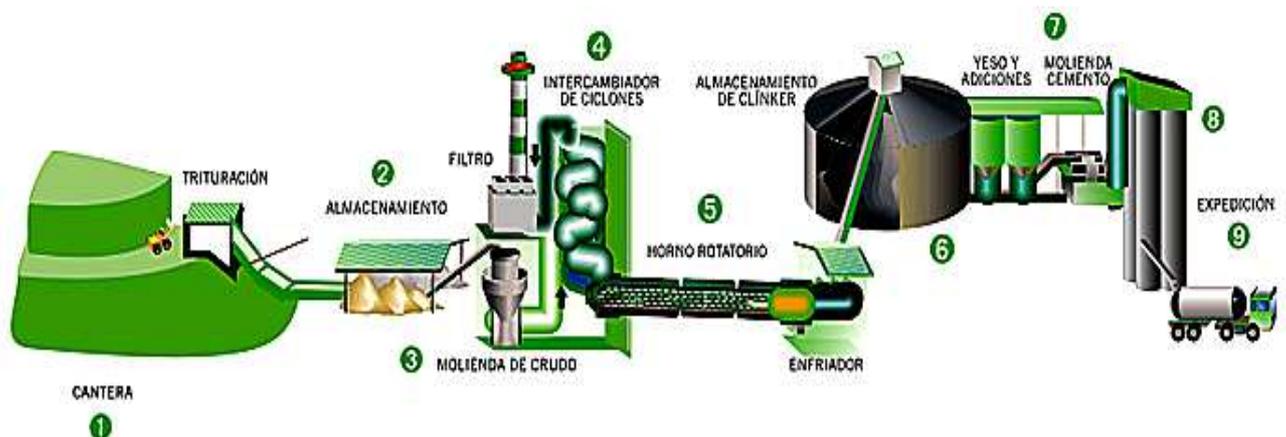




CEMENTOS



Docentes: Ing. Claudio Giordani
Ing. Diego Leone

1º Año Ingeniería Civil – Comisión 02 – Turno Tarde

CEMENTOS

Definición:

En el sentido general de la palabra: el cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Esta definición abarca una gran variedad de materiales de cementación.

Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc. Los principales componentes de este tipo de cemento son compuestos de cal, de modo que en construcción e ingeniería civil se trabaja con cementos calcáreos: Los cementos que se utilizan en la fabricación de concreto tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella y, por lo tanto, se denominan cementos hidráulicos.

Los cementos hidráulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse, en general, como cementos naturales; cementos Portland y cementos aluminosos.

Un breve recorrido por la historia del cemento

Hacia el año 700 antes J.C. los etruscos utilizaban mezclas de puzolana y cal para hacer un mortero.

Ya en el año 100 antes J.C. los romanos utilizaban mezclas de puzolana y cal para hacer hormigón de resistencias a compresión de 5 Mpa.

Hasta el año 1750 sólo se utilizaban los morteros de cal y materiales puzolánicos (tierra de diatomeas, harina de ladrillos, etc.).

Hacia 1750-1800 se investigaron mezclas calcinadas de arcilla y caliza. Smeaton comparó en el año 1756 el aspecto y dureza con la piedra de Portland al sur de Inglaterra. 40 años más tarde, Parker fabricó cemento natural aplicándose entonces el vocablo "cemento" (anteriormente se interpretaba como "caement" a toda sustancia capaz de mejorar las propiedades de otras).

Vicat explicó en 1818 de manera científica el comportamiento de estos "conglomerantes".

En 1824, Aspdin patentó el cemento portland dándole este nombre por motivos comerciales, en razón de su color y dureza que le recordaban a las piedras de Portland. Hasta la aparición del mortero hidráulico que auto endurecía, el mortero era preparado en un mortarium (sartén para mortero) por percusión y rotura, tal como se hace en la industria química y farmacéutica.

Entre los años 1825-1872 aparecieron las primeras fábricas de cemento en Inglaterra, Francia y Alemania.

En el año 1880 se estudiaron las propiedades hidráulicas de la escoria de alto horno.

En el año 1890 aparecieron las primeras fábricas de cemento en España.

En el año 1980 habían 1.500 fábricas que producían cerca de 800 millones de toneladas/año.

Hoy en día el cemento es la cola o "conglomerante" más barato que se conoce. Mezclado adecuadamente con los áridos y el agua forma el hormigón, una roca amorfa artificial capaz de tomar las más variadas formas con unas prestaciones mecánicas a compresión muy importantes. Las resistencias a tracción pueden mejorarse con la utilización de armaduras (hormigón armado).

Fabricación del cemento Pórtland

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en una cierta proporción y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión, a una temperatura de 1300 a 1400°C, a la cual el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clinker.

El clinker se enfría y tritura hasta obtener un polvo fino; a continuación, se adiciona un poco de yeso y el producto comercial resultante es el cemento Portland que tanto se usa en todo el mundo.

La mezcla y la trituración de las materias primas pueden efectuarse tanto en húmedo como en seco; de aquí provienen los nombres de proceso "húmedo" o "seco". El método de fabricación a seguir depende, además, de la naturaleza de las materias primas usadas.

1ª Etapa -Preparación de las materias primas

Las materias primas básicas (caliza, marga, pizarra o grava) se extraen de canteras a cielo abierto por medio de voladuras controladas. Posteriormente, se cargan y transportan en camiones de gran tonelaje a las trituradoras donde se fragmentan hasta un tamaño aproximado de 50 mm. Luego se almacenan en zonas independientes en naves de materias primas.

Además de estas materias primas básicas, también se utilizan, en proporción minoritaria, otros productos que aportan calcio, silicio, aluminio o hierro, tales como cascarilla, arena, escoria, cenizas, etc., que se adquieren en el exterior, y que se utilizan para ajustar con mayor precisión la composición química del "Crudo".

Estas materias primas se dosifican de manera controlada con básculas y se introducen de manera conjunta a los molinos. La proporción relativa de cada componente se ajusta de manera automática, en base a los resultados de los análisis efectuados por analizadores de rayos X.

El material que sale del molino, llamado "Harina de Crudo", es muy fino y se almacena en silos cerrados en donde se lleva a cabo un proceso de homogeneización por medio de la introducción de aire a presión a través del fondo del silo. Estas materias primas se

dosifican de manera controlada con básculas y se introducen de manera conjunta a los molinos. La proporción relativa de cada componente se ajusta de manera automática, en base a los resultados de los análisis efectuados por analizadores de rayos X.

2ª Etapa - Cocción: El Clinker

La "harina de crudo" se introduce a un intercambiador de calor donde se lleva a cabo un proceso de calentamiento progresivo hasta alcanzar los 1000°C . Este proceso de calentamiento del crudo se realiza por intercambio de calor entre los gases calientes ascendentes procedentes de la combustión en el horno, y la materia cruda descendente que recorre el intercambiador.

A continuación la materia entra en el horno, que es un tubo de dimensiones variables pero que oscila entre 45-60 metros de longitud y 3-5 metros de diámetro, girando a menos de 3 r.p.m. En el interior del horno se produce la combustión controlada de un combustible hasta alcanzar temperaturas de llama de hasta 2000°C.

Dentro el horno, el crudo sigue aumentando de temperatura hasta alcanzar un máximo de 1.450°C, necesario para la correcta formación de los componentes responsables de las propiedades mecánicas de los cementos.

El material que sale del horno tiene aspecto de gránulos redondeados y se conoce con el nombre de "*clinker*". Para congelar su estructura cristalina y estabilizar los componentes formados a 1450°C, el clinker se enfría con aire por debajo de los 120°C.

Son necesarios 1560 Kg. de crudo para obtener 1000 Kg. de clinker.

3ª Etapa - Molienda.

El Cemento está constituido por:

- Clinker
- Componentes principales, tales como; Escoria de Alto Horno, Humo de Sílice, Puzolana, Cenizas volantes, y Caliza.
- Componentes minoritarios
- Regulador de fraguado

La proporción de cada componente depende del tipo concreto de cemento fabricado. Los distintos componentes se almacenan en zonas separadas, se dosifican por medio de básculas y se añaden de manera conjunta y continua al molino de cemento.



Composición estimada en el clinker de Portland artificial (Tipo medio)

□ Silicato tricálcico.....(SC3)	40-50%
□ Silicato bicálcico.....(SC2)	20-30%
□ Aluminato tricálcico.....(AC3)	10-15%
□ Ferroaluminato tetracálcico..(AFC4)	5-10%

CARACTERÍSTICAS y RECOMENDACIONES DE USO

CEMENTOS NORMALIZADOS EN ARGENTINA

En nuestro país se fabrican y comercializan los siguientes tipos de cementos pórtland normalizados bajo normas IRAM:

- Cemento portland normal
- Cemento portland con "filler" calcáreo
- Cemento portland compuesto
- Cemento portland con escoria
- Cemento de alto horno
- Cemento portland puzolánico
- Cemento portland de alta resistencia inicial
- Cemento portland moderadamente resistente a los sulfatos
- Cemento portland altamente resistente a los sulfatos
- Cemento portland de bajo calor de hidratación
- Cemento portland resistente a la reacción álcali - agregado
- Cemento portland blanco

ADICIONES MINERALES.

Las adiciones minerales (diferentes a los aditivos) son compuestos naturales o artificiales que se incorporan al cemento o directamente al hormigón con el objeto de mejorar el comportamiento del cemento u hormigón en estado fresco y/o endurecido.

Escoria granulada de alto horno:

Es un subproducto de la fabricación del hierro y posee una composición química parecida al clinker portland. Cuando se la granula, mediante el enfriamiento violento con ayuda de agua inyectada a presión o combinando aire + agua, sus minerales componentes permanecen en un estado vítreo (no cristalino) que le confiere una hidraulicidad latente. No hay que confundir con la escoria enfriada al aire que, al ser enfriada en forma lenta, presenta un ordenamiento de cristales propio del estado sólido por lo cual no tiene propiedades hidráulicas y suele utilizarse como agregado o balasto.

Puzolanas: Son minerales naturales o artificiales en los que predominan la sílice amorfa y la alúmina. Para que pueda producirse la reacción puzolánica indicada anteriormente, es necesario que la sílice esté en estado amorfo.

Las puzolanas naturales son rocas de origen volcánico (tobas y cenizas volcánicas) o de naturaleza orgánica de origen sedimentario (dolomitas). En nuestro país se utilizan mayoritariamente puzolanas naturales. En otros países, en función a las disponibilidades generadas por otras industrias se dispone de puzolanas artificiales entre las que se encuentran las arcillas activadas térmicamente, las cenizas volantes (flyash) y humos de sílice también conocida como microsílice debido al tamaño de partículas (entre 10 y 100 veces más pequeñas que las partículas de cemento).

Filler Calcáreo:

Es un mineral compuesto básicamente por carbonato de calcio que, dada su facilidad de molienda, se adiciona al cemento o se muele en forma conjunta con el clinker portland en molino de cemento y ejerce efectos beneficiosos sobre los morteros u hormigones en estado fresco. Adicionalmente, debido a su pequeño tamaño las partículas de filler calcáreo suelen mejorar la distribución granulométrica del cemento mejorando la resistencia temprana del hormigón.

SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO

Clasificación por Uso

1.- Cementos de Uso General

Son aquellos cementos utilizados en la elaboración de hormigones que serán colocados en elementos estructurales simples o armados donde no se requieran propiedades especiales del cemento debido a cuestiones de durabilidad (riesgo de ataque por sulfatos, utilización de agregados categorizados como potencialmente reactivos en elementos con posibilidades de estar sometidos a condiciones de humedad y temperatura en forma permanente o semi-permanente, riesgo de fisuración en elementos masivos por efectos térmicos, etc.), resistencia temprana del hormigón o importancia del color en elementos estructurales y/u ornamentales, entre otros.

En Argentina, los cementos de uso general deben cumplir los requerimientos de la norma IRAM 50.000 que especifica los siguientes materiales:

CPN - Cemento portland normal
CPF - Cemento portland con "filler" calcáreo
CPE - Cemento portland con escoria
CPC - Cemento portland compuesto
CPP - Cemento portland puzolánico
CAH - Cemento de alto horno

2.- Cementos con Propiedades Especiales

Cuando se requieren propiedades especiales en el hormigón, adicionalmente a los requisitos de los cementos de uso general se especifican otros requerimientos en función de las propiedades especiales buscadas en el producto. Estos requisitos están especificados en la norma IRAM 50.001:

ARI - de alta resistencia inicial

MRS - moderadamente resistente a los sulfatos **ARS** - altamente resistente a los sulfatos

BCH - de bajo calor de hidratación (**BCH**) **RRAI** - resistente a la reacción álcali - agregado **B** - blanco

Estos cementos se utilizan cuando: (1) los hormigones deben tener importantes niveles de resistencia temprana por razones de proyecto o constructivas se puede utilizar cemento portland de alta resistencia inicial (**ARI**), (2) serán sometidos a agresión por sulfatos en cuyo caso se utiliza cemento portland altamente o moderadamente resistente a los sulfatos (**ARS** o **MRS**) en función al grado de agresión, (3) cuando se construyen secciones cuya menor dimensión lineal es 75cm y existe riesgo de fisuración del hormigón por efectos térmicos, por lo cual se prefiere el uso de un cemento portland de bajo calor de hidratación (**BCH**), (4) se construirá un elemento en hormigón que será sometido en forma constante a humedad y se utilizarán agregados que fueron identificados como potencialmente reactivos por lo cual se deberá utilizar un cemento portland resistente a la reacción álcali-agregado (**RRAA**) o (5) se necesita elaborar un hormigón blanco en cuyo caso se deberá utilizar un cemento portland blanco en forma conjunta con agregados de coloración clara.

En cuanto a la nomenclatura, la norma IRAM 50.001 especifica los requisitos "especiales" aunque la composición del cemento está especificada en la norma IRAM 50.000, indicándose en primera instancia el tipo de cemento y luego el requisito "especial" que cumple si correspondiese. De esta manera surgen los cementos: *CPN (ARI)*, *CPN (MRS)*, *CPN (ARS)*, *CPE (RRAA)*, *CPP (ARS, BCH, RRAA)*, etc.

Los cementos con propiedades especiales suelen tener un precio superior a los cementos de uso general, sin embargo es posible encontrar en el mercado cementos con adiciones minerales activas como la escoria

Especificaciones de los cementos

A continuación explicaremos brevemente algunas características de cada uno de ellos. En todos los casos se especifica el tipo de cemento de acuerdo a la nomenclatura establecida en las normas IRAM 50.000 y 50.001 vigentes a partir de noviembre de 2000.

CPN - Cemento Portland Normal

Puede decirse que este cemento portland es apto para todo tipo de construcción que no requiere propiedades especiales por cuestiones de resistencia y o durabilidad.

CPF - Cemento Portland con "filler" calcáreo

Al igual que el cemento portland normal, este material es utilizado en la construcción cuando el hormigón no presenta requerimientos especiales. La característica más valorada de este material es la buena trabajabilidad que le confiere a los morteros y hormigones cuando se trabajan en estado fresco. Como contrapartida, al estar fabricado con adiciones no activas, la resistencia final de los hormigones elaborados con este material suele ser menor a la que se obtendría con otros tipos de cemento.

CPE - Cemento portland con escoria

Es un cemento con contenido de escoria "moderado" ya que presenta mayor contenido que el cemento portland normal y menor que el cemento de escoria de alto horno. Puede utilizarse para cualquier tipo de construcción y es especialmente recomendado cuando se tiene ataque moderado de sulfatos, posibilidad de utilización de agregados reactivos (previo ensayo) o se requieren buenas condiciones de impermeabilidad del hormigón.

CPC - Cemento Portland Compuesto

Es un cemento que combina los efectos benéficos del "filler" calcáreo de excelente trabajabilidad en estado fresco, con la mayor resistencia final y durabilidad de los cementos con adiciones activas. Esta combinación hace que se obtengan cementos de muy buenas características técnicas a costos razonables para el fabricante y el usuario del cemento.

CPP - Cemento Portland Puzolánico

Estos cementos suelen ser más "lentos" en el desarrollo de resistencia que otros debido fundamentalmente que la puzolana necesita la formación del $(OH)_2 Ca$ (hidróxido de calcio) que se forma como subproducto de la hidratación del clinker para combinarse y formar compuestos similares a los del clinker hidratado. Cuando mayor sea el contenido de adición activa de este cemento, es de esperar que su hidratación sea más "lenta" y consecuentemente también lo sea el desarrollo de resistencia. Generalmente los hormigones elaborados con este tipo de cementos obtienen altas resistencias finales y puede apreciarse cuando se ensayan probetas luego de 56 o 90 días_ de edad. Si bien este cemento es apto para casi cualquier tipo de obra, cuando el material resulta de comprobada eficacia, es especialmente recomendado cuando se requieran propiedades especiales de durabilidad como ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación, inhibición de la reacción álcali - agregado, impermeabilidad, etc.

CAI-I - Cemento de alto horno

Este cemento, que en la norma pierde la denominación "portland", posee un alto contenido de una adición activa como lo es la escoria granulada de alto horno. Es muy utilizado en obras de ingeniería donde interesa fundamentalmente el bajo calor de hidratación y una buena resistencia a sulfatos en caso de una exposición a aguas y/o suelos sulfatados y/o a la reacción álcali - agregado en caso de utilizarse agregados potencialmente reactivos. Es de esperar un desarrollo de resistencia un tanto más "lento" que el cemento normal debido a que la escoria granulada se hidrata a partir del ambiente alcalino que le confiere la hidratación del clinker. No obstante la resistencia final de los hormigones elaborados a partir de este tipo de cemento suele ser mayor a la obtenida con CPN utilizado en dosis similares.

ARI - Alta Resistencia Inicial

En general su utilización se limita a aquellos usos donde se necesita habilitar rápidamente la estructura o se utiliza tecnología de encofrado deslizante o se requiere una rápida reutilización de los encofrados. Es de esperar que los hormigones elaborados con este cemento obtengan resistencias a 7 días similares o mayores a las que se obtendrían utilizando la misma dosificación con cualquier cemento portland de categoría CP40 a los 28 días de edad. Debido a que este cemento desarrolla alto calor de hidratación no se recomienda en elementos estructurales cuya menor dimensión lineal sea mayor a los 40 cm. En el mercado este tipo de cemento se conoce con la denominación Super, Extra o ARI.

MRS - moderadamente Resistente a los Sulfatos

Es un cemento al cual se le limita el contenido de AC3 (aluminato tricálcico) a valores menores o iguales al 8 % en masa, lo cual hace a este material apto para utilizarlo cuando existe un ataque moderado de sulfatos o será utilizado en hormigones de estructuras en contacto directo con agua de mar.

ARS - altamente Resistente a los Sulfatos

Es el cemento conocido como ARS. La norma IRAM limita el contenido de AC3 (aluminato tricálcico) a un máximo de 4 % en masa y la suma de AC3 + F AC4 (ferroaluminato tetracálcico) debe ser menor o igual a 22 %, calculados teóricamente de acuerdo a la composición química. Su utilización se limita para estructuras sometidas al ataque fuerte de sulfatos presentes en ciertas aguas y/o suelos de contacto.

En el caso del CPN (cemento portland normal) la norma limita los contenidos de AC3 y F AC4 del cemento, mientras que en el caso de los cementos adicionados (resto de los especificados en la norma IRAM 50.000), dichas limitaciones se realizan sobre el clinker portland utilizado en la fabricación ya que las fórmulas antes mencionadas solamente son aplicables en cementos "puros".

BCH - de Bajo Calor de Hidratación

Generalmente este tipo de cementos se comercializa en combinación con cementos portland con adiciones activas como son la escoria granulada de alto horno y la puzolana. Se utiliza cuando interesa que el hormigón desarrolle poco calor a partir de la hidratación del cemento, como es el caso de las presas de hormigón o bases de grandes dimensiones.

La horma especifica valores máximos de desarrollo de calor de hidratación de 270 kJ/kg (65 Cal/g) para 7 días y 310 kJ/kg (75 Cal/g) para 28 días de acuerdo al ensayo especificado en IRAM 1617 o 270 kJ/kg (65 Cal/g) a 5 días utilizando el ensayo especificado en la norma IRAM 1852 de acuerdo al tipo de cemento y/o el método de ensayo disponible.

RRA - Resistente a la Reacción Álcali - Agregado

Existen en nuestro país algunas pocas fuentes de agregados que presentan potencialidad de reaccionar desfavorablemente con los álcalis del cemento en estructuras sometidas a condiciones de humedad en forma más o menos permanente. Si bien es recomendable utilizar agregados que no sean potencialmente reactivos para la elaboración del hormigón, existen casos que esto resulta económicamente inviable y se recurre a cementos con bajos contenidos de álcalis o que posean alguna adición activa que demuestre su capacidad de inhibición o, al menos, "amortiguar" los efectos de la expansión de manera que la reacción no resulte deletérea.

B - Blanco

Es un cemento que cumple los requerimientos de los cementos CPN o CPF o CPC y tiene como requisitos adicionales la limitación de los contenidos de óxido férrico y magnesio que actúan sobre el color del material. También, se incorporó un requisito de blancura que resulta de fundamental importancia para el usuario de este tipo de cemento. Es un material que en nuestro país no está muy difundido debido a su alto costo y su utilización se restringe a hormigones ornamentales o "a la vista" y cierto tipo de mosaicos o baldosas. No hay que confundir con otros cementos blancos utilizados en la fabricación de ciertas pastinas o algunas baldosas que utilizan cementos con altos contenidos de adiciones activas y no activas que no cumplen los requisitos de resistencia establecidos por IRAM para el cemento portland blanco.