

Índice

Contenido	Pág.
Objetivos	
▪ General	1
▪ Específicos	1
Introducción	2
Marco teórico	
▪ Aspectos generales	4
▪ Historia del cemento	6
▪ Fabricación	
- Obtención y preparación de materias primas	9
- Molienda y cocción de materia prima	11
- Proceso de fabricación del clinker	13
- Molienda del cemento	17
▪ Propiedades químicas	20
▪ Propiedades físicas y mecánicas	25
▪ Clasificación del cemento	29
▪ Efectos ambientales de la producción de cemento	41
▪ Empresas productoras de cemento en Nicaragua	45
- Cemex	
- Holcim	
Conclusiones	48
Bibliografía	49

Objetivo general

- ❖ Ampliar los conocimientos teóricos acerca del cemento como elemento principal en la construcción.

Objetivos específicos

- ❖ Describir el proceso de fabricación.
- ❖ Conocer sus propiedades, así como la influencia que estas tienen en el empleo del mismo.
- ❖ Iniciar al estudiante en el conocimiento de los diferentes tipos de cemento y su aplicación adecuada de acuerdo a las necesidades de la obra.

INTRODUCCIÓN

El arquitecto o el ingeniero normalmente deben decidir y especificar el tipo de cemento que se debe emplear en una obra. Nuestro tema aborda lo que es el cemento, su proceso de fabricación, propiedades, clasificación y el impacto ambiental que ocasiona su producción.

La palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión.

Es un producto de origen mineral, que mezclado con agua, da lugar a una masa que fragua y se endurece incluso bajo el agua, totalmente impermeable, y que mantiene sus propiedades en contacto con el agua. Su dureza, resistencia y capacidad para adoptar muy distintas formas lo hacen idóneo para trabajos en construcción.

El cemento es una de las materias primas de la construcción mas populares y hoy en día mas indispensables y ha jugado un papel clave en la historia de la civilización, su uso puede constatarse desde la antigüedad. El denominado cemento Pórtland fue patentado en 1824, y desde finales del siglo XIX el hormigón, producto basado en el cemento Pórtland y esencial para la construcción de viviendas, hospitales, escuelas, carreteras, puentes, puertos, etc. , se ha convertido en uno de los materiales de construcción más apreciados. El uso del cemento ha contribuido al bienestar de la sociedad y al crecimiento económico por generaciones.

En la actualidad no existen obras que se puedan emprender sin su concurso. Es el pegante mas barato y mas versátil por su excelencia y sus propiedades físicas y mecánicas que son aprovechadas en multitud de usos. Además es el elemento activo en una mezcla de concreto o de mortero.

Tiene diversas aplicaciones como en la unión de arena y grava con cemento Pórtland (es el más usual) para formar hormigón, pegar superficies de distintos materiales o para revestimientos de superficies a fin de protegerlas de la acción de sustancias químicas. Tiene diferentes composiciones para usos diversos.

Los cementos pueden recibir el nombre del componente principal, como el cemento calcáreo, que contiene óxido de silicio, o como el cemento epoxiaco, que contiene resinas epoxídicas; o de su principal característica, como el cemento hidráulico, o el cemento rápido. Los cementos utilizados en la construcción se denominan en algunas ocasiones por su origen, como el cemento romano, o por su parecido con otros materiales, como el caso del cemento Pórtland, que tiene cierta semejanza con la piedra de Pórtland, usada en Gran Bretaña para la construcción. Los cementos que resisten altas temperaturas se llaman cementos refractantes.

MARCO TEORICO

Aspectos Generales

El cemento, aglomerante hidráulico (aglomerante: cuerpo que sirve para reunir varios elementos en una masa compacta), es un material inorgánico, no metálico, compuesto de cal, alúmina, fierro y sílice, finamente molido. Mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece, manteniendo su resistencia y estabilidad incluso dentro del agua. Las sustancias componentes del cemento reaccionan con el agua de la mezcla, formando silicatos de calcio hidratados.

Es el conglomerante hidráulico que resulta de la pulverización del clinker, frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adiciona sulfato de calcio natural, o agua y sulfato de calcio natural. A criterio del productor pueden incorporarse además, como auxiliares a la molienda o para impartir determinadas propiedades al cemento, otros materiales en proporción tal, que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto.

“Conglomerante hidráulico es el material finamente pulverizado que, al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar, tanto en el aire como en el agua, y formar una pasta endurecida”.

“Clinker es el material sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura de 1,400 °C , de materias primas de naturaleza calcárea y arcilla ferruginosa, previamente triturada, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas. Esencialmente el clinker esta constituido por silicatos, aluminatos y aluminoferritos de calcio”.

“Sulfato de calcio natural es el sulfato cálcico dihidratado, hemihidratado o anhidro”.

La industria de cemento es intensiva en energía. El energético es el principal factor de costo, significando 30-40% del costo total de producción. En su producción se producen emisiones del horno de cemento que provienen, primariamente, de las reacciones físicas y químicas de las materias primas y, secundariamente, de la combustión de los combustibles.

Los principales componentes de los gases de emisión del horno son el nitrógeno del aire de combustión, CO_2 procedente de la calcinación del CO_3Ca y de los combustibles quemados, agua del proceso de combustión y de las materias primas, y el oxígeno en exceso.

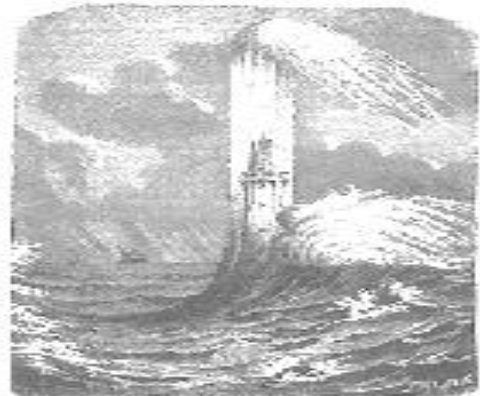
Los gases de combustión contienen también pequeñas cantidades (menos de 1%) de partículas, óxidos de azufre y de nitrógeno, y otros compuestos; la contribución de las emisiones de la producción de cemento al inventario de las totales de los países industrializados es muy baja.

El cemento es un producto ("commodity") de precio unitario bajo, que no admite grandes costos de transporte y por ello compite en el mercado.

Historia del Cemento

Los etruscos hacía el año 700 a.C, utilizaban mezclas de puzolana y cal para hacer un mortero, se puede decir que es la primera reminiscencia del Cemento. Los romanos utilizaron con profusión un cemento fabricado a partir de una tierra volcánica, la puzolana, muy abundante cerca de Roma, mezclada con cal calcinada. Fue el primer cemento resistente al agua o mortero hidráulico. Este cemento, conocido como opus caementicium (obra cementicia), se mezclaba con ladrillo y piedras, o cemento, para formar hormigón al que se le confería la forma deseada mediante encofrados realizados en madera, una técnica que aún subsiste. Este material resistente al fuego y que fraguaba incluso bajo el agua, aligeraba las contracciones, por lo que permitía la realización de grandes cúpulas y bóvedas de hormigón. El uso del cemento y el hormigón cesaron tras la desaparición de las técnicas constructivas romanas, y no volvieron a utilizarse hasta varios siglos más tarde.

En el siglo XVIII, un británico, John Smeaton, se encargó del diseño de un faro en Gran Bretaña. Ante la necesidad de un material resistente al agua, volvió a recuperar el antiguo cemento romano, al añadir a la cal la conocida tierra volcánica de puzolana y otros aditivos que le conferían características hidráulicas.



1774
El Faro de

Smeaton investigó las propiedades de la cal y llegó a la conclusión de que la mezcla que mejor resultado ofrecía era aquella en la que la cal contenía una cierta parte de arcilla. Utilizando un arcilla que se encontraba cerca de Londres patentó un cemento en 1796, al que llamó cemento romano. Este tipo de cemento natural fue muy utilizado hasta finales del siglo XIX; con él se realizaron grandes obras públicas, dado que aprovecharon los yacimientos naturales de caliza mezclada con arcilla.

La mezcla original de los cementos antiguos no se olvidó e incluso se mejoró en 1839, cuando el francés J. L. Vicat procedió a crear cemento con la mezcla de cal y arcilla para utilizar en el puerto de Cherburgo. Este cemento ya es presentado como hidráulico, ya que se endurece en presencia de agua y es totalmente impermeable, por lo que es perfecto para usos como el de la construcción de puertos.

Aunque ciertos tipos de cementos que se fraguan y endurecen con agua de origen mineral eran conocidos desde la antigüedad, sólo han sido empleados como cementos hidráulicos a partir de mediados del siglo XVIII. El término cemento Pórtland se empleó por primera vez en 1824 por el albañil británico Joseph Aspdin, porque pensaba que con el hormigón, fabricado con su nueva mezcla, sería capaz de sustituir a la famosa piedra extraída en Inglaterra en la Isla de Pórtland, que era muy utilizada para la construcción en este país. Era un cemento de color gris, muy duro y se adaptaba de manera inmejorable a las nuevas construcciones, y ya en 1828, fue utilizado el hormigón fabricado con este cemento para cubrir un túnel que atravesaba el río Támesis. De todos modos el cemento Pórtland no desbancó a los de origen natural, ya que durante algún tiempo se utilizaron ambos tipos indistintamente. Paralelas al proceso de extensión del cemento Pórtland, se crearon nuevas aplicaciones y así, en 1850, se construyeron las primeras carreteras con hormigón en Austria.

La base de este nuevo cemento era la calcinación de una mezcla de piedra caliza y arcillas o pizarras, calentadas hasta convertirse en carbonilla (o escorias) y después trituradas. En aquella época el cemento se fabricaba en hornos verticales, esparciendo las materias primas sobre capas de coque a las que se prendía fuego. Los primeros hornos rotatorios surgieron hacia 1880. El cemento Pórtland se emplea hoy en la mayoría de las estructuras de hormigón. Entre los años 1825-1872 aparecen las primeras fábricas de cemento en Inglaterra, Francia y Alemania. En el año 1890 aparecen las primeras fábricas de cemento en España. Serán el País Vasco y Cataluña los focos en los que se produce la primera industrialización. La mayor producción de cemento se produce, en la actualidad, en los países más poblados y/o industrializados, aunque también es importante la industria cementera en los países menos desarrollados. La antigua Unión Soviética, China, Japón y Estados Unidos son los mayores productores, pero Alemania, Francia, Italia, España y Brasil son también productores importantes.

Fabricación

El cemento se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como la caliza, y por alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. En ocasiones es necesario agregar otros productos para mejorar la composición química de las materias primas principales; el más común es el óxido de hierro.

Las **calizas**, que afortunadamente se presentan con frecuencia en la naturaleza, están compuestas en un alto porcentaje (más de 60%) de carbonato de calcio o calcita (CaCO_3 , Cuando se calcina da lugar a óxido de calcio, CaO), e impurezas tales como arcillas, Sílice y dolomita, entre otras. Hay diferentes tipos de caliza y prácticamente todas pueden servir para la producción del cemento, con la condición de que no tengan cantidades muy grandes de magnesio, pues si el cemento contiene más cantidades del límite permitido, el concreto producido con el aumenta de volumen con el tiempo, generando fisuras y por lo tanto pérdidas de resistencia.

Pizarra: Se les llama "pizarra" a las arcillas constituidas principalmente por óxidos de silicio de un 45 a 65%, por óxidos de aluminio de 10 a 15%, por óxidos de fierro de 6 a 12% y por cantidades variables de óxido de calcio de 4 a 10%. Es también la principal fuente de álcalis.

La pizarra representa aproximadamente un 15% de la materia prima que formará el clínker. Como estos minerales son relativamente suaves, el sistema de extracción es similar al de la caliza, sólo que la barrenación es de menor diámetro y más espaciada, además requiere explosivos con menor potencia. Debido a que la composición de éstos varía de un punto a otro de la corteza terrestre, es necesario asegurar la disponibilidad de las cantidades suficientes de cada material.

La **arcilla** que se emplea para la producción de cemento esta constituida por un silicato hidratado complejo de aluminio, con porcentajes menores de hierro y otros elementos. La arcilla aporta al proceso los óxidos de sílice (SiO_2), hierro (Fe_2O_3) y aluminio (Al_2O_3).

El **yeso**, sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), es un producto regulador del fraguado, que es un proceso de endurecimiento que del cemento, y lo que el yeso hace es retardar el proceso para que al obrero le de tiempo de preparar el material . Este se agrega al final del proceso de producción.

El proceso de fabricación del cemento comprende las siguientes etapas principales:

1. Obtención y preparación de materias primas

El proceso de fabricación del cemento se inicia con los estudios y evaluación minera de materias primas (calizas y arcillas) necesarias para conseguir la composición deseada de óxidos metálicos para la producción de clínker. Una vez evaluada se tramita la concesión o derechos sobre la cantera.

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

Óxidos componentes del clínker	Porcentaje %
Oxido de calcio "Cal" (CaO)	60-69
Oxido de Silicio "Sílice"	18-24
Oxido de Aluminio "Alúmina" (Al_2O_3)	4-8
Oxido de Hierro (Fe_2O_3)	1-8

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

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

Como segundo paso se complementan los estudios geológicos, se planifica la explotación y se inicia el proceso: de perforación, quema, remoción, clasificación, cargue y transporte de materia prima.



Las materias primas esenciales -caliza, margas y arcilla- que son extraídas de canteras, en general próximas a la planta, deben proporcionar los elementos esenciales en el proceso de fabricación de cemento: calcio, Oxígeno, silicio, aluminio y hierro.

Muy habitualmente debe apelarse a otras materias primas secundarias, bien naturales (bauxita, mineral de hierro) o subproductos y residuos de otros procesos (cenizas de central térmica, escorias de siderurgia, arenas de fundición, ...) como aportadoras de dichos elementos. Las calizas pueden ser de dureza elevada, de tal modo que exijan el uso de explosivos y luego trituración, o suficientemente blandas como para poderse explotar sin el uso de explosivos.

El material resultante de la voladura es transportado en camiones para su trituración, los mismos que son cargados mediante palas o cargadores frontales de gran capacidad.

Las materias primas naturales son sometidas a una primera trituración, bien en cantera o a su llegada a fábrica de cemento donde se descargan para su almacenamiento.

La trituración de la roca, se realiza en dos etapas, inicialmente se procesa en una chancadora primaria, del tipo cono que puede reducirla de un tamaño máximo de 1.5 m hasta los 25 cm. El material se deposita en un parque de almacenamiento. Seguidamente, luego de verificar su composición química, pasa a la trituración secundaria, reduciéndose su tamaño a 2 mm aproximadamente.

El material triturado se lleva a la planta propiamente dicha por cintas transportadoras, depositándose en un parque de materias primas. En algunos casos se efectúa un proceso de pre-homogeneización.



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

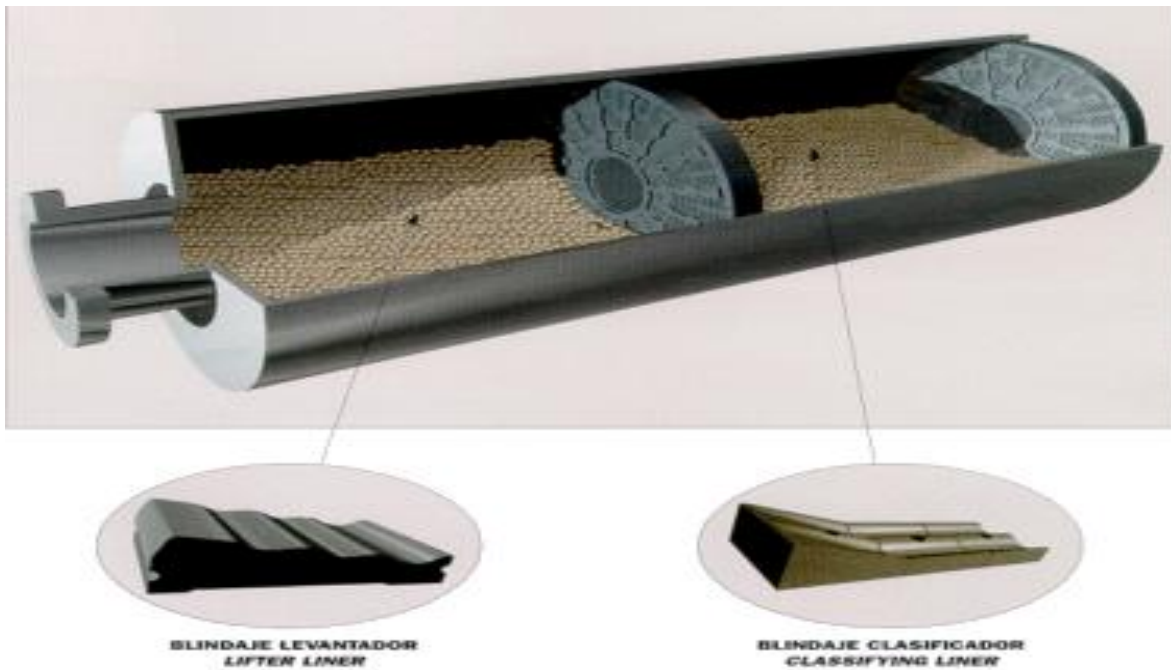
Este material es transportado y almacenado en un silo del cual se alimenta el molino de crudo. Allí mismo se tienen dos silos más con los materiales correctivos (minerales de hierro y caliza correctiva alta). Se dosifica dependiendo de sus características; y mediante básculas el material al molino de harina (o crudo). 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.

2. Molienda y cocción de materias primas

Esta etapa comprende la molienda de materias primas (molienda de crudo), por molinos de bolas, por prensas de rodillos o a fuerza de compresión elevadas, que producen un material de gran finura.

En este proceso se efectúa la selección de los materiales, de acuerdo al diseño de la mezcla previsto, para optimizar el material crudo que ingresará al horno, considerando el cemento de mejores características.

Con la molienda se logra reducir el tamaño de las partículas de materias para que las reacciones químicas de cocción en el horno puedan realizarse de forma adecuada. El molino muele y pulveriza los materiales hasta un tamaño medio de 0.05 mm.



El material molido debe ser homogeneizado para garantizar la efectividad del proceso de clinkerización mediante una calidad constante. Este procedimiento se efectúa en silos de homogeneización. El material resultante constituido por un polvo de gran finura debe presentar una composición química constante.



El horno debe recibir una alimentación químicamente homogénea. Esto se consigue mediante el control de la correcta dosificación de los materiales que forman la alimentación al molino de crudo. Si se parte de materiales variables en calidad, previamente se consigue su prehomogeneización en una instalación "ad-hoc". Después del molino, el crudo sufre aún un proceso de homogeneización final, que asegura una mezcla homogénea con la composición química requerida.

Además de la homogeneidad química, es fundamental la finura y la curva granulométrica del crudo, lo que se consigue mediante el ajuste del separador que clasifica el producto que sale del molino, reintroduciéndose la fase no suficientemente molida (circuito cerrado).

3. Procesos de fabricación del clínker

Clinker Se define clínker como el producto obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos que contengan óxido de calcio, silicio, aluminio y hierro en cantidades convenientemente calculadas.

El clínker es un producto intermedio en el proceso de elaboración de cemento. Una fuente de cal como las calizas, una fuente de sílice y alúmina como las arcillas y una fuente de óxido de hierro se mezclan apropiadamente, se muele finamente y se calcinan en un horno aproximadamente a 1,500 grados centígrados, obteniéndose el denominado clínker de cemento Pórtland.

La harina cruda es introducida mediante sistema de transporte neumático y debidamente dosificada a un intercambiador de calor por suspensión de gases de varias etapas, en la base del cual se instala un moderno sistema de precalcinación de la mezcla antes de la entrada al horno rotatorio donde se desarrollan las restantes reacciones físicas y químicas que dan lugar a la formación del clínker.

El intercambio de calor se produce mediante transferencias térmicas por contacto íntimo entre la materia y los gases calientes que se obtienen del horno, a temperaturas de 950 a 1,100 °C.

El horno es el elemento fundamental para la fabricación del cemento. Está constituido por un tubo cilíndrico de acero con longitudes de 40 a 60 m y con diámetros de 3 a 6 m, que es revestido interiormente con materiales refractarios, en el horno para la producción del cemento se producen temperaturas de 1,500 a 1,600°C, dado que las reacciones de clinkerización se encuentra alrededor de 1,450°C. El clinker que egresa al horno de una temperatura de 1,200 °C pasa luego a un proceso de enfriamiento rápido por enfriadores de parrilla. Seguidamente por transportadores metálicos es llevado a una cancha de almacenamiento.

En cómo se procesa el material antes de su entrada al horno de clinker, se distinguen cuatro tipos de proceso de fabricación: vía seca, vía semi-húmeda.



función de procesa el material antes de su entrada al horno de clinker, se distinguen cuatro tipos de proceso de fabricación: vía seca, vía semi-húmeda y vía húmeda. La tecnología

que se aplica depende fundamentalmente del origen de las materias primas. El tipo de caliza y de arcilla y el contenido en agua (desde el 3% para calizas duras hasta el 20 % para algunas margas), son los factores decisivos.

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.

- a. Vía Seca
- b. Vía semi-seca,
- c. Vía semi-húmeda
- d. Vía húmeda

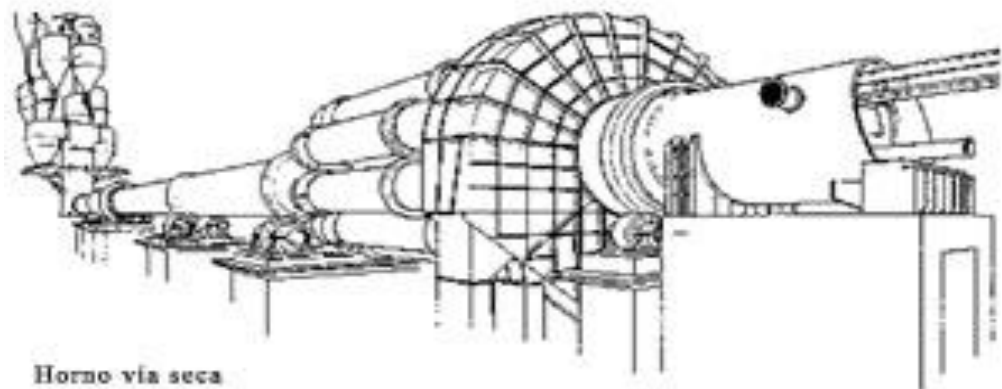
a. Proceso de vía seca

El proceso de vía seca es el más económico, en términos de consumo energético, y es el más común (en Europa, más del 75%; en España, casi el 100%).

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).



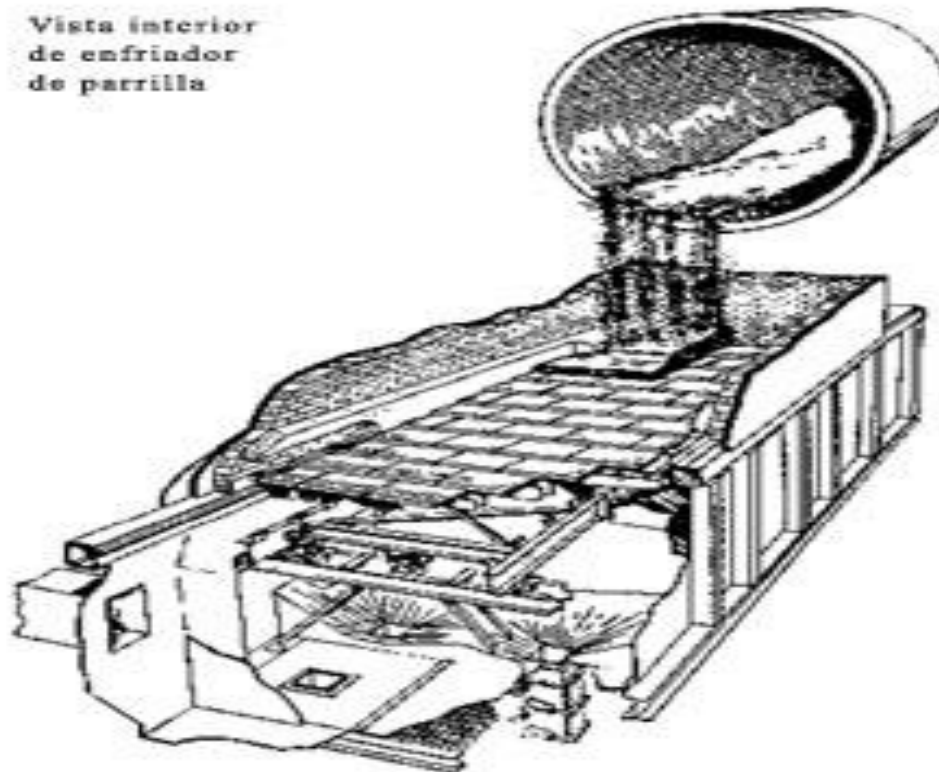
b. Proceso de vía húmeda

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.

Si la arcilla es bastante húmeda y tiene la propiedad de desleírse en el agua, debe ser sometida a la acción de mezcladores para formar la lechada; esto se efectúa en un molino de lavado, el cual es un pozo

circular con brazos revolvedores radiales con rastrillos, los cuales rompen los aglomerados de materias sólidas.



c. y d. 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.

4. 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.



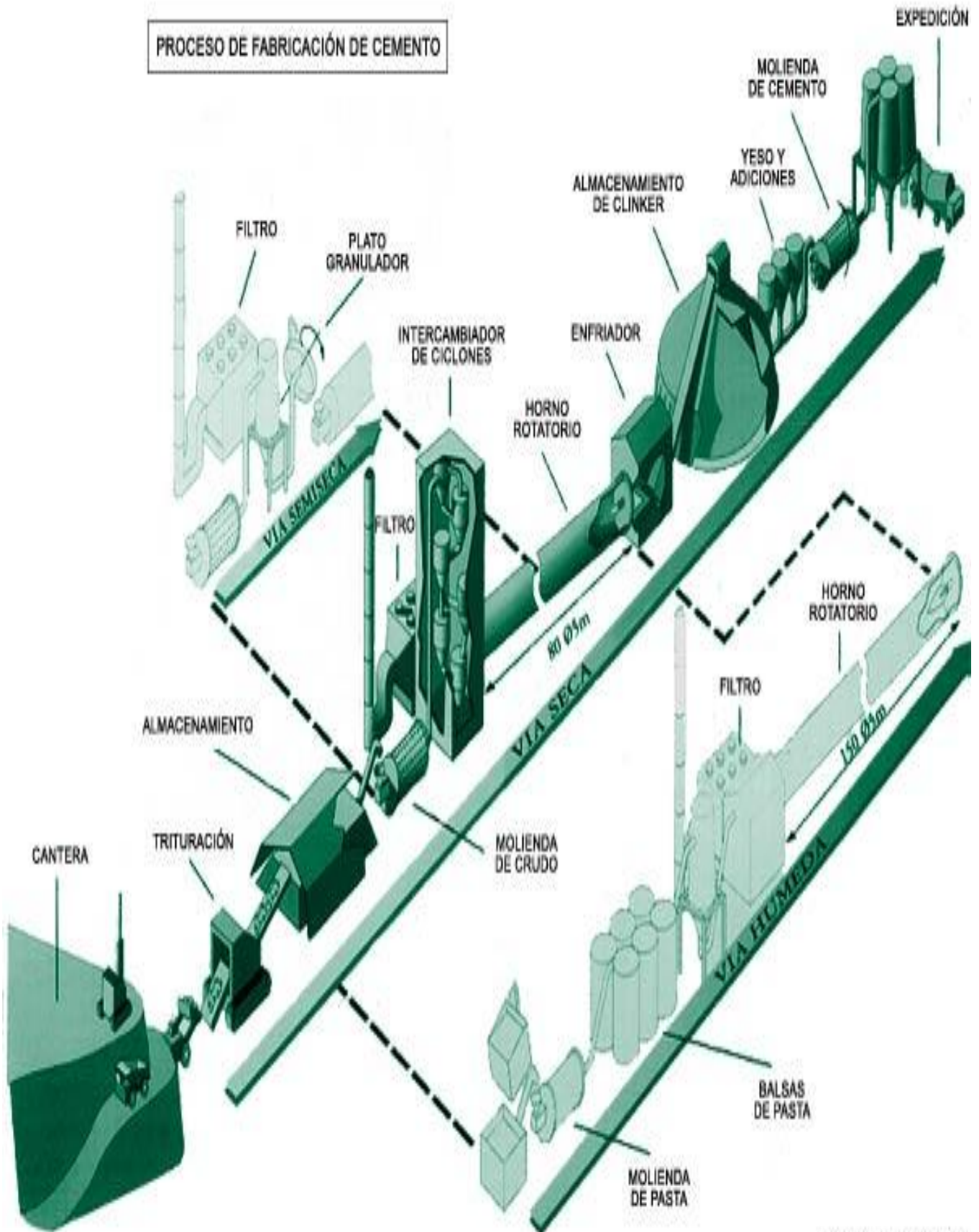
Para ello se utilizan los siguientes equipos:

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

Una vez obtenido el cemento se almacena en silos para ser ensacado o cargado a granel.



PROCESO DE FABRICACIÓN DE CEMENTO



Propiedades químicas:

Composición química:

Las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento Pórtland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos compuestos interactúan en el horno rotatorio de producción, para formar una serie de productos más complejos hasta formar una serie de productos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico, con la excepción de un pequeño residuo de cal no combinada, que no ha tenido suficiente tiempo para reaccionar.

Para efectos prácticos se entiende, como química del cemento, la química de los silicatos y aluminatos cálcicos anhidros e hidratados. En la química del cemento las fórmulas se expresan a menudo con la suma de óxidos; así, el silicato tricálcico (Ca_3SiO_5) puede escribirse en la forma 3CaOSiO_2 . esta forma no implica, por supuesto, que los óxidos constituyentes tengan una existencia independiente dentro de la estructura del compuesto. En general, se emplean abreviaturas para las fórmulas químicas de los óxidos más frecuentes, como C para CaO y S para SiO_2 . el silicato tricálcico Ca_3SiO_5 (3CaOSiO_2) se transforma así en C3S. Este sistema se usa con frecuencia, justamente con la notación química ordinaria dentro de una simple ecuación química. Por ejemplo:



Nombre del óxido	Fórmula	Abreviatura
Oxido de calcio	CaO	C
Dióxido de silicio	SiO_2	S
Oxido de aluminio	Al_2O_3	A
Oxido férrico	Fe_2O_3	F
Agua	H_2O	H
Oxido de magnesio	MgO	M
Trióxido de azufre	SO_3	s
Oxido de potasio	K_2O	K
Oxido de sodio	Na_2O	N
Oxido de litio	Li_2O	L
Oxido de fósforo	P_2O_5	P
Oxido de hierro	FeO	f
Oxido de titanio	TiO_2	T

Como se ha dicho, el clinker Pórtland es un mineral artificial formado por silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio, por lo cual se suelen considerar cuatro componentes principales del cemento que se pueden observar en la siguiente tabla:

Compuestos del Cemento Pórtland

Nombre del compuesto	Formula	Abreviatura
Silicato tricalcico	3CaOSiO_2	C_3S
Silicato dicalcico	2CaOSiO_2	C_2S
Aluminio tricalcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracalcico	$4\text{CaOFe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C_4AF

Estos compuestos se forman en el interior del horno cuando la temperatura alcanza el punto en que la mezcla cruda se transforma en un liquido pastoso, que al enfriarse da origen a sustancias cristalinas de los primeros compuestos citados, rodeados por un material intersticial que contiene C_4AF y otros compuestos.

Estos compuestos, llamados potenciales, no se presentan aislados sino que mas bien puede hablarse de "fases" que los contienen en una gran proporción junto con algunas impurezas, por lo cual no son verdaderos compuestos en sentido químico, pero las proporciones calculadas de ellas revelan valiosa información en cuanto a las propiedades del cemento. De esta forma se habla de la fase Alita a base de C_3S ; de la fase Belita, a base de C_2S , de la fase aluminato, rica en C_3A , y de la fase ferrito, solución sólida que consiste en ferritos y aluminatos de calcio.

La **Alita** (a base de C_3S) es la fase principal en la mayoría de los clinkers Pórtland y de ella dependen en buena parte las características de desarrollo de resistencia mecánica; el C_3S endurece mas rápidamente por tanto tiene mayor influencia en el tiempo del fraguado y en la resistencia inicial.

La **Belita** es usualmente la segunda fase en importancia en el clinker y su componente principal, el C_2S , se hidrata mas lentamente y su contribución al desarrollo de la resistencia empieza a sentirse después de una semana.

Hidratación del cemento

Es la reacción mediante el cual el cemento se transforma en un agente de enlace, generado por los procesos químicos responsables de la formación de compuestos durante la hidratación, lo cuales originan propiedades mecánicas útiles en las aplicaciones estructurales.

El estudio de las reacciones de hidratación del cemento suele hacerse sobre la pasta de cemento, la cual consiste en sólidos agua y poros. Los sólidos son en realidad un conjunto de partículas que difieren en cuanto a su composición química, morfológica y calidad cementante. Los poros difieren principalmente en tamaño y, por lo tanto, controlan el movimiento y comportamiento del agua necesaria para los procesos químicos de hidratación.

Formación de la pasta de cemento

Esta se forma como consecuencia de las reacciones químicas del cemento con el agua. Dependiendo de la composición del cemento y de las condiciones de hidratación (temperatura, humedad, etc.), lo cual hace que la pasta sea un sistema dinámico que cambia con el tiempo. Se forma un conjunto complejo de productos de hidratación.

Un gramo de cemento que tiene un diámetro medio cercano a 50 micras después de cierto tiempo de estar en contacto con el agua, empieza a dar señales de actividad química en su superficie, ya que aparecen cristales que van creciendo lentamente y se forma una sustancia gelatinosa que los envuelve (Gel); este gel que se forma inicialmente se llama gel inestable por poseer un porcentaje elevado de agua tanto que al cabo de poco tiempo la totalidad de agua disponible esta transformada en gel.

Los compuestos cristalinos necesitan agua para desarrollarse y por lo tanto la retiran del gel, el cual a medida que va perdiendo agua se transforma en gel estable que en gran medida es responsable de las propiedades mecánicas de las pastas endurecidas.

Las reacciones de hidratación

Son principalmente las reacciones de hidratación del clinker sumándose a ellas las debidas a la presencia de sulfato de calcio (yeso) de las adiciones aditivas, si las hay y de los aditivos y compuestos menores pueden considerarse como principales reacciones de hidratación del clinker las correspondientes a la hidratación los silicatos y aluminatos de calcio. Durante la reacción con el agua los silicatos y aluminatos liberan hidróxido de calcio Ca(OH)_2 .

Etapas de la reacción	Procesos químicos	Procesos físicos	Influencia en las propiedades mecánicas
Primeros minutos	Rápida dilución inicial de sulfatos y aluminatos de álcali, hidratación inicial de C_3S ; formación de etringita.	Alta velocidad de evolución de calor	Cambio en la composición de la fase líquida, puede influir en el fraguado.
De 1-4 horas (periodo de inducción)	Disminución de silicato pero aumento en la concertación de iones de Ca se inicia formación de núcleos de CH y C-S-H; la concentración de Ca alcanza un nivel de súper saturación	Formación de los primeros productos de hidratación; baja velocidad de evolución de calor.	Formación de cristales por balance inadecuado de los iones de aluminato y sulfato, pueden influir en el fraguado y la trabajabilidad. La hidratación de los silicatos de calcio determina el fraguado inicial.
Aprox. De la 3ra. a 12. hora (etapa de aceleración)	Rápida reacción química de los silicatos de Ca para forman C-S-H y CH; disminución de la súper saturación de Ca.	La rápida formación de hidratos provoca una disminución en la porosidad, alta velocidad de evolución de calor.	Fraguado inicial, cambio de consistencia plástica a rígida, desarrollo de resistencia temprana, fraguado final.
Etapa de postaceleración	Formación de CH y C-S-H controlada por difusión, recristalación de etringita a monosulfato y polimerización de posibles silicatos	Disminución en la evolución de calor, continua disminución de la porosidad formación de adherencia entre partículas, pasta y agregados.	Continuo desarrollo de la resistencia a velocidad decreciente. La porosidad y morfología del sistema hidratado determina la resistencia final, estabilidad del volumen y durabilidad.

Calor de hidratación

El proceso de hidratación es un proceso exotérmico lo cual hace que los concretos al fraguar y endurecer aumenten de temperatura; este incremento es importante en concretos masivos, debido a que cuando ha ocurrido el fraguado y se inicia el descenso térmico, se origina contracción del material, que puede conducir a graves agrietamientos.

Es el generado cuando reacciona el cemento y el agua. Dicha cantidad de calor depende de la composición química del cemento; a la tasa de generación de calor la afecta la finura y temperatura de curado, así como la composición química. La alta temperatura en estructuras de gran masa puede resultar inconveniente ya que podría estar acompañada de dilatación térmica por otra parte es benéfica en tiempo frío, ya que ayuda a mantener temperaturas de curado favorable.

El calor de hidratación es la cantidad de calor en calorías por gramo de cemento deshidratación, después de una hidratación completa a una temperatura dada. El calor de hidratación del cemento es aproximadamente igual a la suma de los calores de hidratación de los compuestos individuales, hidratados por separado.

compuesto	Calor liberado en cal/g			
	7 días	28 días	6 meses	Hidratado totalmente
C3S	110	120	120	120
C2S	20	45	60	62
C3A	185	205	207	207
C4AF	40	50	70	100

En un cemento Pórtland normal el calor de hidratación es de 80-100 calorías por gramo el aluminato tricalcico (C3A) desarrolla el mas alto calor de hidratación por lo cual se debe controlar su contenido en un cemento.

Una formula aproximada para calcular el calor de hidratación es:

Calor de hidratación de un gramo de cemento = $136 (\%C3S) + 62 (\%C2S) + 200 (\%C3A) + 30 (\%C4AF)$

Resistencia a los sulfatos

Debido a que los sulfatos atacan el concreto endurecido porque reaccionan con el aluminato tricalcico, para formar el sulfoaluminato de calcio el cual tiene un volumen mayor que el de los dos componentes que lo originan, es conveniente desde un punto de vista controlar el contenido de C3A, la consecuencia de este aumento de volumen son la aparición de esfuerzos internos que pueden desintegrar el concreto.

Propiedades físicas y mecánicas del Cemento:

Estas permiten complementar las propiedades químicas y conocer algunos aspectos de su bondad. Estas dependen del estado en que se encuentre y son medida a través de ensayos sobre el cemento, la pasta del cemento y sobre el mortero los cuales determinan las características físicas y mecánicas del cemento antes de ser utilizado.

Finura o superficie específica

Como sabemos una de las etapas del proceso de fabricación del cemento es la molienda del clinker con el yeso. La finura es una de las propiedades más importante ya que esta ligada a su valor hidráulico. Ya que la hidratación de los granos de cemento ocurre desde la superficie al interior, el área total superficial de las partículas del cemento constituye el material de hidratación. Al aumentar finura aumenta la rapidez a la que se hidrata el cemento dando una mayor retracción y por tanto es más susceptible a la fisuración. Es decir que una molienda muy fina dará lugar a cementos que endurecen rápidamente y por tanto también tienen un desarrollo más rápido de su resistencia, cuanto más fino sea un cemento este se deteriorara más rápido por la exposición a la la atmósfera.

Por otro lado los cementos con granos gruesos se hidratan y endurecen lentamente y pueden producir exudación de agua por su escasa rapidez para retenerla. Se estima que la velocidad de hidratación es de 3.5 micras en 28 días. , lo cual indica que las partículas pueden pasar varios años en hidratarse inclusive no hacerlo lo cual daría un rendimiento muy pequeño del mismo.

Firmeza

Cualidad en que una pasta de cemento endurecida conserva su volumen después de fraguar. La ausencia de esta propiedad es producida por cantidades excesivas de cal libre muy quemada.

Tiempo de fraguado

Este termino se usa para describir el cambio del estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento. En la practica, cuando una cantidad de cemento se mezcla con agua se forma una pasta plástica, que se pierde a medida que pasa el tiempo, hasta que llega un momento en que la pasta pierde su viscosidad y se eleva su temperatura, el tiempo transcurrido desde la adición del agua se llama fraguado inicial del cemento e indica que el cemento esta hidratado y esta semiduro.

Posteriormente la pasta sigue fraguando hasta que deja de ser deformable con carga relativamente pequeñas. Se vuelve rígida y llega al máximo de temperatura este es el tiempo de fraguado final e indica que el cemento se encuentra aun más hidratado y la pasta ya esta dura. A partir de este momento la pasta empieza el proceso de endurecimiento y la estructura del cemento fraguado va adquiriendo resistencia mecánica. Fraguado es el tiempo que una mezcla de cemento permanece en estado plástica, el tiempo suficiente para permitir un colado sin difíciles operaciones determinadas. El periodo en el cual la mezcla permanece plástica depende mas de la temperatura y del contenido de agua que del tiempo de fraguado. La prueba de fraguado se hacen con la aguja de Vicat de peso 1 Kg. *Los factores* que tienen mayor influencia en los tiempos de fraguado son los siguientes:

- ❖ La composición química del cemento.
- ❖ La finura del cemento, ya que mientras más finos los granos mayor velocidad de hidratación.
- ❖ Mientras mayor sea la cantidad de agua de amasado más rápido es el fraguado.

- ❖ A menos temperatura ambiente mas lentamente ocurren las reacciones de hidratación a temperaturas por debajo de -1 grado Centígrado el cemento no fragua.
- ❖ A mayor temperatura ambiente más rápido ocurren las reacciones de hidratación pero los 32 grados se puede observar un efecto inverso.

Falso fraguado

Rigidez prematura y anormal del cemento, que se presente dentro de los primeros minutos después de haberlo mezclado con agua. Difiere del anterior en que no despidе calor en forma apreciable y, si se vuelve a mezclar la mezcla de cemento sin adición de agua se reestablece su plasticidad y fraguado normal sin pérdida de resistencia y se debe a que en algunas ocasiones cuando las temperaturas en fabricas de molino son superiores a 100 °C se puede presentar deshidratación parcial o total del regulador (Retardador) del fraguado del cemento que es el yeso.

Resistencia a compresión

Es la propiedad que resulta mas obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales. Es importante tener en cuenta las causas que puedan provocar pérdidas de resistencia de este material: Envejecimiento, humedecimiento, incorrecto almacenamiento. La resistencia a la tracción y compresión del cemento puzolánico es un poco menos que la del cemento corriente durante el primer año, pero no hay ningún aumento mas después de dicho periodo en el cemento corriente. Gracias a la reacción físico-química de absorción de la cal por la puzolana aumenta la resistencia mecánica a largo plazo superando el valor de resistencia del corriente con una actividad que se desarrolla durante muchos años.

La resistencia de los cementos se desarrolla en períodos de tiempo relativamente largos. El crecimiento es rápido en los primeros días y después de cuatro semanas es poco importante en los cementos portland, no así en los cementos con adiciones, en los cuales, dependiendo del tipo de adición y de su contenido, el aumento de resistencia más allá de los 28 días puede llegar a ser fundamental para determinado tipo de obras.

Los porcentajes de resistencia comparados con la resistencia de 28 días, están entre 30 y 50 % a 3 días y entre 50 y 80 % a los 7 días.

El aumento de resistencia es bajo después de los 28 días, en aquellos cementos que tienen porcentajes mayores de resistencia a 3 y 7 días. Por el contrario, aquellos que tienen bajos porcentajes, aumentan su resistencia en forma muy significativa en el largo plazo.

Existen casos de cemento puzolánico que de 20-30 años de edad todavía la sílice de la puzolanica continua reaccionando con el hidrato de calcio del cemento con consiguiente aumento lento y continuo de la resistencia mecánica y química.

Perdida por ignición

Una elevada perdida por ignición es una indicación de prehidratación o carbonotación que puede ser producida por un almacenamiento incorrecto y prolongado. Normalmente la perdida de peso no excede del 2%.

Peso especifico

Es la relación que existe entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de este su valor varia poco y en un cemento Pórtland normal cuando no hay adiciones distintas al yeso, suele estar comprendido entre 3.1 - 3.15 g/Cm³. en caso de los cementos con adiciones es menor ya que el contenido de clinker por tonelada es menor y su valor puede estar en el rango de 3 - 3.1 g/Cm³ dependiendo del porcentaje de adiciones del cemento. Cuando es en escoria de altos hornos puede tener 2.9. El peso especifico de un cemento no indica la calidad del mismo; su uso principal es para el proyecto de mezcla.

Consistencia normal

La cantidad de agua que se le agrega el cemento la comunica una determinada fluidez, la cual aumenta al incrementar el contenido de agua. Existe una determinada fluidez para la cual se agrega cierta cantidad de agua esta fluidez es la que se llama consistencia normal. Es una característica complementaria de otros ensayos que tienen relación directa con la calidad del cemento como el tiempo de fraguado. Se mide por medio del aparato de vicat.

Los cementos pueden diferir entre si en cuanto al requerimiento de agua y la diferencia es aun mayor en cementos con adiciones los que requieren mas agua que los normales por su mayor superficie especifica. El contenido normal de una pasta se expresa en porcentaje de peso en seco y suele variar entre 23-33 porciento dependiendo de las características del cemento.

Clasificación de los cementos

De acuerdo a su composición, éstos pueden ser:

- Cemento Portland normal
- Cemento Portland Puzolánico
- Cemento Portland con Escoria de alto horno
- Cemento Portland Compuesto
- Cemento Portland con humo de Sílice

De acuerdo a sus características especiales, éstos pueden ser:

- Resistente a los sulfatos
- Baja reactividad álcali agregado
- Bajo calor de hidratación
- Blanco

Cemento Portland:

El "cemento Portland" es un término genérico, que actualmente se utiliza para abarcar a un grupo de materiales que tienen la propiedad de endurecerse, como roca, poco tiempo después de ser mezclados con agua. Su nombre, Portland, recuerda a una isla del mismo nombre y en donde se encuentra una piedra caliza que endurece de la misma forma que dicho cemento. Cuando el cemento Portland se mezcla con arena y piedra triturada resulta un material llamado "concreto", mucho más resistente que el cemento Portland. Es por tanto el cemento resultante de la mezcla íntima de arcillas y calizas, cocción de la mezcla y molienda del Clinker, añadiéndole finalmente regulador de fraguado.

Los cementos Portland típicos consisten en mezclas de silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) y silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) en diversas proporciones, junto con pequeñas cantidades de compuestos de magnesio y hierro. Para retardar el proceso de endurecimiento suele añadirse yeso. Este cemento es un agente aglutinante hidráulico con una composición por peso de no menos de 95% de Clinker y de cero a cinco por ciento de un componente menor, generalmente sulfato de calcio (yeso); se admite la adición eventual de otros productos siempre que no excedan el 1% en peso del total. Puede fraguar y endurecer bajo el agua y al mezclarse con agregados y agua produce concretos o morteros.

Los compuestos activos del cemento son inestables, y en presencia de agua reorganizan su estructura. El endurecimiento inicial del cemento se produce por la hidratación del silicato tricálcico, el cual forma una sílice hidratada gelatinosa e hidróxido de calcio. Estas sustancias cristalizan, uniendo las partículas de arena o piedras —siempre presentes en las mezclas de argamasa de cemento— para crear una masa dura. El aluminato tricálcico actúa del mismo modo en la primera fase, pero no contribuye al endurecimiento final de la mezcla. La hidratación del silicato dicálcico actúa de modo semejante, pero mucho más lentamente, endureciendo poco a poco durante varios años. El proceso de hidratación y asentamiento de la mezcla de cemento se conoce como curado, y durante el mismo se desprende calor.

El cemento Portland se fabrica a partir de materiales calizos, por lo general piedra caliza, junto con arcillas, pizarras o escorias de altos hornos que contienen óxido de aluminio y óxido de silicio, en proporciones aproximadas de un 60% de cal, 19% de óxido de silicio, 8% de óxido de aluminio, 5% de hierro, 5% de óxido de magnesio y 3% de trióxido de azufre.

Ciertas rocas llamadas rocas cementosas tienen una composición natural de estos elementos en proporciones adecuadas y se puede hacer cemento con ellas sin necesidad de emplear grandes cantidades de otras materias primas. No obstante, las cementeras suelen utilizar mezclas de diversos materiales.

Cementos especiales

Mediante la variación del porcentaje de sus componentes habituales o la adición de otros nuevos, el cemento Portland puede adquirir diversas características de acuerdo a cada uso, como el endurecimiento rápido y resistencia a los álcalis.

Los cementos de fraguado rápido, a veces llamados cementos de dureza extrarápida, se consiguen aumentando la proporción de silicato tricálcico o mediante una trituración fina de modo que el 99,5% logre pasar un filtro de 16.370 aberturas por centímetro cuadrado. Algunos de estos cementos se endurecen en un día al mismo nivel que los cementos ordinarios lo hacen en un mes. Sin embargo, durante la hidratación producen mucho calor y por ello no son apropiados para grandes estructuras en las que ese nivel de calor puede provocar la formación de grietas.

En los grandes vertidos suelen emplearse cementos especiales de poco nivel de calor, que por lo general contienen mayor cantidad de silicato dicálcico. En obras de hormigón expuestas a agentes alcalinos (que atacan al hormigón fabricado con cemento Portland común), suelen emplearse cementos resistentes con bajo contenido de aluminio.

En estructuras construidas bajo el agua del mar suelen utilizarse cementos con un contenido de hasta un 5% de óxido de hierro, y cuando se precise resistencia a la acción de aguas ricas en sulfatos se emplean cementos con una composición de hasta 40% de óxido de aluminio.

Cemento Portland Normal

Si una mezcla de arcilla y caliza o marga triturada se quema a muy elevadas temperaturas en un horno rotatorio, se forma el clinker. Cuando a este clinker se le agrega una pequeña cantidad de yeso y se muele hasta formar un polvo fino, se obtiene como producto el cemento portland. Este es el tipo de cemento que más se usa en la preparación de concreto para estructuras, caminos y otros propósitos generales en los que no se requieren propiedades especiales. Adquiere su resistencia con la suficiente rapidez para la producción general de obras de concreto.

Los concretos y morteros elaborados con cementos Portland normal, son atacados por sulfatos y ácidos. Los sulfatos pueden estar presentes en tabiques de arcilla, suelos y aguas subterráneas, se encuentran en mayor cantidad en el agua de mar; los ácidos pueden existir en suelos y aguas subterráneas como producto de procesos industriales o materias orgánicas. En esta situación puede ser necesario el empleo de cementos especiales o tomar otras medidas apropiadas.

Cemento puzolánico (el porcentaje de puzolana está entre 30 y 50 %)

Cemento producido con clinker portland yeso y puzolana, con la adición eventual de sulfato de calcio, lo que contribuye a aumentar las resistencias mecánicas tardías, así como la resistencia a ataques químicos.

La adición de puzolana confiere características ventajosas para los cementos, tales como mayor resistencia química, menor calor de hidratación, inhibición de la reacción nociva álcalis/árido.

Generalidades de la puzolana

La puzolana es un material sílico que finalmente dividido no posee propiedades hidráulicas pero posee constituyentes (sílice, alúmina), capaces de fijar el hidróxido de calcio, para producir compuestos estables con propiedades hidráulicas al mezclarse con el clinker. Esta se suele clasificar en naturales (aquellas que para su empleo solo requieren la molienda o pulverización sin aeración que en forma de ceniza o escoria han adquirido caracteres de roca llamadas tobas) y artificiales (formadas al calentar la arcilla y pizarra a una temperatura entre 600-900 °C y enfriarse rápidamente, también se obtiene con los exquitos petrolíferos):

- Cenizas y tobas volcánicas.
- Rocas silíceas sedimentarias (Pizarra, pedernales, etc.)
- Arcillas y pizarras calcinadas.
- Subproductos industriales como las cenizas y las escorias.

La composición química de estas es sílice, alúmina, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio, álcalis y agua combinada.

Usos

El Cemento mejora los resultados en la construcción de: pisos, firmes, castillos, trabes, zapatas, losas, columnas y aún en aquellas obras donde se requiere mayor resistencia al ataque de medios agresivos en suelos salitrosos y/o cercanos al mar.

Ventajas

La puzolana es un ingrediente activo que tiene como función básica formar un aglomerante con los productos liberados por la hidratación del cemento. Además, durante la elaboración del concreto, actúa como agregado fino, lo que permite sustituir parte de arena por grava.

Con esta idea se hicieron los procedimientos propuestos en la tabla de dosificación de concreto, los que pueden modificarse de acuerdo a las necesidades.

El concreto obtenido es muy plástico y puede trabajarse fácilmente por lo que requiere menos agua de lo que indica su apariencia.

Como resultado se tiene acabados más tersos e impermeables, de mayor resistencia al ataque de sulfatos, reacción alcalina, agregado y lluvia ácida.

Cemento Portland de escoria de altos hornos

Cemento elaborado mediante la molienda fina de clinker portland y escoria de altos hornos granulada y cal hidratada; está diseñado para obras donde se requiera una alta resistencia a agresiones químicas empleándose además en las construcciones de concreto en general. El porcentaje mínimo de escoria es de 60% en peso.

Se produce únicamente en Escocia, y puede emplearse para todos los propósitos en los que se utiliza el cemento Portland normal; pero como su desarrollo de resistencia temprana es mas lento, especialmente en climas frios, podria ser inadecuado cuando se requiere una remocion anticipada de cimbras.

Es un cemento de calor moderadamente bajo y, al igual que el cemento Portland resistente a los sulfatos, puede aprovecharse para reducir el desarrollo de calor en secciones gruesas.

El cemento Portland de escoria de altos hornos es un poco más resistente a algunas formas de ataque químico que el cemento Portland normal, especialmente en agua de mar.

Cemento Portland resistente a los sulfatos

Aunque este cemento se elabora de la misma manera que el cemento Portland normal y con materiales similares, el método de factura produce una ligera diferencia química que le permite un mejor comportamiento al resistir el ataque de sulfatos; no obstante, al igual que el cemento Portland normal, no es resistente a los ácidos. Generalmente es de color un poco más oscuro que la mayoría de los otros cementos Portland.

El cemento resistente a los sulfatos se emplea sobre todo en concretos expuestos al agua de mar o en los que están situados debajo del nivel del terreno, donde se sabe que hay presencia de sulfatos en el suelo o en el agua subterránea.

La durabilidad del concreto y su resistencia a toda clase de ataques químicos depende principalmente de que sea denso, impermeable y bien compacto. Las mezclas pobres tienden a ser más permeables que las mezclas ricas y, cuando se emplea el cemento Portland resistente a los sulfatos, el contenido de este en un concreto con agregado de 20mm de diámetro máximo no deben ser menor que 280 kg/m³, y su relación agua / cemento, con el fin de proporcionar al concreto una trabajabilidad conveniente y de poder compactarlo bien.

Las características de resistencia de este cemento son similares al del cemento Portland normal, y se debe utilizar y almacenar de la misma manera; sin embargo, produce menos calor y, por ello, se puede utilizar con ventajas en el concreto masivo y en secciones gruesas, con el fin de reducir ligeramente la generación de calor. Con este tipo de cemento no se debe emplear cloruro de calcio o aditivos que lo contengan, ya que se reducirá su resistencia al ataque de los sulfatos. El cemento resistente a los sulfatos es ligeramente más costoso que el cemento Portland normal.

Cemento Portland de endurecimiento rápido

Este cemento es químicamente muy similar al cemento Portland normal, pero es más fino, por lo cual adquiere resistencias a edades tempranas con mayor rapidez.

El término endurecido rápido no debe confundirse con el término fraguado rápido. El concreto elaborado con cemento de endurecimiento rápido adquiere consistencia y se endurece, inicialmente, a una velocidad similar a la del cemento Portland normal; después de este endurecimiento inicial, el aumento de resistencia se vuelve más rápido. Esta mayor velocidad en el desarrollo de resistencia permite remover las cimbras con más anticipación. Por esta razón el cemento de endurecimiento rápido es empleado frecuentemente por los productores de concreto premezclado o en general cuando un trabajo en la obra debe ser terminado con más rapidez.

Este cemento produce más calor que el cemento Portland normal, por lo que puede usarse ventajosamente en tiempos fríos para compensar los efectos de baja temperatura. Asimismo, debe almacenarse y emplearse de la misma manera que el cemento Portland normal. El cemento de endurecimiento rápido es ligeramente más costoso que el Portland normal.

Cemento Portland Blanco

El cemento portland blanco

Este se obtiene a partir de la producción del horno de cemento de un clinker de color blanco; luego en la molienda del clinker se adiciona yeso (y adición de fillers calcáreos en algunos tipos de cemento. El clinker blanco se obtiene por calcinación a una temperatura del orden de 1450-1500 C en el horno de una mezcla finamente dividida de piedra caliza y arcillas blancas de tipo caolín.

El cemento blanco es sinónimo de luminosidad. Por esta calidad, se destina a la realización de elementos que requieren apariencia estética óptima.

Gracias al cemento blanco, nuestras casas, nuestros edificios, nuestras obras de arte, nuestras plazas públicas se visten de una claridad luminosa.

Este se elabora con materias primas especialmente seleccionadas, que contiene muy pequeñas cantidades de hierro; el contenido de hierro de las materias primas es el que da a los cementos Portland su color gris normal. Su uso está limitado a concretos precolados o colados en obra, en los que se requiere un acabado blanco o de color ligero, y frecuentemente se utiliza mezclado con agregados especiales costosos. Por esta razón y por el hecho de que el cemento blanco cuesta alrededor de dos veces más que el cemento Portland normal, debe tenerse cuidado especial en su manejo, así como en el colado, mezclado y transporte, para asegurarse de que el equipo esté limpio y evitar su contaminación. Igualmente importante es procurar que el concreto acabado esté protegido contra la decoloración.

Propiedades del cemento blanco

Cuando el cemento portland blanco se mezcla con agua, se inician las reacciones de hidratación que consisten en la reacción entre el cemento y el agua donde se produce una disolución de los componentes del mismo, y se forman unos nuevos componentes que producen el endurecimiento de la pasta. En general se necesita una cantidad de agua del orden del 27% del peso del cemento. La reacción de hidratación consiste de dos periodos: el tiempo de fraguado y el tiempo de endurecimiento.

El tiempo de fraguado es aquel durante el cual la pasta de cemento-agua tiene consistencia plástica y es trabajable. Su duración es de horas contando desde el momento del mezclado. El tiempo de endurecimiento comienza a partir del momento en que la pasta está fraguada y pierde su trabajabilidad. En el tiempo de endurecimiento se desarrollan las resistencias.

Los cementos portland blancos pueden tener la misma o mayor resistencia que los cementos grises. Esto se debe destacar porque todavía se cree que los cementos blancos. Sus propiedades de fraguado y de desarrollo de resistencia son similares a la del cemento Portland normal y, a parte del cuidado especial requerido, no existe diferencia en sus métodos de empleo o almacenamiento.

Posee excelente blancura (la más alta entre los cementos blancos del mundo).

Al curar el cemento blanco debe tenerse especial cuidado, ya que se ensucia con facilidad en sus primeras etapas de vida y es casi imposible limpiarlo posteriormente. El recubrimiento con hojas de plástico es el ideal para este propósito; cura bien el concreto y lo mantiene limpio.

Oxido de Sodio Na₂O	%	0.03
Oxido de Potasio K₂O	%	0.21
Cal Libre	%	1.27
Álcalis Totales	%	0.17
Perdida de Calcinación	%	1.19
Índice de Blancura L	%	94

Cemento Portland de bajo calor

Este tiene baja velocidad de desarrollo de resistencia y, como su nombre lo indica, genera menos calor a edad temprana que el cemento Portland normal. Por esta razón su uso está limitado al concreto masivo, como en el caso de las presas, donde la reducción de calor es vital. Generalmente se fabrica para obras especiales en las que la cantidad de cemento requerida es superior a 300 toneladas.

Cemento de albañilería

Cementos muy trabajables utilizados para la preparación de morteros de albañilería; se fabrican a partir de clinker de cemento portland, caliza, yeso y agentes incorporadores de aire. Este nunca se utiliza para concreto; su uso debe restringirse a morteros para mamposterías de tabiques o de bloques o para aplanados. Consiste en cemento Portland normal al que se le ha adicionado polvos finos y aditivos inclusores de aire, con el fin de obtener un mortero que tenga buena trabajabilidad sin necesidad de agregarle cal. Cuando se usa en hiladas a prueba de humedad, la mezcla no debe ser más pobre que 1 a 3 para la mampostería normal de bloques.

Cementos para inyectar

Cementos portland complementados con arena fina, bentonitas y aditivos retardantes, y suele ser empleado para inyectar fisuras muy delgadas a alta presión.

Cemento para pozos petroleros

Cemento producido con clinker portland y es empleado para construir pozos petroleros; generalmente tiene un fraguado lento y debe ser manejable a temperaturas y presiones elevadas. Se produce en las clases de la "a" hasta "j". Cada clase es aplicable a cierto rango de profundidad, agresión química o presión.

Cemento Portland repelente al agua

Es un cemento Portland normal al que se le ha agregado pequeñas cantidades de un aditivo repelente al agua. Tiene propiedades similares al del cemento Portland normal y se emplea de la misma manera. El cemento repelente al agua normalmente no es necesario en el concreto, ya que la resistencia al paso del agua se logra principalmente por el buen control de la mezcla y una buena compactación. Este cemento tampoco protege al concreto contra el vapor de agua, sus principales ventajas se obtienen cuando se utiliza en aplanados posteriores, aplicados para reducir y controlar la succión causada por la aplicación de capas de acabado.

Cemento Portland hidrófobo

Es un cemento Portland normal, tratado especialmente durante su manufactura, de tal manera que alrededor de cada partícula se forma una película repelente al agua que evita la absorción de agua durante su almacenamiento. Se destina a casos donde las condiciones de almacenamiento son deficientes, o cuando debe estar almacenado por unos tres meses o más, antes de ser utilizado. En la revolvedora, el recubrimiento superficial de las partículas desaparece por el roce, y la reacción con el agua se desarrolla normalmente. El concreto elaborado con cemento hidrófobo debe mezclarse al menos durante un minuto más de lo normal, no se recomienda el mezclado manual. El cemento hidrófobo se fabrica únicamente para pedidos especiales y cuesta considerablemente más que el cemento Portland normal.

Cemento Portland con alto contenido de alúmina

Este no es un cemento Portland. Se elabora mediante la fusión en horno de una mezcla de caliza y bauxita (mineral de aluminio).

El concreto preparado con este cemento adquiere consistencia casi a la misma velocidad que el cemento Portland normal, pero una vez que se ha endurecido, el desarrollo de su resistencia es extremadamente rápido y, a una edad de solo 24 horas, puede alcanzar resistencia de más de 561 kg/cm².

El cemento con alto contenido de alúmina es más resistente al ataque de sulfatos y ácidos diluidos por los cementos Portland. Todas las revolvedoras, carretillas, palas, etc., deben limpiarse cuidadosamente para eliminar cualquier residuo de concreto o cemento normal, ya que la contaminación con cemento Portland puede causar “fraguado relámpago”.

El cemento con alto contenido de alúmina debe ser almacenado aparte de los otros cementos; no se debe mezclar con aditivos y, antes de usarlo, se debe solicitar instrucciones al proveedor.

Cemento supersulfatado

Cuando la escoria de altos hornos se muele con una pequeña cantidad de clinker de cemento Portland normal y con una gran cantidad de yeso (sulfato de calcio), se obtiene un producto llamado cemento supersulfatado que se usa cuando el concreto está expuesto al ataque de ácidos débiles y sulfatos. Este tipo de ya no se fabrica en Gran Bretaña, pero se puede importar del continente. Debe ser manejado de la misma manera que el cemento Portland normal, con la diferencia de que su tiempo de mezclado debe aumentarse unos 5 minutos.

El cemento supersulfatado es más propenso al deterioro durante el almacenamiento que el cemento Portland y, durante épocas de frío, deben tomarse precauciones y cuidados especiales, ya que su desarrollo de resistencia se reduce a bajas temperaturas. No debe usarse en proporciones menores de 310 kg/cm³.

Cemento de bajo álcali

Cemento cuyo contenido de álcalis (óxidos de sodio y potasio), no sobrepasan un 0.6% expresados como Na_2O . Este cemento debe usarse cuando los agregados para el concreto: arena y grava, sean potencialmente reactivos con los álcalis del cemento, causando el deterioro de la obra.

Las especificaciones mexicanas estipulan 5 tipos de cemento para diversos usos, según se trate de construcciones ordinarias, construcciones levantadas, en un tiempo mínimo, obras hidráulicas y masivas, obras marítimas o que están en contacto permanente con terrenos y agua sulfatados.

Para obtener estos tipos especiales de cemento, se hace necesario emplear minerales de hierro (hematita), y a veces también material silicoso (cuarzo) que incrementen las proporciones de óxido férrico y silícico con sus propiedades características. Estos cinco tipos son los que a continuación se nombran:

Tipo I –común-

Para estructuras, pavimentos y productos (bloques, tubos y otros), que no necesitan requisitos especiales.

Tipo III –resistencia rápida-

Para cuando se requiere que las estructuras, pavimentos y productos sean pronto puestos en servicio.

Tipo IV –bajo calor-

Es la antitesis del ante citado, adquiere resistencia con lentitud, pero produce menos calor al hidratarse y reduce así la tendencia al agrietamiento en grande volúmenes como en presas.

Tipo V

Resiste mejor al ataque desintegrador de suelos y agua sulfatados, en lagos salados y terrenos alcalinos.

Tipo II –modificado-

Representa la etapa intermedia entre el común por una parte, y el de bajo calor y el resistente a los sulfatos por otra. Con características de resistencia similares a las del común, presenta menor calor de hidratación, menor resistencia a aguas y a suelos sulfatados y es en general el adecuado para obras hidráulicas. Una primera división de las diferentes variedades de cemento se establece entre cementos naturales y cementos artificiales.

Los efectos ambientales de la producción del cemento

La producción convencional de cemento puede ocasionar algunos problemas ambientales:

- Enorme erosión del área de las canteras por la extracción continua de la piedra caliza y otros materiales.
- Transporte inadecuado de materiales para su almacenamiento.
- Producción de gran cantidad de polvos provocados por el triturado de la piedra en la planta.
- Emisión de contaminantes al aire (monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy finas) dependiendo del tipo de combustible y proceso empleado durante la calcinación en el horno (combustión).
- El polvo de los residuos del horno forma el llamado clinker, que puede contener metales pesados y otros contaminantes. Si el polvo del clinker se desecha en las canteras donde se extrajo la piedra caliza o en un relleno sanitario puede contaminar los mantos de aguas subterráneas.

¿Qué efectos producen las emisiones?

La exposición a monóxido de carbono afecta el sistema nervioso central y comparte los efectos de los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas suspendidas, pues provocan la irritación de los tejidos del aparato respiratorio y agrava los síntomas de personas con enfermedades pulmonares (asma, bronquitis crónica). Además, puede incrementar los padecimientos cardiacos, pulmonares y enfermedades respiratorias agudas.

¿Qué problemas ambientales y qué efectos en la salud puede provocar la incineración de residuos peligrosos en hornos para la producción de cemento?

- Se incrementa la cantidad y tipo de contaminantes suspendidos en el aire (monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy finas) en comparación con el uso carbón, petróleo o gas natural.
- Emite niveles más altos de plomo, cadmio, arsénico y mercurio, de un total de diecinueve metales pesados encontrados comúnmente en las emisiones a la atmósfera (como cromo hexavalente, plata, selenio, bario, berilio y antimonio).
- Durante la operación de la planta hay emisiones fugitivas de polvo y gases, además de los que se emiten por la chimenea.
- Se producen nuevos contaminantes, especialmente productos de combustión incompleta (PCI), incluyendo las dioxinas y furanos, en las emisiones de la tronera.
- El polvo de los residuos del horno, el clinker, e incluso el mismo cemento puede contener metales pesados (cadmio, cromo, arsénico, plomo y selenio), además de PCI.
- Se incrementa el riesgo de accidentes durante el traslado de residuos peligrosos a la planta.
- Para los trabajadores de la planta, la exposición a residuos peligrosos es mayor y pone en riesgo su salud.

La exposición a metales pesados puede provocar graves daños a la salud:

- La exposición de una mujer embarazada al plomo puede causar problemas en el desarrollo del feto y en el desarrollo neurológico de los niños, afectando su coeficiente intelectual.

- La exposición al cadmio puede afectar los riñones, hígado y pulmones, además de ocasionar daño genético. Asimismo en experimento con ratas se ha comprobado que causa.
- La exposición a mercurio en concentraciones elevadas puede provocar daños permanentes en el cerebro, riñones y en el desarrollo del feto; particularmente, el sistema nervioso es muy sensible al mercurio. Si el tiempo de exposición al mercurio de incrementa provoca desórdenes severos: irritabilidad, nerviosismo, temblor, cambios en la visión y auditivos, así como problemas de memoria.
- Otros metales pesados como el berilio y el cromo hexavalente emitidos por los hornos rotatorios son posibles cancerígenos.

Contaminantes generados en la incineración de residuos peligrosos en hornos de cemento

Las **dioxinas y furanos** son contaminantes orgánicos persistentes, creados en la combustión de residuos peligrosos que contengan cloro (presentes comúnmente en solventes y plásticos) y tienen tres características:

Son muy **tóxicos**: pueden provocar efectos crónicos graves, principalmente cáncer y otras afectaciones del sistema endocrino, y repercutir en la pérdida de fertilidad, afectar al sistema inmunológico y alterar el desarrollo de los fetos en el ser humano y animales.

Son **persistentes**: su vida media varía de 9 a 15 años en la superficie del suelo.

Son **bioacumulables**: se alojan en los tejidos grasos, aumentando su concentración en la medida que asciende la cadena alimenticia, por ello la mayor concentración la recibe el ser humano y finalmente los niños, a través de la leche materna contaminada.

La ruta de exposición a metales pesados, dioxinas y otros productos de combustión incompleta se realiza por diversas vías, entre ellas podríamos señalar:

- Inhalación de las emisiones.

- Afectación directa a trabajadores de las plantas de cemento.

- Las emisiones pueden llegar bastante lejos del lugar donde se generaron por medio de corrientes de aire, para luego depositarse en agua y suelo. Esta contaminación afecta cosechas y plantas, y se acumula en peces y animales (incluyendo carne, leche y huevos), además de pasar al ser humano al ingerir alimentos contaminados.

Las dioxinas son uno de los 12 contaminantes orgánicos persistentes (COP) que la ONU ha recomendado reducir y eventualmente eliminar en forma prioritaria, durante el proceso de negociaciones del Convenio de los COP, iniciado en Montreal, Canadá, en junio de 1998.

Empresas productoras de cemento en Nicaragua



Durante 2001, Cemex inició operaciones formales en Nicaragua a través de un contrato a 25 años, firmado con el gobierno nicaragüense, bajo el cual la compañía operará una planta de cemento local, Compañía Nacional Productora de Cemento S.A. (CANAL), con capacidad de producción anual de 450,000 toneladas. Dicha planta está ubicada a 45 Km de la capital Managua, el principal mercado del país. Los componentes del cemento que produce Cemex son: caliza, clinker, yeso y toba.

HOLCIM

Holcim Ltd. Es uno de los principales productores del mundo de cemento, áridos (grava / arena) y hormigón. El grupo ha ido creciendo en un mercado global, desde su origen en Suiza en 1912, hasta su presencia actual en más de 70 países de los cinco continentes. Con una capacidad de producción de cemento superior a los 121 millones de toneladas, el grupo emplea a más de 47.000 personas.

Holcim (Nicaragua) S.A. es una de las principales empresas productoras de cemento en Nicaragua, presentes desde el año 1997, con una capacidad de producción que supera las 350.000 toneladas por año.

Cementos fabricados en holcim de Nicaragua

Cemento Supernic Tipo GU

Se rige por la norma americana ASTM C-1157 y es conocido también como un cemento Tipo GU (General Use), de uso general en la construcción. El cemento SUPERNIC se produce como resultado de la molienda conjunta de clínker tipo Portland y adiciones minerales (caliza, yeso y puzolanas) que el confieren características particulares que conducen a concretos más impermeables y durables.

Aplicaciones

Este cemento puede utilizarse en forma general en la construcción de concreto y morteros, edificios, puentes, carreteras, repellos, finos, prefabricados, etc.

Presentaciones

En sacos de 42.5 Kg y a granel.

Manejo y almacenamiento

A continuación las principales recomendaciones a seguir para asegurar el adecuado almacenamiento del cemento en bolsas o sacos de papel:

- El Cemento Portland es un material sensible a la humedad; si se mantiene seco, mantendrá indefinidamente su calidad.
- La humedad relativa dentro del almacén o cobertizo empleado para almacenar los sacos de cemento debe ser la menor posible.
- Se deben cerrar todas las grietas y aberturas en techos y paredes.
- Los sacos de cemento no se deben almacenar sobre pisos húmedos, sino que deben descansar sobre tarimas.
- Los sacos se deben apilar juntos para reducir la circulación de aire, pero nunca se deben apilar contra las paredes que den hacia el exterior.
- Los sacos se deben cubrir con mantas o con alguna cubierta impermeable.
- Los sacos se deben apilar de manera tal que los primeros sacos en entrar sean los primeros en salir.

- El cemento que ha sido almacenado durante períodos prolongados puede sufrir lo que se ha denominado “compactación de bodega”.
- Se debe evitar que se superpongan más de 14 sacos si el período de almacenamiento es menor a 60 días; si el período es mayor, no se deben superponer más de 7 sacos.

Cemento SUPERNIC Granel

Tomando en cuenta las necesidades de los industriales nicaragüenses, dispone de servicio de entrega en obra de cemento a granel, así como de la asesoría técnica para su instalación, uso y beneficios, para lo que cuentan con:

- Extensa flota a nivel nacional para transporte de cemento a granel (cisternas)
- Instalación de Silos de Obra
- Asesoría Técnica para uso de cemento a granel y sus características
- Asesores Técnicos-Comerciales para atención personalizada al sector industrial

Conclusiones

Cuando se realizan diferentes obras civiles es necesario definir el tipo de cemento que se empleara teniendo en cuenta las características especiales de cada uno de ellos.

Los materiales usados en la fabricación del cemento deben tener las proporciones adecuadas, para ello es necesario hacer controles continuos de calidad para lograr un cemento de buena calidad.

Es necesario tomar las precauciones necesarias en su almacenamiento para evitar que se produzcan cambios en sus características iniciales.

La fabricación de cemento es un proceso industrial maduro, bien conocido y generalmente bien gestionado. El cemento es un producto de construcción básico, producido a partir de recursos naturales: materias primas minerales y energía.

La fabricación de cemento provoca efectos sobre el Medio Ambiente, los principales:

- ◆ Impactos de las canteras en los ecosistemas
- ◆ Emisión de partículas en la manipulación y procesado de materiales
- ◆ Emisión de gases en el proceso de combustión