas depuradoras, plantas de bombeo, depósitos.
- Recogida y tratamiento de aguas residuales: conducciones, alcantarillado, túneles, plantas de bombeo, plantas de tratamiento.
- Recogida, tratamiento y eliminación de residuos sólidos: infraestructuras de transporte, contenedores, plantas de tratamiento, plantas de clasificación y reciclaje, plantas incineradoras, vertederos.
- Construcción de instalaciones sanitarias: clínicas, hospitales, centros de investigación.

Protección y seguridad:

El medio ambiente puede ser peligroso para el hombre. La naturaleza se encuentra en cambio continuo y algunas de sus manifestaciones más violentas, como inundaciones, huracanes o terremotos, olas de frío o calor, etc., son fuertemente agresivas con las especies vivas. Por otra parte, la actividad del hombre tiene una continua incidencia sobre la naturaleza, que puede llegar también a ser muy agresiva con ella (accidentes en instalaciones industriales, vertidos químicos, explosiones, incendios, etc.).

Desde su descubrimiento, el cemento portland ha permitido el desarrollo de materiales y técnicas constructivas que ayudan a evitar o minimizar todos estos efectos, y que permiten la coexistencia de la actividad humana y el medio ambiente.

- Protección contra inundaciones: embalses, canalizaciones, galerías
- Protección costera: barreras, diques, escolleras
- Seguridad contra los terremotos: estructuras resistentes a efectos sísmicos
- Prevención de incendios: materiales ignífugos, estructuras resistentes al fuego
- Control de accidentes en instalaciones industriales: estructuras y barreras de protección, sarcófagos

Calidad de vida:

El primer principio de la declaración de Río afirma con claridad que "los seres humanos tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza". Esto sería inviable sin el concurso del cemento portland, el cual ha tenido un papel capital en el desarrollo y la mejora de la calidad de vida de las personas.

- Aumento de la productividad de bienes y servicios: instalaciones agrícolas e industriales, plantas para procesar alimentos, almacenes, etc.

- Aportación de confort a las personas: viviendas, oficinas, hospitales, escuelas, etc. El hormigón permite construir edificios que aíslan correctamente de ruidos, cambios de temperatura, etc.
- Posibilidad de acceso y control del territorio: carreteras, ferrocarriles, áreas peatonales, infraestructuras urbanas, etc.
- Respuesta a las necesidades de ocio: museos, teatros, bibliotecas, polideportivos, parques, etc.

8. NORMATIVA

Las normas UNE que incluyen las definiciones y especificaciones de los cementos españoles actuales son las siguientes:

Norma UNE	Tipos de cemento	Denominaciones
UNE-EN 197-1:2000	Cementos comunes: composición, especificaciones y criterios de conformidad.	Prefijo CEM
UNE-EN 197-1:2002 ERRATUM		
UNE-EN 197-1:2000/A3:2008		
UNE-EN 197-1:2000/A1:2005	Cementos comunes de bajo calor de hidratación	Sufijo LH
UNE-EN 197-4:2005	Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos de escorias de horno alto de baja resistencia inicial	Sufijo L
UNE-EN 14216:2005	Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos especiales de muy bajo calor de hidratación	Prefijo VLH
UNE 80303-1:2001	Cementos resistentes a sulfatos	Sufijo (**) SR
UNE 80303-1:2001 1ªM:2006		
UNE 80303-2:2001	Cementos resistentes al agua de mar	Sufijo (**) MR

UNE 80303-2:2001 1ªM:2006		
UNE 80304:2006	Cálculo de la composición potencial del clinker Portland	
UNE 80305:2001	Cementos blancos albañilería	Prefijo BL
UNE 80307:2001	Cementos para usos especiales	Prefijo ESP
UNE 80309:2006	Cementos naturales	Prefijo CNR, CNL
UNE-EN 14647:2006	Cementos de aluminato de calcio	Prefijo CAC
UNE-EN 413-1:2005	Cementos de albañilería	Prefijo MC

(**) Cuando se trata de cementos comunes con características adicionales (SR, MR, o BL), hay que omitir el prefijo CEM, dado que se trata de cementos que no se encuentran recogidos en las normas europeas.

La Instrucción para la recepción del Cemento RC-08 establece las prescripciones técnicas generales de los cementos, así como la regularización de su recepción. La finalidad de esta instrucción es que los productos de la construcción que en su composición utilicen cemento cumplan con los requisitos de las normativas europeas armonizadas, que permiten el marcado CE para los cementos certificados por un organismo externo notificado.

Relación de normativas relativas al cemento

Normas UNE:

Las normas UNE-EN o UNE relativas al cemento portland, elaboradas por el CEN/TC51 del Comité Europeo de Normalización o por el Comité Técnico 80 de la Asociación Española de Normalización (AENOR), a través de sus cuatro subcomités, se subdividen en los cinco grupos siguientes:

- SC0: Normas UNE-EN o UNE de evaluación de conformidad
- SC1: Normas UNE-EN o UNE de ensayos físicos y mecánicos
- SC2: Normas UNE-EN o UNE de análisis químico
- SC3: Normas UNE-EN o UNE sobre definiciones, clasificación y especificaciones
- SC4: Normas UNE-EN o UNE de toma de muestras y control de calidad.

0) Normas UNE-EN o UNE relativas a evaluación de la conformidad

UNE-EN 197-2:2000 Cemento. Parte 2: Evaluación de la conformidad.

UNE-EN 197-2:2002 ERRATUM Cemento. Parte 2: Evaluación de la conformidad.

UNE-80601:2005 Cemento. Evaluación de la conformidad del cemento con el límite reglamentario de contenido de cromo VI soluble en agua.

1) Normas UNE de ensayos físicos y mecánicos del cemento

UNE-EN 196-1:2005 Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.

UNE-EN 196-3:2005 Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de toma y de estabilidad del volumen.

UNE-EN 413-2:2006 Cementos de albañilería. Parte 2: Métodos de ensayo.

UNE-EN 13639:2002 Determinación del carbono orgánico total en la caliza

UNE-EN 13639:20027AC:2005 Determinación del carbono orgánico total en la caliza

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 EX Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la retracción de secado y del hinchamiento en agua

UNE 80113:1986 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la expansión en autoclave

UNE 80114:1996 Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación de los fraguados anormales (método de la pasta de cemento)

UNE 80116:1986: Métodos de ensayo de cementos. Determinación de la resistencia mecánica de los cementos naturales rápidos.

UNE 80117:2001 Métodos de ensayo e cementos. Ensayos físicos. Determinación del color en los cementos blancos.

UNE 80122:1991 Métodos de ensayo de cementos. Determinación de la finura.

2) Normas UNE de análisis químico del cemento

UNE-EN 196-2:2006 Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos.

UNE-EN 196-5:2006 Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Ensayo de puzolanidad para los

cementos puzolánicos.

UNE-EN 196-8:2005 Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Determinación del calor de hidratación. Método por disolución.

UNE-EN 196-9:2005 Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Determinación del calor de hidratación. Método semi-adiabático.

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 196-10:2008 Métodos de ensayo de cementos. Determinación del cromo (VI) soluble en agua contenido en el cemento.

UNE 80210:1994 EX Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación de la composición química del clínker portland y cementos por fluorescencia de rayos X

UNE 80211:1994 EX Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación de la composición química de cales y calizas por fluorescencia de rayos X

UNE 80213:1999 EX Métodos de ensayo de cementos. Determinación potenciométrica de cloruros

UNE 80216:1991 EX Métodos de ensayo de cemento. Determinación cuantitativa de los componentes.

UNE 20220:2000 Métodos de ensayo de cemento. Análisis Químico. Determinación de la humedad.

UNE-EN 933-9:1999 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno.

UNE 80225:1993 EX Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación del dióxido de silicio (SiO₂) reactivo en los cementos, en las puzolanas y en las cenizas volantes

UNE 80225:1994 EX ERRATUM Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación del dióxido de silicio (SiO₂) reactivo en los cementos, en las puzolanas y en las cenizas volantes

UNE 80228:1988 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación del contenido de titanio por colorimetría. Método de referencia

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 80220:2000 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación de la humedad.

UNE 80243:2002 Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico. Determinación del óxido de calcio libre. Método del etilenglicol

3) Normas UNE sobre definiciones, clasificación y especificaciones

UNE-EN 197-1:2000 Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

UNE-EN 197-1:2002 ERRATUM Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

UNE-EN 197-1:2000/A3:2008 Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

UNE-EN 197-1:2000/A1:2005 Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes. Cementos de bajo calor de hidratación.
UNE-EN 197-4:2005 Cemento. Parte 4: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos de escorias de horno alto de baja resistencia inicial
UNE 80303-1:2001 y UNE 80303-1:2001 1ª Modificación:2006 Cementos con características adicionales. Parte 1: Cementos resistentes a sulfatos.
UNE 80303-2:2001 y UNE 80303-2:2001 1ª Modificación:2006 Cementos con características adicionales. Parte 2: Cementos resistentes al agua del mar.
UNE 80304:2006 Cementos. Cálculo de la composición potencial del clinker pórtland.
UNE 80305:2001 Cementos blancos.
UNE 80307:2001 Cementos para usos especiales.

UNE 80309:2006 Cementos naturales.

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

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

UNE-EN 413-1:2005 Cementos de albañilería. Parte 1: composición, especificaciones y criterios de conformidad.

4)) Normas UNE-EN o UNE de toma de muestras

UNE-EN 196-7:2008 Métodos de ensayo de cemento Parte 7: Métodos de toma y preparación de muestras.

Existen también otros documentos reglamentarios relativos al cemento, entre los que cabe destacar:

- INSTRUCCIÓN PARA LA RECEPCIÓN DE CEMENTOS RC-03, Comisión Permanente del Cemento. Ministerio de Fomento. 2003.
- PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CARRETERA Y PUENTES, Ministerio de Fomento.
- INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE, Comisión Permanente del Hormigón. Ministerio de Fomento. 1999.
- 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.
- ORDEN de 17 de enero de 1989 del Ministerio de Industria y Energía por el que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa a la homologación de los cementos para la fabricación de hormigones y morteros para todo tipo de obras y productos prefabricados. (B.O.E. de 25 de enero de 1989).
- REAL DECRETO 1630/1992 de 29 de diciembre del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaria del Gobierno, por el que se dictan disposiciones para

la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE.

- REAL DECRETO 1328/1995 de 28 de julio del Ministerio de la Presidencia, por el que se modifica, en aplicación de la Directiva 93/68/CEE, las disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, aprobadas por el REAL DECRETO 1630/1992 de 29 de diciembre. (B.O.E. de 19 de agosto de 1995).
- ORDEN PRE/1954/2004 de 22 de junio del Ministerio de la Presidencia, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/2989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (cemento).
- ORDEN PRE/3796/2006 de 11 de diciembre del Ministerio de la Presidencia, por la que se modifican las referencias a normas UNE que figuran en el anexo al Real Decreto 1313/1988 de 28 de octubre, 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.
- Corrección de errores a la ORDEN PRE/3796/2006 de 11 de diciembre del Ministerio de la Presidencia, por la que se modifican las referencias a normas UNE que figuran en el anexo al Real Decreto 1313/1988 de 28 de octubre, 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
- REAL DECRETO 605/2006 del 19 de mayo, por el que se aprueban los procedimientos para la aplicación de la norma UNE-EN 197-2:2000 a los cementos no sujetos al marcado CE y a los centros de distribución de cualquier tipo de cemento.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Walter H. Duda. *Manual tecnológico del cemento*. Ed. Reverté.
- www.ciment-catala.org
- www.oficemen.com
- www.ieca.es/fabcemento.php
- www.wikipedia.org
- www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial
- www.uniland.es
- www.cmi.cemolins.es

