

5. EL CEMENTO

5.1 INTRODUCCIÓN

Hasta el siglo 18 los únicos conglomerantes usados fueron los yesos y las cales hidráulicas, es durante el siglo 19 y 20 cuando empieza a ser importante el interés por el cemento. El ingeniero inglés John Smeaton encuentra que el mortero formado por adición de puzolana a una caliza, con alta proporción de arcilla, era el que mejor resultado daba frente a la acción de las aguas marinas. Se confirmaba que la presencia de arcilla en las cales no sólo no las perjudicaba sino que las mejoraba haciendo posible el fraguado de la cal bajo el agua y que una vez endurecidas fueran insolubles.

Vicat fue un estudioso de la hidraulicidad de las cales que contenían arcillas y fruto de sus estudios son los primeros cementos naturales, precursores de los actuales Portland. En 1824, Joseph Aspdin, constructor de Leeds, en Inglaterra, daba el nombre de Portland y patentaba un material pulvurento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland. No era exactamente como el Portland actual, este no llegaría hasta que Isaac Johnson molió finamente los nódulos sobrecocidos que quedaban a la salida del horno de Aspdin, con ello mejoró: las dosificaciones y aumentó las temperaturas de cocción hasta lograr la sinterización de la mezcla.

En el siglo 19 empieza a extenderse de manera extraordinaria el uso del cemento y en los inicios del siglo veinte se impone el cemento Portland a los naturales. El cemento Portland ha llegado a una gran perfección y es material industrializado de construcción de mayor consumo. Se puede decir que el cemento es el alma del hormigón, yendo destinada, prácticamente, toda su producción a enlazar piedras sueltas para crear el material pétreo que conocemos como hormigón.

Existen dos tipos de cementos: los cementos naturales y el cemento Portland. El cemento natural se presenta por calcinación de margas naturales a temperaturas medias, sin formación de fase líquida. La materia prima es intermedia entre cales hidráulicas y cemento Portland. Estos cementos naturales se trituran y muelen posteriormente por apreciarse mejores comportamientos en el producto final obtenido. El cemento Portland debido a su importancia será el tratado en este tema

5.2 COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland está formado, básicamente, por la molienda conjunta del producto de la cocción, hasta sinterización, de una mezcla de caliza (carbonatos cálcicos) y arcilla (silicatos de aluminio hidratado) que recibe el nombre de clinker y de un material empleado como regulador de fraguado que, generalmente, es yeso dihidrato. Los componentes principales del clinker son la cal, la sílice, el aluminio, y el hierro, en forma de óxidos.

Las margas presentan como principales contenidos los componentes calizos y componentes arcillosos en distintas proporciones, por lo que son utilizadas como principal materia prima. Otros productos de uso se utilizan en el proceso de fabricación otros componentes como correctores de composición: arena, bauxita, mineral de hierro, pirita

Los componentes principales del cemento Portland son:

A) Clínter de cemento Pórtland (K)

El clínter de cemento pórtland se obtiene por sinterización de una mezcla homogénea de materias primas (crudo, pasta o harina) conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y pequeñas cantidades de otras materias. El clínter de cemento pórtland es un material hidráulico que debe estar constituido al menos en dos tercios de su masa por silicatos de calcio $[\text{3CaO} \cdot \text{SiO}_2]$ y $[\text{2CaO} \cdot \text{SiO}_2]$, estando constituido el resto por fases del clínter conteniendo aluminio, hierro y por otros compuestos. La relación en masa $(\text{CaO}) / (\text{SiO}_2)$ no será menor de 2,0 y el contenido de óxido de magnesio (MgO) no excederá del 5,0 % en masa.

B) Clínter de cemento Pórtland (K) empleado en cementos resistentes a los sulfatos y en cementos resistentes al agua de mar

Las especificaciones adicionales para los cementos comunes resistentes a los sulfatos y al agua de mar son, en cuanto a su clínter, las limitativas de su contenido de aluminato tricálcico y de la suma de sus contenidos de aluminato tricálcico y ferrito-aluminato tetracálcico.

C) Clínter de cemento de aluminato de calcio (K)

El clínter de cemento de aluminato de calcio es un material hidráulico que se obtiene por fusión o sinterización de una mezcla homogénea de materiales aluminosos y calcáreos conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, siendo los principales los óxidos de aluminio, calcio y hierro (Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3), y pequeñas cantidades de óxidos de otros elementos (SiO_2 , TiO_2 , S , SO_3 , Cl -, Na_2O , K_2O , etc.). El componente mineralógico fundamental es el aluminato monocálcico ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$).

D) Escoria granulada de horno alto (S)

La escoria granulada de horno alto se por obtiene enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto y constituida al menos en dos tercios de su masa por escoria vítrea y que posee propiedades hidráulicas cuando se

activa de manera adecuada. 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 (SiO_2). El resto contiene óxido de aluminio (Al_2O_3) junto con pequeñas cantidades de otros compuestos

La escoria granulada es una especie de arena (el aspecto y color son parecidos) que se obtiene por enfriamiento brusco en agua de la ganga fundida procedente de procesos siderúrgicos. Sus partículas son más o menos porosas y rechinan al aplastarlas con la mano. Al ser enfriada bruscamente en agua (temple) la escoria se vitrifica y se vuelve activa. Dado su contenido en cal combinada, la escoria no es una simple puzolana, sino que tiene de por sí propiedades hidráulicas, es decir, que es un verdadero cemento. Lo que sucede es que, por sí sola, la escoria fragua y endurece muy lentamente, por lo que debe ser acelerada por la presencia de algo que libere cal, como el clínker de Portland. Bastan muy pequeñas cantidades de este último componente para asegurar el fraguado y endurecimiento de la escoria molida. Por su composición y estabilidad la escoria es más dura que el clínker y por eso se muelen por separado.

E) Puzolanas (P,Q)

Las puzolanas son sustancias naturales de composición silíceo o sílico-aluminosa o combinación de ambas. Las puzolanas no endurecen por sí mismas cuando se amasan con agua, pero finamente molidas y en presencia de agua reaccionan, a la temperatura ambiente normal, con el hidróxido de calcio disuelto [Ca(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. Las puzolanas deben prepararse correctamente, es decir, deben ser seleccionadas, homogeneizadas, secadas o tratadas térmicamente y pulverizadas, dependiendo de su estado de producción o de suministro.

Las puzolanas naturales (P) son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias con composición química y mineralógica adecuadas, Las puzolanas naturales calcinadas (Q) son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

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

F) 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. Las cenizas obtenidas por otros métodos no deberán emplearse en los cementos. Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silíceo o calcáreo. Las primeras tienen propiedades puzolánicas; las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas.

Tiene influencia en la corrosión (más basicidad), en el desarrollo de resistencias más lentas. Además, exigen menos cantidad de agua y la retienen mas, produciendo menores retracciones y por tanto menores riesgos de fisuración.

La ceniza volante silíceas (V) 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 UNE 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 la expansión (estabilidad) no sobrepase los 10 mm cuando sea ensayada conforme a la norma UNE EN 196-3, usando una mezcla de un 30 % en masa de ceniza volante silíceas 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. Para su utilización en los cementos resistentes a los sulfatos (SR) y en los cementos resistentes a agua de mar (MR) deben cumplir una serie de especificaciones.

La ceniza volante calcárea (W) es un polvo fino que tiene propiedades hidráulicas o puzolánicas. Consta esencialmente de óxido de calcio reactivo (CaO), 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 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 calcio 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, tendrá una resistencia a compresión de al menos 10,0 MPa a 28 días, ensayadas conforme a la norma UNE 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 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 h después de su preparación y curadas con una humedad relativa de al menos 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 UNE 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 en sulfato (SO_3) de la ceniza volante m, excede el límite superior permitido para el contenido en sulfato del cemento, esto debe tenerse en cuenta por el fabricante del cemento, reduciendo convenientemente los constituyentes que contienen sulfato de calcio.

G) 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 Pórtland, así como propiedades puzolánicas.

H) Caliza (L, LL)

Las calizas cumplirán con los siguientes requisitos:

- 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 80122.
- 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.

I) 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 sílice amorfo.

Es un subproducto de la obtención del silicio y el ferrosilicio. Se reduce en horno eléctrico cuarzo muy puro y carbón, recogiendo el humo generado mediante filtro electrostático, es decir, recogiendo partículas de muy pequeño diámetro formadas, principalmente, por sílice muy reactiva.

J) Componentes adicionales minoritarios

Los componentes adicionales minoritarios son materiales minerales naturales o derivados del proceso de fabricación del clínker. Estarán correctamente seleccionados, homogeneizados, secados y pulverizados, en función de su estado de producción o suministro. 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.

K) 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 o anhidrita o cualquier, mezcla de ellos.

L) Aditivos

Los aditivos son componentes no contemplados en los apartados anteriores, que se añaden para mejorar la fabricación o las propiedades del cemento. 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 0,5 % en masa del cemento, medida sobre el residuo seco. Estos aditivos no provocaran, aceleraran o facilitaran la corrosión de las armaduras cuando el hormigón sea armado.

5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS

Los cementos que contempla la Instrucción española RC-08 son los siguientes:

- Cementos comunes
- Cementos especiales de muy bajo calor de hidratación
- Cementos de albañilería
- Cementos de albañilería blanco
- Cementos para usos especiales
- Cementos resistentes a los sulfatos
- Cementos resistentes al agua del mar
- Cemento de aluminato de calcio

Los cementos se clasifican en **tipos**, según sus componentes, y en **clases** según su resistencia. El número que identifica a la clase corresponde a la resistencia mínima a compresión, a veintiocho días, expresada en newtons por milímetro cuadrado (N/mm^2). Se exceptúan los cementos para usos especiales en que dicha resistencia se refiere a los noventa días. Los porcentajes en masa de los distintos tipos de cemento excluyen el regulador de fraguado y los eventuales aditivos. Por otra parte, conviene no confundir los aditivos al cemento con las adiciones; éstas se refieren siempre a uno o varios de los siguientes constituyentes: escoria de horno alto (S), humo de sílice (D), puzolana natural (P), puzolana natural calcinada (Q), ceniza volante silícea (V), ceniza volante calcárea (W), esquistos calcinados (T), caliza (L y LL).

CEMENTOS COMUNES

Cemento Portland

Los cementos Portland se obtienen por molturación conjunta de clínker Portland, una cantidad adecuada de regulador de fraguado y, eventualmente, hasta un 5 por 100 de adiciones. Se designará con las siglas CEM I, seguidas de la clase de resistencia (32,5 - 42,5 - 52,5) y de la letra (R) si es de alta resistencia inicial o de (N) si es de resistencia inicial normal. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Los cementos Portland con adiciones se vienen empleando en Europa, con gran éxito, por razones económicas. Por una parte, por el ahorro de energía que ello supone y, por otra, por el aprovechamiento de ciertos productos naturales y subproductos industriales. Los cementos Portland con adiciones tienen un comportamiento intermedio entre los Portland tipo I, por un lado, y los cementos de horno alto o puzolánicos, por otro. Estos cementos tienen las mismas clases resistentes que los cementos tipo I, 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 identificativa del componente principal empleado como adición del cemento. A continuación se indicará la clase de resistencia (32,5-42,5-52,5), y seguidamente 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.

ALBERTO VILLARINO OTERO

Tabla I: Cementos Comunes

Tipos	Denominación	Designación	Composición (proporción en masa ¹⁾)												Componentes, minoritarios	
			Componentes principales													
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D ^a	Puzolana		Cenizas volantes		Esquistos calcinados T	Caliza ⁴⁾					
						Natural P	Natural calcinada Q	Silíceas V	Calizas W		L	LL				
CEM I	Cemento pórtland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
	Cemento pórtland con escoria	CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
	Cemento pórtland con humo de sílice	CEM II/A-P	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM II/B-P	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5		
	Cemento pórtland con ceniza volante	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5		
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5		
Cemento pórtland con escuistos calcinados		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5		
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5		
	Cemento pórtland con caliza	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5		
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5		
CEM II/A-L		80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5			
CEM II/B-L		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5			
CEM II	Cemento pórtland con escuistos calcinados	CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	21-35	0-5		
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5		
		CEM II/A-M	80-94	<----- 6-20 ----->											0-5	
		CEM II/B-M	65-79	<----- 21-35 ----->											0-5	
	Cemento con escorias de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
	Cemento puzolánico ³⁾	CEM IV/A	65-89	-	<----- 11-35 ----->											0-5
		CEM IV/B	45-64	-	<----- 36-55 ----->											0-5
	CEM V	Cemento compuesto ³⁾	CEM V/A	40-64	18-30	-	<----- 18-30 ----->							-	0-5	
CEM 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 (núcleo de cemento).
2) El porcentaje de humo de silice está limitado al 10%.
3) En cementos pórtland mixtos 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.

Tabla II: Prescripciones mecánicas y físicas 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 (expresado 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%
			Todas	
		CEM III ⁴⁾	Todas	
Contenido de cloruros (Cl ⁻)	UNE-EN 196-2	Todos ⁵⁾	Todas	≤ 0,10% ⁶⁾
Puzolanidad	UNE-EN 196-5	CEM IV	Todas	Puzolanidad a la edad de 8 ó 15 días

- 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 puede contener hasta el 4,5% de sulfato para todas las clases de resistencia.
- 4) El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta el 4,5% en masa de sulfato.
- 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 el valor real en los envases y albaranes de entrega, reemplazando en su caso, el valor por defecto del 0,10% en masa.

Tabla III: 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 (expresado 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%
			Todas	
		CEM III ⁴⁾	Todas	
Contenido de cloruros (Cl ⁻)	UNE-EN 196-2	Todos ⁵⁾	Todas	≤ 0,10% ⁶⁾
Puzolanidad	UNE-EN 196-5	CEM IV	Todas	Puzolanidad a la edad de 8 ó 15 días

- 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 puede contener hasta el 4,5% de sulfato para todas las clases de resistencia.
- 4) El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta el 4,5% en masa de sulfato.
- 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 el valor real en los envases y albaranes de entrega, reemplazando en su caso, el valor por defecto del 0,10% en masa.

En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1

Ejemplo 1: Cemento Pórtland EN 197-1 CEM I 42,5 R, corresponde a un cemento de clase resistente 42,5 y alta resistencia inicial.

Ejemplo 2: Cemento Pórtland con caliza EN 197-1 CEM II/A-L 32,5 N, corresponde a un cemento con un contenido entre 6 % y 20 % en masa de caliza, de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal. En el caso del cemento Pórtland mixto (M) se indicará, además entre paréntesis, las letras identificativas de los componentes principales empleados como adición.

Ejemplo 3: Cemento Pórtland mixto EN 197-1 CEM II/ A-M(S-V-L) 32,5 R, corresponde a un cemento con un contenido entre 6 % y 20 % en masa de escoria granulada de horno alto (S), ceniza volante silíceas (V) y caliza (L), de clase resistente 32,5 y alta resistencia inicial.

Los cementos con escorias 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 ó C). En el caso de cementos puzolánicos tipo IV o cemento compuesto 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 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. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Ejemplo 4: Cemento con escorias de horno alto EN 197-1 CEM III/B 32,5 N, corresponde a un cemento con escorias de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal.

En el caso del cemento común de bajo calor de hidratación, se debe añadir las letras LH al final de la designación correspondiente a un cemento común. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Ejemplo 5: Cemento Pórtland con caliza EN 197-1 CEM II/A-L 32,5 N-LH, corresponde a un cemento de bajo calor de hidratación, con un contenido entre 6% y 20% en masa de caliza, de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal.

Cemento con Escorias de Horno Alto

Los cementos de escorias de horno alto de baja resistencia inicial se identificarán por el tipo y subtipo de cemento, de acuerdo con la tabla de abajo, a continuación se indicará la clase de resistencia (32,5, 42,5 y 52,5). Además se debe añadir la letra L con el fin de indicar la baja resistencia inicial. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-4.

Tipo	Denominación	Designación	Composición (% en masa) ^{1),2)}		
			Componentes principales		Componentes minoritarios
			Clinker	Escoria de horno alto	
			K	S	
CEM III	Cementos de escorias de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	0-5

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

²⁾ 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.

Ejemplo 1: Cemento de escorias de horno alto de baja resistencia inicial EN 197-4 CEM III/B 32,5 L, corresponde a un cemento de escoria de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5 y de baja resistencia inicial. En el caso de que además sea de bajo calor de hidratación se deben añadir al final las letras LH.

Ejemplo 2: Cemento de escorias de horno alto de baja resistencia inicial y de bajo calor de hidratación EN 197-4 CEM III/B 32,5 L-LH, corresponde a un cemento de escoria de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5, con baja resistencia inicial y bajo calor de hidratación.

Los cementos de horno alto de baja resistencia inicial tendrán una reducida resistencia inicial comparada con la de un cemento común de la misma clase de resistencia y podrán necesitar de algunas precauciones adicionales tales como la ampliación del tiempo de retirada del encofrado y un cuidado especial con climatología adversa. Estos cementos presentan poca retracción y un débil calor de hidratación, por lo que pueden ser utilizados sin riesgo en grandes macizos. A cambio y por la misma razón, son muy sensibles a las bajas temperaturas, que retardan apreciablemente su endurecimiento, por lo que no debe utilizarse por debajo de los +5° C. Los cementos siderúrgicos son más susceptibles de experimentar cambios de tonalidad más o menos irregulares después de endurecidos. El hormigón de cemento de escorias presenta una rotura de color verdoso característico. Quizá la idea más importante que debe retenerse en relación con estos cementos es que necesitan efectuar su endurecimiento en medio constantemente húmedo durante dos semanas al menos, dada su lentitud. Sus grandes enemigos son la sequedad y el calor.

No deben emplearse los de fabricación muy reciente, que presentan riesgos de retracciones elevadas. Por igual motivo y para evitar desecaciones prematuras y rápidas, hay que emplear bajas relaciones agua/cemento y vigilar el amasado, porque estos cementos dan morteros y hormigones un poco agrios

que incitan a quien los amasa a echar más agua a la hormigonera. Un vibrado energético vence esta rigidez durante la puesta en obra.

Conviene utilizar dosificaciones amplias, bien amasadas, para evitar falta de homogeneidad y el riesgo de tener endurecimientos irregulares. En general es preferible una buena dosificación en cemento de una categoría inferior a otra pobre de categoría superior. En resumen, puede decirse que los cementos siderúrgicos son delicados y exigen más precauciones en su empleo que los Portland. Son más resistentes que éstos a las aguas sulfatadas, las de mar y las muy puras; pero no deben utilizarse si la agresividad es grande.

Cemento Pozolánico

Los cementos pozolánicos endurecen más lentamente, en especial en ambiente frío, y requieren en general más agua de amasado que el Portland normal; pero a largo plazo llegan a superar las resistencias de éste.

La ventaja de los cementos pozolánicos es que la pozolana fija la cal liberada en la hidratación del clínker, eliminando así un peligro en ambientes agresivos. Como el proceso liberación-fijación de cal se prolonga mucho en el tiempo, el cemento va ganando resistencias con la edad en mayor proporción que el Portland, al formarse nuevos compuestos resistentes de naturaleza muy estable.

Por las mismas razones, el cemento pozolánico confiere al hormigón una elevada densidad, disminuyendo su porosidad y haciéndolo más compacto, lo que aumenta su resistencia química. Todo ello lo hace recomendable para gran número de obras (canales, pavimentos, obras en aguas muy puras o ambientes medianamente agresivos, hormigonados bajo agua, obras marítimas, etc.). Los cementos pozolánicos son algo más untuosos y manejables que el Portland, por lo que mejoran la plasticidad del hormigón, resultando aptos para su empleo en hormigones bombeados. El color negruzco de las pozolanas oscurece de forma típica a estos cementos.

Cemento Compuesto

Sus características y aplicaciones son intermedias entre las correspondientes a los cementos tipo III y IV.

Cemento especial de muy bajo calor de hidratación

Se identificara por el tipo de cemento, de acuerdo con la tabla de abajo y por las cifras 22,5, que indican la resistencia nominal. En estos cementos, la designación comenzara con la referencia a la norma UNE-EN 14216.

Tipos	Denominación	Designación	Composición (proporción en masa) ¹⁾							Componentes minoritarios
			Componentes principales							
			Clinker K	Escorias de horno alto S	Humo de sílice D ²⁾	Puzolana		Cenizas volantes		
						Natural P	Natural Calcinada Q	Silíceas V	Cálcicas W	
VLH III	Cemento de escorias de horno 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.

Ejemplo : Cemento especial puzolanico de muy bajo calor de hidratacion EN 14216 VLH IV/B (P) 22,5, corresponde a un cemento especial puzolanico de muy bajo calor de hidratacion, con un contenido entre 36% y 55% en masa de puzolana natural (P) y de clase resistente 22,5.

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

Cemento de Aluminato de Calcio

Esta compuesto únicamente por clinker de cemento de aluminato de calcio, obtenido a partir de una mezcla definida de materiales aluminosos y calcáreos sometida a tratamiento térmico adecuado.El cemento de aluminato de calcio se identificará por las letras CAC. Este cemento, la designación comenzará con la referencia a la norma UNE-EN 14647. No se hace referencia a la clase de resistencia.

Ejemplo: Cemento de aluminato de calcio EN 14647 CAC, corresponde a un cemento de aluminato de calcio.

El Cemento de Aluminato de calcio desarrolla resistencias a mucha mayor velocidad que el cemento Pórtland, alcanzando en pocas horas valores similares a los del cemento Pórtland 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. Los hormigones con cemento aluminoso son muy poco porosos y casi insensibles a los agentes químicos de carácter ácido, pero en cambio no resisten las aguas alcalinas y su carácter ácido favorece la corrosión de las armaduras. En ciertas condiciones de humedad y temperatura pueden presentar a largo plazo una apreciable regresión de sus resistencias mecánicas (así ha sucedido en España en buen número de forjados de edificación fabricados con viguetas de cemento aluminoso). Por ello, el cemento aluminoso no debe emplearse en hormigón armado y, menos aún, en hormigón pretensado, ni mezclarse con ningún otro tipo de cemento. Se emplea con ventaja en hormigones refractarios y, por su gran velocidad de endurecimiento, en reparaciones de vías de agua.

El cemento de aluminato de calcio tiene buena resistencia a los sulfatos, resiste bien algunos medios agresivos siempre que no sean alcalinos y para asegurar la durabilidad de obras con él elaboradas, han de seguirse las prescripciones establecidas en la Instrucción EHE y la las indicaciones de la norma UNE-EN 14647. Con áridos adecuados, permite obtener morteros y hormigones refractarios.

Están compuestos por clinker de cemento Pórtland, componentes inorgánicos y, cuando sea necesario, aditivos tal y como se recoge en la tabla de abajo. El sulfato de calcio se añade en pequeñas cantidades a los otros componentes del cemento de albañilería durante su fabricación para controlar el fraguado.

Tipo y clase de resistencia	Contenido (% en masa)	
	Clínker de cemento pórtland	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

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 clinker, 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.

Los cementos de albañilería se identificarán empleando las letras MC, seguidas de la clase de resistencia (5, 12,5 y 22,5) y, cuando se aplique, la letra X. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma UNE-EN 413-1.

Ejemplo: Cemento de albañilería EN 413-1 MC 12,5 X corresponde a un cemento de albañilería, de clase resistente 12,5 y sin aditivo inclusor de aire.

Cemento Resistente a los Sulfatos

Se consideran los cementos en cuya composición se haya empleado un clinker que cumpla las condiciones descritas en la tabla de abajo. Estos cementos deberán cumplir, además de las prescripciones relativas a su tipo y clase, las adicionales que se establecen en dicha tabla. Son cementos muy útiles para obras en contacto con terrenos yesíferos o aguas selenitosas y deben tener bajo contenido en aluminatos.

Tipos	Denominaciones		Designaciones	Especificaciones del clinker de los cementos resistentes a los sulfatos (SR)	
				C ₃ A%	C ₃ A% + C ₄ AF%
I	Cementos pórtland resistentes a sulfatos		I	≤ 5,0	≤ 22,0
II	Cementos pórtland 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	III/B			Ninguna	
III	III/C			Ninguna	
IV	Cementos Puzolánicos (D+P+V)		IV/A	≤ 6,0	≤ 22,0
IV			IV/B	≤ 8,0	≤ 25,0
V	Cementos compuestos (S+P+V)		V/A	≤ 8,0	≤ 25,0

Las prescripciones sobre C_3A y $(C_3A + C_4AF)$ se refieren a porcentajes en masa de clinker. 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 clinker según la norma UNE-EN 196-2

Los cementos resistentes a los sulfatos se designarán de la misma manera a la expresada para los correspondientes cementos comunes, omitiendo el prefijo CEM, seguida por una barra (/) y de las siglas que identifican la característica adicional correspondiente (SR). En estos cementos, la designación finalizará con la referencia a la norma UNE correspondiente.

Ejemplo 1: I 42,5 R/SR UNE 80303-1 Corresponde a un cemento pòrtland, resistente a los sulfatos, de clase de resistencia 42,5 R

En el caso de un cemento que, además de poseer la característica SR, también sea de bajo calor de hidratación (LH), se incluirán unas siglas a continuación de las otras, expresadas en este orden: primero LH, seguido por una barra (/) y después, SR.

Ejemplo 2 I 42,5 N-LH/SR UNE 80303-1 Corresponde a un cemento pórtland (tipo I) de bajo calor de hidratación, resistente a los sulfatos y de clase de resistencia 42,5 N.

Cemento Resistente al Agua del Mar

Los cementos con características adicionales resistentes al agua de mar se designarán de la misma manera a la expresada para los correspondientes cementos comunes, omitiendo el prefijo CEM, seguida por una barra (/) y de las siglas que identifican la característica adicional correspondiente (MR). En estos cementos, la designación finalizará con la referencia a la norma UNE correspondiente.

Ejemplo 1: III/B 32,5 R/MR UNE 80303-2 Corresponde a un cemento con escorias de horno alto (tipo III), resistente al agua de mar, subtipo B y clase de resistencia 32,5 R.

En el caso de un cemento que, además de poseer la característica MR, también sea de bajo calor de hidratación (LH), se incluirán unas siglas a continuación de las otras, expresadas en este orden: primero LH, seguido por una barra (/) y después MR.

Ejemplo 2: III/B 32,5 N-LH/MR UNE 80303-2 Corresponde a un cemento con escoria de horno alto (tipo III), resistente al agua de mar, subtipo B, de bajo calor de hidratación y clase de resistencia 32,5 N

Cemento de Albañilería Blanco

En el caso del cemento de albañilería blanco se designará con las siglas BL seguidas del tipo y clase de resistencia 22,5, de la letra X y de la referencia UNE 80.305.

Ejemplo: BL 22,5 X UNE 80305, corresponde a un cemento de albañilería (tipo MC), blanco, de clase resistente 22,5 y sin agente inclusor de aire.

Cemento para Usos Especiales

En el caso de cemento para usos especiales, se indicará la designación correspondiente al tipo (ESP VI-1), seguida de la relativa a la clase de resistencia (22,5N - 32,5N - 42,5N) y de la referencia a UNE 80.307.

Ejemplo: ESP VI-I 32,5 N UNE 80307, corresponde a un cemento para usos especiales, de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal.

5.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CEMENTOS

Finura de molido

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que, en general, resulta perjudicial), el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a las aguas agresivas.

Fraguado y endurecimiento

Cuando un cemento se amasa con agua en proporción del 20 al 35% en peso, se forma una pasta que mantiene su plasticidad durante un tiempo muerto después del cual la pasta empieza a rigidizarse rápidamente hasta que desaparece su plasticidad a la vez que va aumentando su resistencia de forma gradual. Este fenómeno es consecuencia de las precipitaciones sólidas o cristal que se producen durante las reacciones de hidratación y que dan lugar a un aumento progresivo de la viscosidad de la pasta.

Hay que distinguir dos fases:

Fraguado

La pasta pierde su plasticidad llegando a adquirir algo de resistencia. El fraguado va acompañado de desprendimiento de calor; al principio se observa una elevación fuerte de temperatura seguida de un fuerte descenso con un mínimo y luego, un pico que puede considerarse como el final del fraguado.

Endurecimiento

Ganancia progresiva de resistencias de una pasta fraguada. Como progresivo desarrollo de resistencias mecánicas queda regulado por la naturaleza y estructura de las películas coloidales que recubren los granos y que avanzan hacia el núcleo en la hidratación. Es frecuente confundir los términos fraguado y endurecimiento cuando en realidad son dos fenómenos distintos y hasta tal punto lo son que pueden existir cementos de fraguado lento y de endurecimiento rápido. En la velocidad de fraguado y endurecimiento entran en juego:

- Finura de molido del cemento
- Temperatura del agua de amasado
- Presencia o no de materias orgánicas e inorgánicas y aditivos

Expansión

Los ensayos de estabilidad de volumen tiene por objeto manifestar, a corto plazo, el riesgo de expansión tardía que puede tener un cemento fraguado debida a la hidratación del óxido de calcio y/o del óxido de magnesio libres.

El método de ensayo (Norma europea EN 196-3). Consiste en un pequeño molde cilíndrico abierto por una generatriz y terminado por dos agujas para amplificar la expansión. Una vez relleno con la pasta de cemento, se mantiene 24 horas en la cámara húmeda. El aumento de la distancia de las dos puntas de las agujas después de sumergido el molde en agua en ebullición, durante tres horas, mide la expansión.

Resistencia mecánica

La aplicación fundamental del cemento es la fabricación de morteros y hormigones destinados a la construcción de elementos en los que, generalmente, la propiedad más interesante es sus resistencias mecánicas; por consiguiente, los cementos, junto con los áridos, tienen que conferírselas y esto lo logran porque al amasarlos con agua dan lugar a pastas que endurecen y tienen una gran cohesión y, cuya porosidad va disminuyendo a la vez que las resistencias mecánicas van creciendo con el paso del tiempo, presentando, además, estas pastas una gran adherencia con los áridos que componen el mortero y el hormigón.

ALBERTO VILLARINO OTERO

5.5 CARACTERÍSTICAS LIMITACIONES E INDICACIONES

	Cementos Portland tipo I		
	Clases 32,5 y 32,5R	Clases 42,5 y 42,5R	Clases 52,5 y 52,5R
Características	-Bajo calor de hidratación. -Baja retracción.	-Resistencia mecánica alta. -Endurecimiento rápido.	-Resistencia mecánica muy alta, a todas edades. -Endurecimiento muy rápido.
Limitaciones	-Resistencia mecánica media. -Poca resistencia química.	-Poca resistencia química.	-Fuerte calor de hidratación -Tendencia a fisuras de afogado y retracción. -Poca resistencia química.
Indicado para	-Hormigón armado -Hormigón en masa de pequeño o mediano volumen -Pavimentos y firmes de carreteras. -Estabilización de suelos.	-Hormigón armado. -Hormigón pretensado. -Prefabricado, incluso con tratamiento higrotérmico.	-Obras de hormigón armado que requieren endurecimiento rápido y altas resistencias. -Hormigón pretensado. - Prefabricación. -Hormigonado en tiempo muy frío. -Desenfofrado muy rápido.
No indicado para	-Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos. -Macizos de gran volumen, sobre todo en dosificaciones altas.	-Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos. -Piezas de hormigón armado de gran espesor. -Elementos o piezas fisurables por retracción.	-Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos. -Obras de hormigón armado de mediano volumen o espesor. -Elementos o piezas fisurables por retracción.
Precauciones	-Cuidar el almacenamiento. No debe prolongarse más de tres meses.	-Cuidar el almacenamiento. No debe prolongarse más de dos meses. -Cuidar el amasado y, sobre todo, el curado. -Precauciones para evitar fisuración por retracción durante las primeras horas.	-Cuidar el almacenamiento. No debe prolongarse más de un mes. -Cuidar dosificación, amasado y, sobre todo, el curado. -Precauciones para evitar fisuración por retracción durante las primeras horas.

	<i>Tipo II-S</i>		<i>Tipo II-P y II-V</i>	
	Clases 32,5 y 32,5R	Clases 42,5 y 42,5R	Clases 32,5 y 32,5R	Clases 42,5 y 42,5R
Características	Bajo calor de hidratación. Baja retracción.	Resistencia mecánica alta. Baja retracción. Moderado calor de hidratación.	Bajo calor de hidratación. Baja retracción. Endurecimiento algo más lento que el portland I.	Resistencia mecánica alta. Baja retracción. Moderado calor de hidratación. Hormigones más impermeables.
Limitaciones	Resistencia mecánica media. Sensibles a las bajas temperaturas.	Sensibles a las bajas temperaturas durante la ejecución.	Resistencia mecánica media. Endurecimiento sensible a los climas secos y fríos, secos y cálidos.	Endurecimiento sensible a los climas secos y fríos, o secos y cálidos.
Indicado para	Hormigón armado. Hormigón en masa, incluso de gran volumen. Pavimentos y cimentaciones. Estabilización de suelos. Obras de hormigón en masa en ambientes débilmente agresivos por salinidad o por sulfatos..	Hormigón armado. Hormigón en masa, incluso de gran volumen. Pavimentos y cimentaciones. Estabilización de suelos. Obras de hormigón en masa en ambientes débilmente agresivos por salinidad o por sulfatos. Prefabricación con tratamiento higrotérmico.	Hormigón armado. Hormigón en masa. Pavimentos y cimentaciones. Prefabricados con tratamiento higrotérmico.	Hormigón armado. Hormigón en masa que tolere un moderado calor de hidratación. Hormigón armado o en masa en ambientes ligeramente agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez mineral. Obras de gran impermeabilidad. Prefabricación y pretensado.
No indicado para	Hormigonado en tiempo de heladas. Hormigón pretensado. Obras en aguas, terrenos ambientes agresivos, salvo los indicados.	Hormigonado en tiempo de heladas. Hormigón pretensado con armaduras adherentes. Obras en aguas, terrenos ambientes agresivos, salvo los indicados.	Hormigonado en tiempo de heladas. Hormigón pretensado. Obras en aguas, terrenos ambientes agresivos.	Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos, salvo los indicados. Macizos de gran volumen y piezas de gran espesor.
Precauciones	Curado prolongado en ambiente húmedo, sobretodo en climas fríos o temperaturas bajas, evitando la desecación. El almacenamiento no debe prolongarse más de tres meses.	Curado prolongado en ambiente húmedo, sobre todo en climas fríos o temperaturas bajas, evitando la desecación. El almacenamiento no debe prolongarse más de dos meses.	Curado prolongado, en especial en climas secos y fríos. Evitar desecación durante el primer periodo de endurecimiento en climas cálidos y secos. El almacenamiento no debe prolongarse más de tres meses.	Curado prolongado, en especial en climas secos y fríos. Evitar desecación durante el primer periodo de endurecimiento en climas cálidos y secos. El almacenamiento no debe prolongarse más de dos meses.
	<p>El CEMENTO PORTLAND MIXTO (CEM II/A-M y B-M) tiene unas características y aplicaciones que pueden considerarse como suma de las correspondientes a los cementos tipos II-S, II-P y II-V.</p> <p>El CEMENTO PORTLAND CON CALIZA (CEM II/A-L) tiene unas aplicaciones análogas a las de los cementos portland de su misma clase, pero los hormigones con él fabricados presentan unas propiedades adicionales mejorando la hidratación, trabajabilidad, retracción, fisuración, etc.</p>			

	Cementos de horno alto tipo III		<i>Cemento puzolánico tipo IV</i>
	III/A-32,5 y III/A-42,5	III/B-32,5 y III/B-42,5	Clases 32,5 y 42,5
Características	Moderado calor de hidratación. Baja retracción. Mayor resistencia química que el portland.	Bajo calor de hidratación. Baja retracción. Resistentes al agua de mar y a los sulfatos.	Hormigones más trabajables, más compactos, más impermeables y de mayor resistencia química que con el cemento portland..
Limitaciones	Menor trabajabilidad que el portland.	Menor trabajabilidad que el portland. Muy sensibles a las bajas temperaturas. Endurecimiento lento.	Evolución de resistencias más lenta que el portland.
Indicado para	Obras de hormigón en masa, incluso de gran volumen. Obras de hormigón en masa o armado en ambientes húmedos y ligeramente agresivos por salinidad o por sulfatos. Cimentaciones, pavimentaciones y obras subterráneas. Obras marítimas. Ciertos prefabricados.	Obras de hormigón en masa, incluso de gran volumen. Obras de hormigón en masa o armado en ambientes húmedos o agresivos por salinidad o por sulfatos. Cimentaciones, pavimentaciones y obras subterráneas. Obras marítimas.	Obras de hormigón en masa de grandes volúmenes (grandes cimentaciones, muros de contención, presas, etc.). Obras marítimas, vertederos industriales o sanitarios. Obras en medios agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez. Hormigones muy impermeables. Prefabricados con tratamiento higrotérmico.
No indicado para	Hormigonado a bajas temperaturas. Obras en ambientes muy secos. Hormigones vistos. Obras de gran superficie y poco espesor. Obras en ambiente muy agresivos. Obras que requieren altas resistencias iniciales.	Hormigonado a bajas temperaturas. Obras en ambientes muy secos. Hormigones vistos. Obras de gran superficie y poco espesor. Obras que requieren altas resistencias iniciales. Hormigón pretensado.	Hormigonado en climas secos o fríos. Obras en ambientes muy agresivos. Obras que requieren altas resistencias iniciales.
Precauciones	Prolongar el amasado evitando exceso de agua. Prolongar el curado, sobre todo en climas fríos o a temperaturas bajas, evitando al máximo la desecación prematura. Prolongar el tiempo de desencofrado. Preferir dosis ricas de clase 32,5 a dosis pobres de clase 42,5.	Prolongar el amasado evitando exceso de agua. Prolongar el curado, sobre todo en climas fríos o a temperaturas bajas, evitando al máximo la desecación prematura. Prolongar el tiempo de desencofrado. Preferir dosis ricas de clase 32,5 a dosis pobres de clase 42,5..	Curar prolongadamente, sobre todo en climas secos y fríos. Evitar desecación durante el primer periodo de endurecimiento en climas cálidos y secos.

5.6 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Materias primas + correctores->crudo->horno->clinker + yeso->cimento

Para la fabricación del cemento Portland hay dos sistemas que se denominan de "vía seca" y de "vía húmeda", y que prácticamente sólo difieren en la preparación de la materia prima o crudo que penetra en el horno

En el sistema de **vía húmeda**, las materias primas se deslíen en unos tanques y la pasta homogeneizada resultante alimenta el horno; en el sistema de **vía seca**, el horno se alimenta con la materia prima seca y pulverulenta y, en algunos casos, con nódulos realizados con esta materia amasada con muy pequeña cantidad de agua. El primer sistema, que ha sido muy empleado hasta hace unos años, tiene algunas ventajas que no llegan a compensar el mayor consumo de combustible requerido para evaporar la gran cantidad de agua que lleva la pasta, que oscila entre el 35 y el 50%, y el mayor costo y dimensión de los hornos, de aquí que actualmente, la mayor parte del cemento que se fabrica se realice por vía seca.

La vía seca permite un ahorro energético de como mínimo el 15% sobre la vía húmeda; por otra parte, la calidad del cemento es similar y el problema que podría achacársele de mayor contaminación ambiental está hoy en día solucionado con los filtros electrostáticos de gran eficacia. En los últimos años se ha experimentado un gran avance en todo el proceso de fabricación del cemento, reduciendo el consumo energético y los costos, y mejorando la calidad y uniformidad de los productos obtenidos mediante la automatización de las plantas y el control continuo de la calidad.

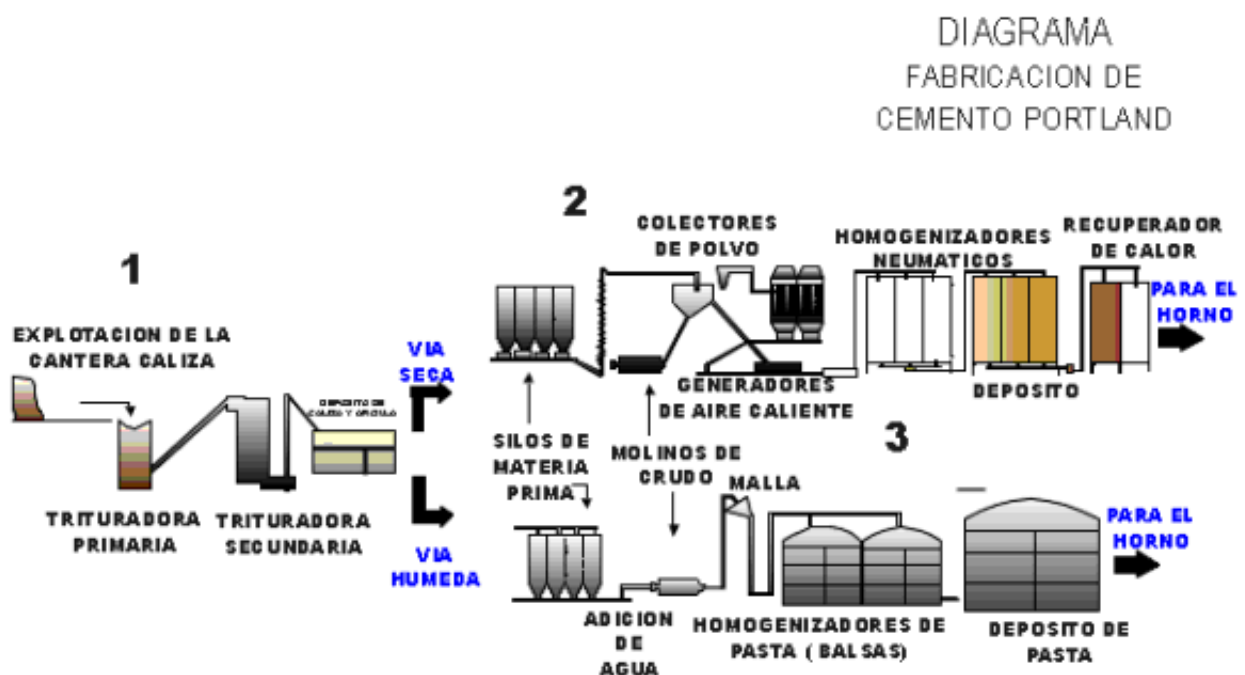
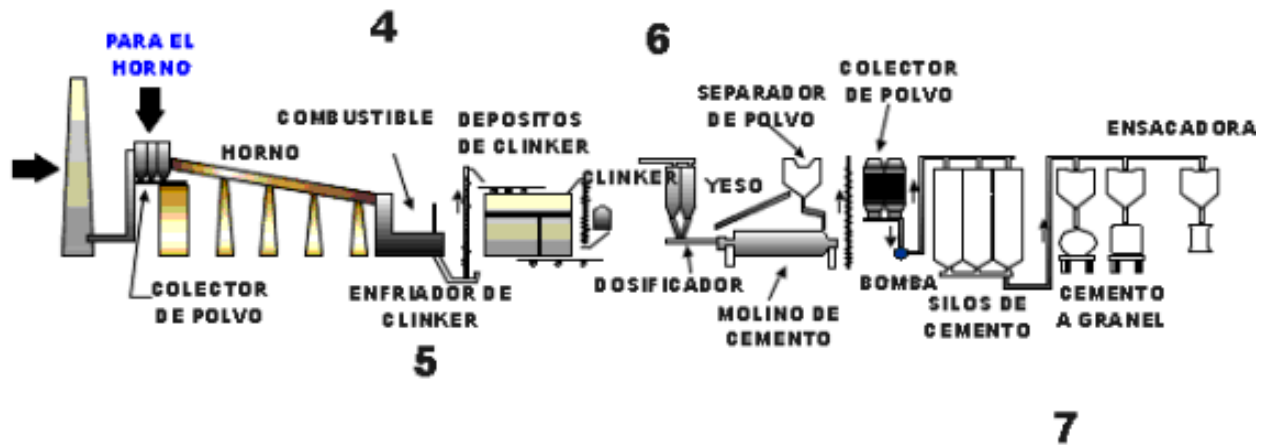


DIAGRAMA
FABRICACION DE
CEMENTO PORTLAND
fase 2



1. Obtención y preparación de las materias primas

Su obtención se lleva a cabo en canteras o minas a cielo abierto, donde los materiales blandos como las arcillas se obtienen por excavación y los materiales duros como las calizas mediante perforación o voladura, taqueo y trituración.

Las materias primas extraídas en la cantera por voladuras, se trituran en machacadoras de mandíbulas hasta un tamaño de 20-25 mm. El material triturado debe secarse dado que su humedad dificulta la posterior molienda. Posteriormente la mezcla de materias primas y de correctores, en su caso, perfectamente dosificada para que el contenido en óxidos sea el preciso para el tipo de cemento que se ha de fabricar, y molida recibe el nombre de crudo y con ella se alimenta el horno.

2. Cocción

La cocción del crudo se realiza en hornos rotatorios ligeramente inclinados que están formados por un tubo cilíndrico de acero revestido interiormente de material refractario cuya longitud alcanza hasta 150 m y cuyo diámetro puede sobrepasar los 4.5m.

Produciéndose las siguientes reacciones:

Arcilla + calor \rightarrow arcilla activada + agua

Caliza + calor \rightarrow CaO + CO₂

En el horno, el crudo se transforma por cocción, hasta la sinterización, en clinker.

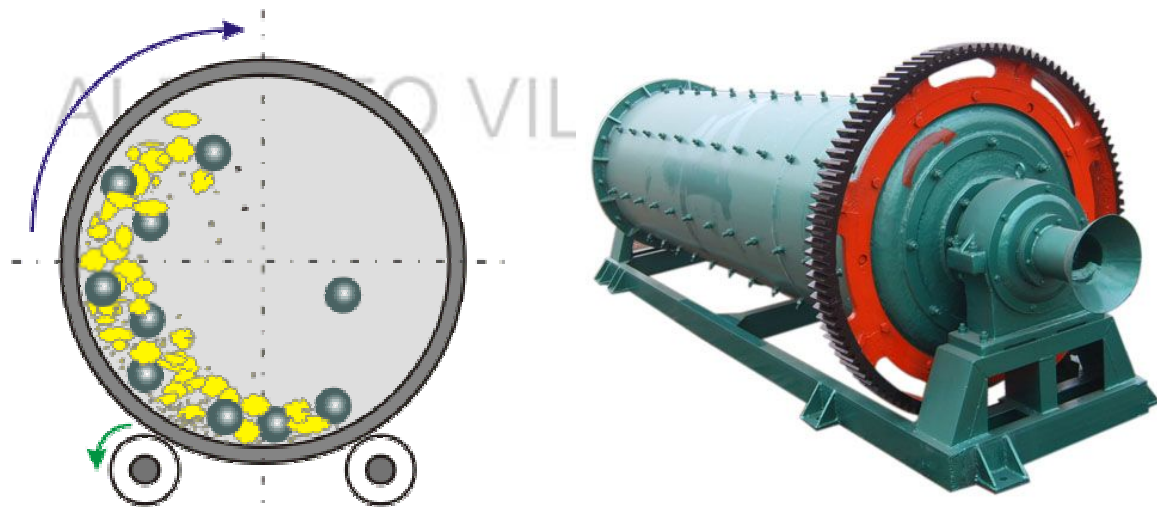
3. Molienda

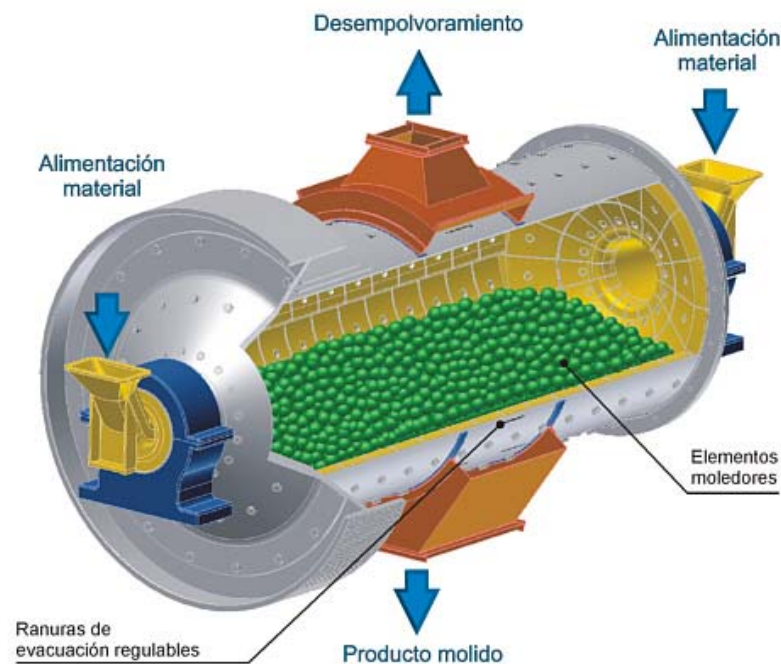
El clinker y el yeso (sulfato de calcio dihidrato) que actúa como regulador de fraguado se muelen conjuntamente a un grado de finura elevado en molino de cemento, la proporción de yeso a emplear depende del contenido de aluminato tricálcico.

Aparte de estos dos componentes fundamentales pueden adicionarse al molino puzolanas anaturales, cenizas volantes, humo de sílice, escorias siderúrgicas, caliza, etc... cuando se pretendan conseguir cementos de características especiales frente a determinados medios, así como mejorar el balance energético del proceso de fabricación.

Pueden añadirse también aditivos que en cantidades inferiores al 1% se pueden utilizar eventualmente para facilitar el proceso de fabricación del cemento, los aditivos no deben perjudicar las propiedades y comportamientos de los morteros y hormigones.

Los molinos de cemento son molinos de bolas que similares a los de crudo, llevan un estricto control de temperatura.





4. Suministro, Recepción y Almacenamiento

Si se trata de sacos, éstos deben llevar impreso en una de sus caras el tipo y clases de cemento, así como la marca comercial y, eventualmente, las restricciones de empleo. La toma de muestras y los ensayos de recepción deben llevarse a cabo según indica la Instrucción española RC-08. Si el cemento posee un sello o marca de conformidad oficialmente homologado, la Dirección Facultativa puede eximirlo de los ensayos de recepción. Cuando el cemento experimenta un almacenamiento prolongado, puede sufrir alteraciones consistentes en la hidratación de sus partículas más pequeñas (meteorización), que pierden así su valor hidráulico. Esto se traduce en un retraso en los tiempos de fraguado y en una disminución de las resistencias mecánicas, especialmente las de compresión a cortas edades.

La meteorización del cemento se traduce también en un aumento de la pérdida al fuego, correspondiente a las partículas finas meteorizadas. Este ensayo es el que detecta la meteorización de forma más directa y cuantitativamente expresiva. A veces puede utilizarse un cemento ligeramente meteorizado, pero teniendo en cuenta sus nuevas características: su distinta granulometría, su retraso en el fraguado y su eventual pérdida de resistencias mecánicas. Al desaparecer los finos, disminuyen el calor de hidratación y la retracción en las primeras edades, requiriendo tanta más agua de amasado cuanto mayor haya sido el proceso de meteorización.



ALBERTO VILLARINO OTERO