



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA Y CIENCIAS SOCIALES
Y ADMINISTRATIVAS

**”ESTUDIO Y APLICACIÓN NORMATIVA
EN LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A N

RAMÓN ISAI MONTALVÁN LUNA
DIANA LENY SUÁREZ MORA
ALMA EDITH TÉLLEZ LINARES

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
INTRODUCCIÓN.....	ii
CAPÍTULO I. Generalidades.....	1
1.1 Historia del cemento.....	1
1.2 Definición de cemento.....	8
1.2.1 Definiciones generales	10
1.3 Componentes del cemento	15
1.4 Clasificación de los cementos en México.	26
1.5 Tipos de cementos	30
CAPÍTULO II. Proceso de Fabricación del cemento.....	40
1.1 Vía seca y semiseca.	42
2.2 Vía Húmeda.....	43
2.3 Tipos de molinos.	44
2.4 Proceso de cocción: Hornos.....	48
2.4.1 Horno vertical.....	48
2.4.2 Horno rotatorio.....	49
2.5 Clinker composición y nomenclatura	52
2.6 Propiedades de los constituyentes principales.	56
2.7 Fraguado y endurecimiento	62
2.8 Características Físicas y Mecánicas.....	67
2.9 Almacenamiento	78

2.9.1	Cemento a Granel.....	79
2.9.2	Empaque.....	80
2.9.3	Transporte del cemento	82
2.10	Usos y aplicaciones principales del cemento	85
CAPÍTULO III. Panorama General de la industria del cemento en México.....		87
3.1	Presencia de la industria del cemento en nuestro país	87
3.2	Principales empresas productoras y comercializadoras.....	87
3.3	Yacimientos de Materias Primas para la elaboración del Cemento.	90
3.4	Exportación e Importación del cemento y materias primas	94
3.5	Producción, distribución de cemento en México	102
CAPÍTULO IV. Situación económica del cemento en México.....		106
4.1	Principales actividades dependientes de la industria cerámica en el país.....	106
4.2	Distribución de materias primas en el mercado nacional	107
4.3	Principales centros de investigación y desarrollo.....	111
CONCLUSIONES:.....		124
BIBLIOGRAFÍA:.....		125
GLOSARIO:.....		128
ANEXOS.....		131

RESUMEN

La industria del cemento en México, ha tenido un gran desarrollo en los últimos años, creando centros de apoyo, servicio, investigación, evaluación y comportamiento de materiales y acreditación, relacionados con el estudio del cemento y del concreto. Además la industria se caracteriza por ser de las más eficientes del mundo, gracias a las inversiones continuas en tecnología y equipamiento de punta; capacidad técnica de su personal; y la seguridad de sus procesos, equipos y operaciones. Esto permite que México se encuentre entre los 15 principales productores de cemento en el mundo.

La industria cementera, está conformado principalmente, por seis empresas que operan en el país: CEMEX, HOLCIM APASCO, Grupo Cementos Chihuahua, Cementos Cruz Azul, Corporación Moctezuma y Lafarge, de estas corporaciones se tienen 32 plantas, ubicadas a lo largo de la república mexicana en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León , San Luis Potosí , Veracruz, Hidalgo, Aguascalientes, Jalisco, Colima, D.F., Puebla, Guerrero, Oaxaca, Tabasco y Yucatán que ofrecen al consumidor productos que cumplen con las normas de calidad nacional e internacional.

Es por ello que la industria cementera en el país es importante para el crecimiento económico del país esto nos lleva a seguir y cumplir una serie de normas establecidas por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, estas normas detallan cada uno de los métodos o procesos a seguir en diversos ámbitos desde la fabricación del cemento hasta el transporte del mismo.

Definiendo así a los cementos, a los conglomerantes hidráulicos que, convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como bajo agua. (NMX-C-021-ONNCCE-2004)

Para fabricar cemento pueden utilizarse tanto materiales de origen natural como productos industriales, la única y fundamental condición es, que sean minerales que contengan los componentes principales del cemento: cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro. Estos componentes raramente se encuentran en las proporciones deseadas en una sola sustancia. Por tanto la mayoría de las veces se ha de elegir la mezcla de un componente rico en cal (componente calcáreo) con otro pobre en cal pero que contengan sílice, alúmina y hierro (componente arcilloso).

INTRODUCCIÓN

La industria del cemento en México se caracteriza por ser de las más eficientes del mundo, gracias a: las inversiones continuas en tecnología y equipamiento de punta; capacidad Técnica de su personal; y la seguridad de sus procesos, equipos y operaciones.

Esto le permite que México se encuentre entre los 15 principales productores de cemento en el mundo. La Industria está compuesta por 6 empresas (dentro de las cuales se encuentran las 3 más grandes a nivel mundial: Lafarge, Holcim y Cemex), 32 plantas, con una capacidad total de 51.0 mmt (millones de toneladas métricas).

Cabe destacar que en el caso de los mercados desarrollados el consumo es justamente al revés de como se da en México: por ejemplo, en EUA la composición del consumo es: 90% a granel y 10% en sacos. La industria del cemento en México es un usuario intensivo del transporte de mercancías, en todas sus modalidades. Este transporte se caracteriza por su compleja logística y conectividad (multimodal). Esto se debe principalmente a: Área geográfica: 2 millones de km²; Litorales: 11,122 kilómetros; Población de 107 millones de habitantes; Sistemas de montañas a lo largo del territorio; Poblaciones de baja densidad dispersas; carreteras insuficientes y, en algunos casos, en condiciones precarias; y Un sistema de ferrocarril insuficiente.

A esto hay que sumarle que generalmente el transporte de cemento es multimodal (varios medios de transporte) lo que implica que además de su complejidad mencionada hay que sumarle la necesidad de una eficiente conectividad. Aquí la Industria se enfrenta a diversos problemas de infraestructura: por ejemplo las empresas cementeras deben tener contar con una terminal portuaria para despachar el cemento y tener barcos con las especificaciones necesarias para transportarlo.

Concluyendo así que El mercado del cemento es muy competitivo en el mundo. En México está compuesto por dos segmentos. El primero, relacionado con la autoconstrucción, que es el principal motor de la industria; y el segundo, con la construcción de infraestructura y vivienda, ya sean de carácter público o privado.

Para que una empresa sea competitiva debe asegurar la calidad de sus productos para ello es indispensable que cada uno de los procesos, métodos y actividades de la fabricación del cemento este regido dentro de la normatividad de la industria de la construcción, mismas que están

regidas por la ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación), esta organización asegura la calidad de los productos y verifica que se cumpla a detalle cada una de las normas.

MARCO METODOLÓGICO

1.1 Planteamiento del problema

El estudio de las principales industrias cementeras del país, implica un análisis complejo, ya que no solo se concentra en la producción de cemento se debe ahondar más allá en sus procesos de obtención, haciendo de esta un campo que el ingeniero industrial debe abordar. Además el estudio, no solo implica conocer los materiales que lo constituyen, los procesos y métodos, también es necesario que todos estos rubros estén regidos dentro de una normalización, estas normas van a depender de la actividad o proceso que se desee obtener. México como todos los países productores de cemento también cuenta con una serie de normas que deben acatar cada uno de los procesos o métodos de obtención del cemento, la finalidad de que todo este guiado dentro de estas normas es asegurar la calidad del producto final y que el consumidor tenga la seguridad de que el producto que está adquiriendo cumplirá con sus necesidades y finalmente tener un producto competitivo dentro del mercado nacional e internacional.

También debemos considerar que la industria del cemento forma parte importante del desarrollo económico y social del país, por ello es importante que se conozca la importancia del crecimiento de esta industria y aunado el impacto que crea dentro de nuestra vida cotidiana.

La industria del cemento en México, ha tenido un gran desarrollo en los últimos años, creando centros de apoyo, servicio, investigación, evaluación y comportamiento de materiales y acreditación, relacionados con el estudio del cemento y del concreto.

México es un país que cuenta con una gran diversidad de materiales cerámicos, entre los que el cemento es de carácter principal, industria en pleno crecimiento y una de las más desarrolladas del país. Cuenta con altos estándares de calidad, con procesos controlados y que no requieren una modificación sustancial, solo requiere de apoyos continuos en su proceso elemental de investigación, tarea que continúa con la creación de centros de apoyo, tanto públicos como privados, y que constituyen importantes oportunidades comerciales desde una perspectiva a mediano plazo. Es por ello que el conocimiento de la situación de la industria cementera en México es de vital importancia, así como el estar al tanto de las políticas, tendencias del mercado, centros

de soporte técnico, evaluación y caracterización de materia prima y productos, así como una adecuada asesoría, requeridos para asegurar la calidad de los materiales utilizados y de los productos finales.

La industria cementera, está conformado principalmente, por seis empresas que operan en el país: CEMEX, HOLCIM APASCO, Grupo Cementos Chihuahua, Cementos Cruz Azul, Corporación Moctezuma y Lafarge, de estas corporaciones se tienen 32 plantas, ubicadas a lo largo de la república mexicana en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León , San Luis Potosí , Veracruz, Hidalgo, Aguascalientes, Jalisco, Colima, D.F., Puebla, Guerrero, Oaxaca, Tabasco y Yucatán que ofrecen al consumidor productos que cumplen con las normas de calidad nacional e internacional.

La creciente demanda de este cerámico, implica una constante investigación de nuevos y mejores productos que proporcionen una mejor calidad, haciendo de este un mercado más competitivo entre las diferentes empresas. La industria del cemento en México, ha creado centros de apoyo, servicio, investigación, evaluación y comportamiento de materiales y acreditación, relacionados con el estudio del cemento y del concreto estos centros son: Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) ,Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), Centro de Investigación y Desarrollo Industrial(CIDI),Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología (CONACYT) ,Centro Tecnológico del Concreto (CTC), Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), Cámara Nacional de Cemento (CANACEM) , Centro de Tecnología Cemento y Concreto (C.T.C.C.). Así, la situación de la industria cementera en México tiene un papel estratégico en la producción nacional.

En este contexto el presente trabajo se enfoca al diagnóstico, conocimiento, estudio y caracterización de las principales etapas de obtención del cemento dirigidos dentro de la normalización de la industria de la construcción, desde una perspectiva de la ingeniería industrial, como una acción necesaria para la integración de los profesionales de esa área en el campo de labores que ofrece esta industria tan plena de recursos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Obtener información general de la industria del cemento en México y su importancia a nivel internacional mediante un enfoque de la ingeniería industrial, basados en la normatividad y la aplicación de la misma en cada uno de los conceptos, actividades y métodos, relacionados con la

extracción de materias primas, obtención del cemento y almacenamiento. Así como dar a conocer un panorama general de la trascendencia que implica el desarrollo de esta industria en México.

1.2.2 Objetivos específicos

- Análisis y aplicación de las normas vigentes de la industria de la construcción enfocadas en la fabricación del cemento.
- Recopilación de información actualizada de la industria del cemento.
- Conocer detalladamente el procesos de fabricación del cemento y clinker
- Comprender los factores que pueden afectar la calidad del cemento
- Averiguar los componentes del cemento y el proceso de obtención de los mismos.
- Analizar la importancia del desarrollo de la industria de la construcción en la economía mexicana.
- Conocer los usos diversos del cemento así como los tipos de cementos existentes en el mercado.

1.3 Justificación del proyecto

La elaboración de este estudio se realiza con el propósito de conocer las propiedades integrales de los cementos, especialmente del cemento portland tanto gris como blanco, ya que este cerámico posee características peculiares de gran interés para la construcción y la industria, en el marco de sus componentes, normas establecidas, procesos y usos en general, a través de técnicas experimentales y bibliográficas, con el objeto de conocer esta industria.

El estudio de este proyecto se desarrollara en base al cemento, ya que este cerámico forma parte fundamental del desarrollo de nuestro país y de la economía, por ello es indispensable conocer las normas que rigen a la industria de la construcción en México.

El cemento es una base fundamental en viviendas, carreteras, aceras, puentes, presas, contenedores de desechos sólidos, etc., es vital conocer los tipos de cementos requeridos en las actividades industriales y de construcción, así como saber la tecnología empleada y los procesos actuales, para proceder en la obtención de productos mejores. En la actualidad la demanda del cemento está creciendo, debido a las numerosas obras que se están realizando aunado a esto las crecientes exportaciones que se están efectuando gracias al precio y calidad que el cemento mexicano ofrece, compitiendo con países como China, Tailandia y Brasil. Se analizarán las diversas normas de la industria de la construcción y la aplicación de estas en cada uno de los

conceptos, procesos y métodos de fabricación del cemento, y las distintas cementeras deben acatar para ofrecer un producto de calidad.

CAPÍTULO I. Generalidades

1.1 Historia del cemento

El uso del cemento en la historia tiene sus orígenes desde la prehistoria cuando se utilizaban bloques de piedra de gran tamaño y cuya estabilidad dependía de su colocación, en Egipto se utilizaban ladrillos de barro o adobe secados al sol y colocados en forma regular pegándolos con una capa de arcilla del Nilo con o sin paja para crear una pared sólida de barro seco, este tipo de construcción prevalece en climas desérticos donde la lluvia es nula, y todavía se practica en muchas partes del planeta.

Los griegos fueron los primeros en percatarse de las propiedades cementantes de los depósitos volcánicos al ser mezclados con cal y arena que actualmente conocemos como puzolanas (latín: puteoli, un pueblo cercano a la bahía de Nápoles). En Grecia, en la isla de Creta, se utilizaba en la cal mezclada con arena para hacer mortero.

Los romanos adaptaron y mejoraron esta técnica para lograr construcciones de gran durabilidad como son el Coliseo Romano y el Panteón Roma así como un sin número de construcciones desperdigadas por todo el Imperio Romano, estas construcciones han sobrevivido hasta esta época, con su material cementante aún duro y firme.

La palabra cemento es el nombre de varias sustancias adhesivas, se deriva del latín caementum, porque los romanos llamaban opus caementitium (obra cementicio) a la grava y a diversos materiales parecidos al hormigón que usaban en sus morteros, aunque no eran la sustancia que los unía.

Ya para los siglos XI al XVII se mejoran las técnicas para preparar morteros, basándose en el proceso de los romanos, poco a poco su calidad va mejorando y se comienza a utilizar en un proceso continuo. En la Edad Media hubo una disminución general en la calidad y el uso del cemento, y no fue sino hasta el siglo XVIII que se comienza a reconocer el valor de la arcilla sobre las propiedades hidráulicas de la cal.

En 1756, John Smeaton, un ingeniero Inglés, encuentra las proporciones en las materias primas para poder conformar cemento y con ello aparecen también los primeros concretos, en 1796 James Parker obtiene la patente para un cemento hidráulico natural conocido como cemento

de Parker o cemento romano. En 1824, James Parker y Joseph Aspdin obtienen la patente del "cemento Portland", por calcinación de nódulos de caliza arcillosa.

El nombre de cemento Portland, concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento fraguado y la piedra de Portland, una caliza blanco-plateada que se extraía hacía más de tres siglos de unas canteras existentes en la pequeña península de Portland (6,5 kilómetros de largo por 2,5 de ancho), en la costa sur del Condado de Dorset, en Inglaterra, Figura 1.

El nombre de cemento Portland se ha conservado a través del mundo hasta nuestros días, para describir un cemento que se obtiene de la mezcla minuciosa de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina, u óxidos de hierro, calentándolos a una temperatura de formación de clinker, y mezclándolo posteriormente.

En el siglo XIX, L. J. Vicat prepara una cal hidráulica al calcinar una mezcla de creta y arcilla molida en forma de lodo, de esta manera nace lo que hoy se conoce como el método húmedo.



Figura 1. Cantera donde se obtiene la piedra caliza que da origen al nombre de cemento Portland.

En 1845, Isaac Johnson obtiene el prototipo del cemento moderno quemado, alta temperatura, una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del "clinker". Ya para 1867 se crean las primeras losas con refuerzo metálico embebido en concreto, en 1868 se realiza el primer

embarque de cemento Portland de Inglaterra a los Estados Unidos, además en este mismo año el jardinero Monier construyó un depósito de agua de 200 m³, y sus procedimientos fueron aplicados en la construcción de bóvedas armadas, y después, en vigas rectas.

Poco tiempo después en 1871 la compañía Copley Cement produce el primer cemento Portland en los Estados Unidos. Posteriormente en 1877 se funda la primera asociación para fijar las especificaciones del cemento Portland en Alemania, para controlar la calidad del producto, el primer horno rotatorio es utilizado para la producción de clinker en 1886 y en 1890 se introduce el yeso como retardante del fraguado y se utilizan altas temperaturas para obtener silicatos con alto contenido de óxido de calcio.

En el siglo XX se realizaron grandes avances como lo es la estandarización de las pruebas básicas del cemento, además de comenzarse a introducir las innovaciones del concreto armado a la Arquitectura e Ingeniería; y es a partir de este momento cuando alcanza un gran desarrollo en la sistematización de sus técnicas, métodos constructivos y cálculos. Con este crecimiento tecnológico nacen industrias relacionadas o derivadas del cemento; para controlar mejor su uso y para su empleo más eficiente, se crean industrias como: del concreto premezclado, de la prefabricación, del pre-esfuerzo, tubos, blocks, entre otros.

En 1904 se funda la Institución Británica de Estándares, se publica la primera especificación del Cemento Portland por la American Society for Testing Materials (ASTM) y comienzan las investigaciones sobre las propiedades del cemento con una base científica y sistemática. En 1908 se patenta el cemento aluminoso (Lafarge), Thomas Edison promueve una patente para hornos rotatorios en 1909.

Se patenta el Cemento Sulfoaluminoso (Klein) en 1960 y en 1985 las cenizas volantes son introducidas como aditivo puzolánico, Tabla 1.

En México en el año de 1906 nace la primera planta cementera mexicana, en Hidalgo, Nuevo León, lo que hoy en día es el "GRUPO CEMEX", empresa que tenía una capacidad de 20,000 toneladas por año.

En 1931 Cementos Hidalgo y Cementos Portland Monterrey se fusionan para formar Cementos Mexicanos, actualmente CEMEX, misma empresa que en 1992 es considerada como el cuarto productor de cemento a nivel mundial con una producción de 30.3 millones de toneladas por año, Tabla 2.

Tabla 1: Cronología de la industria del cemento a nivel mundial

AÑO	EVENTO
Prehistoria	Se utilizaron bloques de piedra de gran tamaño y cuya estabilidad dependía de su colocación.
400 A.C.	Los romanos usaban una ceniza volcánica llamada puzolana como cementante natural, proveniente del monte Vesubio.
500 - 1200	Se emplean morteros con arena gruesa y cal, mezclada con carbón de madera, tierra cocida, escayola o tejoleta.
1300	Se reintroduce la técnica de incinerar cal y agregarle puzolana.
1756 - 1830	Se hace uso del cemento natural, el cual era una mezcla natural de cal y arcilla.
1796	James Parker patenta un cemento hidráulico producido al calcinar módulos de cal impuros que contienen arcilla.
1800-1850	Este periodo fue caracterizado por la aplicación de tres materiales: el acero, el cristal y el concreto.
1812	Louis Vicat de Francia prepara una cal artificial al calcinar mezclas sintéticas de arcilla y cal.
1818	Murice St Leger obtiene una patente por un cemento hidráulico.
1820	Se asoció un entrapado de barras de hierro con concreto en ambas caras.
1822	James Frost prepara cal artificial denominado Cemento Británico.
1824	Joseph Aspdin patenta la fórmula de cemento Portland.
1828	Se lleva a cabo el primer uso de ingeniería del cemento Portland en el túnel bajo el río Támesis.

AÑO	EVENTO
1836	Se realiza la primera prueba sistemática de tensión y compresión en Alemania.
1845	Isaac Johnson logra temperaturas suficientemente altas para clinkerizar la materia prima.
1847	Isaac Johnson descubre la necesidad de quemar los materiales hasta el punto de fusión.
1849	Pettenkofer y Fuches llevan a cabo el primer análisis químico del cemento portland.
1850	Se usa el concreto en botes por Jean - Louis Lambot.
1861	El francés Coignet construye un solar con el principio de entrapado de acero y cimbrado para recibir el concreto.
1862	Blake Stonebreaker introduce los trituradores de quijadas para moler la materia prima.
1867	Se crean las primeras losas con refuerzo metálico embebido en el concreto.
1873	Se construye el primer puente haciendo uso de concreto.
1877	Se funda la primera asociación para fijar especificaciones del Cemento Portland, en Alemania para controlar la calidad del producto
1884	Earnest L. Ransom patenta un sistema de refuerzo usando varillas.
1885	F. Ransome patenta un horno horizontal que podía ser rotado, de modo que el material podía moverse gradualmente de un lado al otro dentro del horno.
1886	Se construye el primer horno rotatorio en Inglaterra.
1887	Henri Le Chatelier establece los porcentajes de óxidos y compuestos necesarios para preparar el cemento portland.

AÑO	EVENTO
1889	Se construye el primer edificio y el primer puente de concreto reforzado.
1890	Se adiciona yeso al clinker como regulador del fraguado.
1893	Michaelis desarrolla una nueva teoría de fraguado al criticar los trabajos de Le Chatelier. Las dos teorías generadas, la coloide y el cristaloides son la base de las teorías actuales de hidratación.
1900	Se estandarizan las pruebas para el cemento.
1903	Se comienzan a introducir las innovaciones del concreto armado a la Arquitectura e Ingeniería.
1904	Se funda la Institución Británica de Estándares, se publica la primera especificación del Cemento Portland por la American Society for Testing Materials (A. S. T. M.)
1908	Se patenta el cemento aluminoso (Lafarge).
1909	Thomas Alba Edison obtiene una patente para los hornos rotatorios.
1923	Nace el Comité para propagar el uso del cemento Portland con aportaciones de 4 de las 5 empresas que existían en ese entonces.
1927	Eugene Freyssinet inventa el concreto pre - esforzado.
1930	Agentes inclusores de aire son introducidos para mejorar la resistencia del concreto al daño por congelamiento.
1940	Se desarrollan los primeros hornos de vía húmeda, los cuales eran el doble de eficientes a los hornos rotativos anteriores.
1960	Se patenta el cemento sulfoaluminoso (Klein)
1970	Se desarrollan los hornos largos vía seca y se introduce el fibrocemento en el concreto.

AÑO	EVENTO
1985	Cenizas volantes son introducidas como aditivo puzolánico.

Tabla 2: Cronología de la industria del cemento en México.

AÑO	EVENTO
1906	Nace la primer planta cementera mexicana, en Hidalgo, N.L. que a la postre surgiera, lo que hoy en día es el "GRUPO CEMEX".
1928	Se funda Holcim Apasco en el Municipio de Apaxco, Estado de México,
1931	Cementos Hidalgo y Cementos Portland Monterrey se fusionan para formar Cementos Mexicanos, actualmente CEMEX.
1942	Creación de la Comisión Reguladora del Cemento.
1944	Creación de la Oficina de la Industria del Cemento
1948	Se crea la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM) con la participación de todas las empresas constituidas como Sociedades Anónimas.
1953	La CANACEM inicia a concentrar estadísticas de las condiciones de higiene y seguridad que prevalecen en todas las fábricas de cemento.
1959	Se funda el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, el cual adopta las funciones de divulgación del cemento y del concreto, así como la participación en la elaboración de normas de calidad del cemento y del concreto.
1970-1980	Holcim Apasco adquiere Cementos Veracruz, nace y se expande la división de concreto premezclado, e inicia operaciones la planta cementera de Macuspana, Tabasco.
1970	Holcim Apasco adquiere Cementos Acapulco. Inician operaciones las plantas de cemento de Ramos Arizpe, Coahuila y

AÑO	EVENTO
	Tecomán, Colima, y comienza a operar el Centro Tecnológico del Concreto en Toluca, Estado de México.
1973	Se edita el primer anuario que incluye información relevante acerca de la producción y el consumo de cemento en México, así como datos referentes a la industria.
1992	Se firma un convenio con el IMSS para diferenciar a la industria del cemento de la industria de yeso y de la cal, con objeto de pagar cuotas que se ajusten más a la realidad.
1994	<p>Se establece en conjunto con el IMSS el Premio Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.</p> <p>Se logra que la SCT reinicie la utilización de concreto en pavimentos carreteros, terminando así con un mito que duró 70 años.</p> <p>La CANACEM participa como socio fundador del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCEE)</p>
2000 - 2002	Comienza a operar la segunda línea de operación de la planta cementera de Ramos Arizpe.
2008	Holcim Apasco Inicia la construcción de una nueva planta cementera en Hermosillo, Sonora

1.2 Definición de cemento

De acuerdo a la norma NMX-C-021-ONNCEE-2004 que habla sobre INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA; Este producto es llamado también cemento para albañilería desde sus inicios se ha conocido también con el nombre de mortero, esta denominación ha permanecido más por tradición que por tratarse de alguna palabra con origen técnico.

Aprovechando el proceso de modernización que está viviendo México en el tema de

normalización, se ha querido corregir el nombre de este producto, por el nombre que se le da internacionalmente el cual es "cemento para albañilería".¹

Se definen como cementos, los conglomerantes hidráulicos que, convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como bajo agua.

El nombre de cemento se cree deriva de caementum, que en latín significa argamasa y procede, a su vez, del verbo caedere (precipitar). Antiguamente, se aplicaba a los morteros en general, cualquiera que fuera la sustancia aglomerante y desde el año 1792, en que Parker patentó su cemento natural, a los productos resultantes de la cocción de caliza y arcilla.

El uso de aglomerantes fue muy extendido en Grecia y sobre todo en Roma, donde utilizaron en sus construcciones un hormigón a base de cal grasa, áridos y punzolanas naturales.²

Naturaleza.

Las dos materias primas principales utilizadas en la fabricación de los cementos son las piedras calizas con riqueza en carbonato cálcico superior al 85% y las arcillas que aportan sílice, alúmina y hierro. Se suelen utilizar con frecuencia la mezcla naturales de las anteriores denominadas magras que, según sean ricas en un uno u otro compuesto se llama margas calizas o arcillosas.

Es muy frecuente añadir otros productos que compensen la falta de algún componente como, arena para aportar sílice, pirita por el hierro o bauxita para la alúmina. Estos componentes se denominan correctores y sirven para ajustar muy exactamente la composición final del cemento. Las calizas son materiales pétreos de diferentes procedencias (sedimentación química u orgánica) y de pureza variable aunque compuestas principalmente por carbonato de calcio (CO_3Ca)

¹**Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.** (2004). *Norma Mexicana: NMX-C-021-ONNCCE-2004 (Esta norma cancela y sustituye a la NMX-C-021-1981) Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de julio de 2004: "Industria de la construcción- Cementos para albañilería (mortero)- Especificaciones y métodos de prueba"* Building industry. Masonry cement. Specifications and test methods. México: ONNCCE.

²**Sonja S. Singer.** Capítulo 10. Cementos en su Enciclopedia de la Química Industrial- Tomo 9- Cerámica Industrial 9° edición, URMO, México. 2005 Capítulo.

carbonato de magnesio (CO_3Mg), como impureza nociva y pequeñas cantidades de sílice, alúmina y hierro.

Las arcillas son silicatos aluminicos hidratados, conteniendo también óxidos de hierro y pequeñas cantidades de carbonato de calcio (CO_3Ca), carbonato de magnesio (CO_3Mg), álcalis o sulfatos por su origen sedimentario.

Las margas son rocas producidas por precipitación conjunta de productos arcillosos y calizos, conteniendo carbonato de calcio en cantidades próximas al 70%.

Para la correcta selección de las materias primas hay que tener en cuenta diversos factores:

- Fácil explotación de la cantera y el transporte.
- Facilidad de machaqueo y molienda.
- Baja retención de humedad.
- Calidad y composición uniforme facilitando la homogenización de la mezcla.
- Baja temperatura de reacción entre sus óxidos.

1.2.1 Definiciones generales

La palabra cemento tan ampliamente difundida se aplica a todo tipo de producto o mezcla de ellos, que presenta propiedades adhesivas. Por lo tanto quedan incluidos en esta definición los compuestos arcillosos, aluminosos y magnesianos así como las resinas sintéticas.

Tomando en cuenta la norma NMX-C-021-ONNCCE-2004, de INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA; tenemos las siguientes definiciones:

Cemento para albañilería (mortero)

El mortero es el material formado por un cemento hidráulico finalmente pulverizado, que agregar agua y arena, tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida que adquiere resistencia mecánica con el paso del tiempo hasta un punto

máximo.³

Sus componentes pueden ser piedra caliza, arcilla, puzolana, escoria granulada de alto horno, ceniza volante y yeso. A criterio del productor puede incorporarse además, como auxiliares de la molienda o para impartir determinadas propiedades, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto. El cemento para albañilería al mezclarse con arena y agua, produce morteros con características especiales que son utilizados para el pegado de tabiques, enjarres, repellados, aplanados, trabajos decorativos, etc.

Conglomerantes hidráulicos

De un modo general, podemos definir como conglomerante hidráulico aquellos productos que, amasados con agua, fraguan y endurecen sumergidos en dicho líquido y son prácticamente estables en contacto con él.

Se emplean normalmente en forma de pastas, morteros u hormigón en las que el cemento es el componente adhesivo y resistente, siendo esto fundamental en el elemento árido, tanto por el tipo como por la forma y granulometría.

Cementos

Son conglomerante hidráulicos, esto es, materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como en presencia del agua.

Los cementos deberán ser materiales naturales muy finos (0-150 µm) y estadísticamente homogéneos, cuyo aceptable grado de uniformidad de propiedades y de comportamiento solo se puede conseguir mediante procesos continuos y continuados de fabricación (selección,

³**Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.** (2004). *Norma Mexicana: NMX-C-021-ONNCCE-2004 (Esta norma cancela y sustituye a la NMX-C-021-1981) Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de julio de 2004: "Industria de la construcción- Cementos para albañilería (mortero)- Especificaciones y métodos de prueba"* Building industry. Masonry cement. Specifications and test methods. México: ONNCCE.

dosificación, molduración, homogenización de materias primas y de productos intermedios y clinkerización de crudos), así como de realizaciones periódicas y frecuentes de control de calidad, todo ello llevado a cabo mediante operaciones de autocontrol de los fabricantes, ejecutadas por personal calificado y con maquinaria, equipos e instrumentos idóneos.

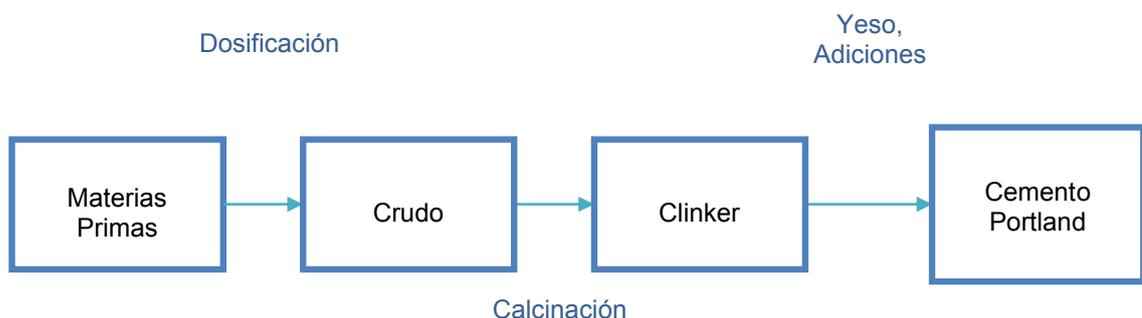
Cementos portland

Dentro de los conglomerantes, los cementos y en particular los portland y sus derivados, ocupan el principal lugar en cuanto a consumo e importancia en la construcción. Su obtención a base de piedras calizas y arcillas, materias primas abundantes y relativamente económicas, tanto si son naturales como subproductos industriales hace que sea el primer material de construcción en la actualidad dada sus cualidades.

En los últimos años el clásico cemento portland ha dejado de ser el principal cemento siendo sustituido por otros como el portland por adiciones. En determinados empleos además, los portland no son adecuados y se utilizan cementos especiales (aluminosos, siderúrgicos, etc.)

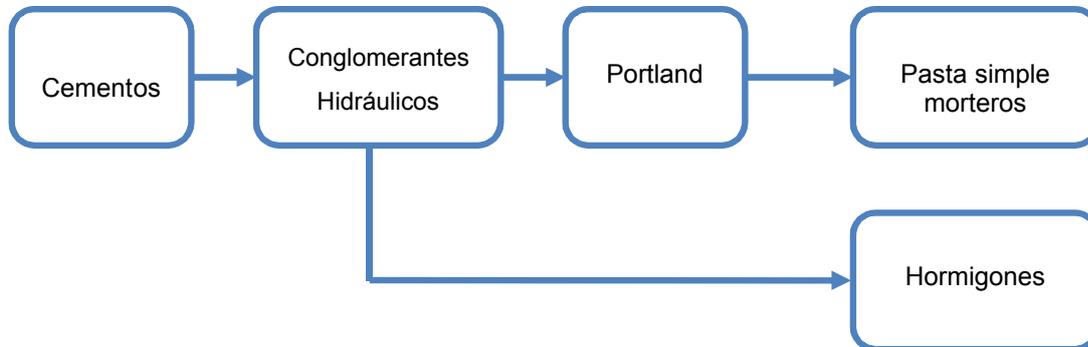
Definición: Se define el cemento portland como “ El producto artificial que resulta de calcinar hasta principio de fusión mezclas homogéneas de calizas y arcillas obteniéndose el clinker, el cual se pulveriza junto con yeso que actúa como retardador del fraguado, pudiendo añadirse otros productos activos o no”.

De la anterior definición se deduce el siguiente esquema:



Por ello se comprende el que sea el primer material de construcción en la actualidad, ya que se consigue un producto de buenas cualidades mecánicas a base de materias primas abundantes y económicas, tanto si son productos naturales como subproductos industriales resultado de la fabricación de otros materiales (escorias, cenizas volantes, etc.).

El esquema de los cementos, particularizando para los de tipo portland y sus formas de empleo queda como sigue:



El cemento es el producto industrial más utilizado en el mundo, su bajo precio, versatilidad y altas prestaciones permiten un amplio campo de aplicaciones.⁴

El cemento, como un material cerámico, es el conglomerante hidráulico por excelencia, elaborado a partir de la cocción y molienda de materiales pétreos seleccionados, según un riguroso control medioambiental y de calidad de productos.

Para comprender mejor cada uno de los conceptos que se estarán empleando, se detalla una lista de definiciones las cuales están establecidas dentro de la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2004("Industria de la Construcción-Cementos Hidráulicos-Especificaciones y Métodos de Prueba").Para los efectos de esta norma mexicana se establece las siguientes definiciones.

Caliza: Son materiales de naturaleza inorgánica y origen mineral carbonatado, compuestos principalmente por carbonato de calcio y que se utiliza para mejorar las propiedades y el comportamiento del cemento.

Características especiales de los cementos: Son la resistencia al ataque de sulfatos, la baja reactividad álcali agregado, el bajo calor de hidratación y el color blanco. Los respectivos cementos deben tener una designación adicional acorde con la (s) característica (s) especial (es) que presente (n).

Cementos Resistentes a los Sulfatos: Son aquellos cementos que por su

⁴**Sonja S. Singer.** Enciclopedia de la Química Industrial- Tomo 9- Cerámica Industrial 9° edición, URMO, México. 2005

comportamiento cumplen con el requisito de expansión limitado de acuerdo con el método de prueba establecido.

Cementos de Baja Reactividad Alkali agregado: Son aquellos cementos que cumplan con el requisito de expansión limitada en la reacción álcali agregado, de acuerdo con el método de prueba establecido.

Cementos de Bajo Calor de Hidratación: Se considera a aquellos cementos que desarrollen un calor de hidratación igual o inferior al especificado en esta norma.

Cementos Blancos: Se consideran todos aquellos cuyo índice de blancura cumpla con el valor especificado en la presente norma.

Cemento hidráulico: Es un material inorgánicos finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, desarrolla su resistencia y conserva su estabilidad.

Cemento con escoria granulada de alto horno: Es el cemento que resulta de la integración de clinker Portland y usualmente sulfato de calcio.

Cemento Portland Ordinario: Es el cemento producido a base de la molienda de clinker Portland y usualmente sulfato de calcio.

Cemento Portland Compuesto: Es el cemento que resulta de la integración de clinker Portland, sulfato de calcio y una mezcla de materiales puzolánicos, escoria de alto horno y caliza. En el caso de la caliza, este puede ser componente único.

Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno: Es el cemento que resulta de la integración de clinker Portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.

Cemento Portland con Humo de Sílice: Es el cemento que resulta de la integración de clinker Portland, humo de sílice y sulfato de calcio.

Cemento Portland Puzolánico: Es el cemento que resulta de la integración de clinker

Portland, materiales puzolánicos y sulfato de calcio.

Cenizas volantes: Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas con carbones pulverizados. Se considera como materiales puzolánicos.

Clinker Portland: Es el producto artificial obtenido por sintonización de los crudos correspondientes, es decir, por la calcinación y sintonización de los mismos a la temperatura y durante el tiempo necesario, y por enfriamiento adecuado, a fin de que dichos productos tengan la composición química y la constitución mineralógica requerida. Los crudos de clinker Portland son mezclas suficientemente finas, homogéneas y adecuadamente dosificadas a partir de materias primas que contiene cal (CaO), sílice (SiO₂), alúmina (Al₂O₃), óxido férrico (Fe₂O₃) y pequeñas cantidades de otros compuestos minoritarios, los cuales se clinkerizan.

Escoria granulada de alto horno: Es el subproducto no metálico constituido esencialmente por silicatos y aluminosilicatos, que se obtienen por el enfriamiento brusco con agua o vapor y aire, del residuo que se produce simultáneamente con la fusión de minerales de hierro en el alto horno.

Puzolana: Las puzolanas son sustancias naturales, artificiales o subproductos industriales, silíceas o silicoaluminosas, o una combinación de ambas, las cuales no endurecen por sí mismas cuando se mezclan con agua, pero finamente molidos, reaccionan en presencia de agua a la temperatura ambiente con el hidróxido de calcio y forman compuestos con propiedades cementantes.

Sulfato de calcio (comúnmente conocido como yeso): Es el producto natural o artificial que se utiliza para regular el tiempo de fraguado y se presenta en diferentes estados: anhídrido (CaSO₄), yeso (CaSO₄·2H₂O) y hemihidrato (CaSO₄ · ½ H₂O).⁵

1.3 Componentes del cemento

⁵Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (1999). Norma Mexicana: NMX-C-414-ONNCCE-2004 (Esta norma cancela y sustituye a la NMX-C-414-ONNCCE-1999): Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de julio de 2004. Industria de la construcción. Cementos hidráulicos. Especificaciones y métodos de prueba = Building industry. Hydraulic cement. Specifications and testing methods. México: ONNCCE.

Para fabricar cemento pueden utilizarse tanto materiales de origen natural como productos industriales, la única y fundamental condición es, que sean minerales que contengan los componentes principales del cemento: cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro. Estos componentes raramente se encuentran en las proporciones deseadas en una sola sustancia. Por tanto la mayoría de las veces se ha de elegir la mezcla de un componente rico en cal (componente calcáreo) con otro pobre en cal pero que contengan sílice, alúmina y hierro (componente arcilloso).

Componente calcáreo: En el crudo para el cemento el componente calcáreo alcanza una cuantía del 76-80%. Por consiguiente, las propiedades físicas de este componente tienen una influencia decisiva en la elección del proceso de fabricación del cemento y de los dispositivos de su realización.

Para la fabricación del cemento portland es adecuado el carbonato cálcico procedente de todas las formaciones geológicas. Las formas más comunes están constituidas por la caliza, las cretas y las margas.

- a) Calizas:** Las calizas tienen estructura cristalina de grano fino, por lo tanto son compactas. Son rocas sedimentarias.

Las formas más puras son el espato calizo (calcita) y el aragonito. Una variedad del espato calizo es el mármol, pero la utilizada del mismo sería antieconómico.

La dureza de la calidad viene determinada por su edad geológica, cuanto más antigua más dura.

- b) Creta:** Roca sedimentaria de estructura suelta y terrea, esta propiedad califica a la creta para la fabricación de cemento por vía húmeda.

Es una roca de fácil extracción y por lo tanto barata. Puede llegar a contener del 98 a 99 % de carbonato cálcico con pequeñas adiciones de SiO_2 , Al_2O_3 y MgCO_3 .

- c) Margas;** Son calizas que van acompañadas de sílices y productos arcillosos. Son rocas sedimentarias. Debido a su abundancia, las margas son utilizadas con mucha frecuencia como materia prima para la fabricación del cemento.

Son un excelente material para su fabricación puesto que contiene el material calcáreo y arcilloso en estado homogeneizado. Según las relaciones entre componentes calcáreos y arcillosos en las materias primas podemos distinguir:

Tabla 3. Relaciones entre componentes calcáreos y arcillosos en las materias primas

Componente	Contenido en CaCO ₃
Caliza de alto porcentaje	96-100 %
Caliza margosa	90-96 %
Marga calcárea	75-90 %
Marga	40-75 %
Marga Arcillosa	10-40 %
Arcilla Margosa	4-10 %
Arcilla	0-4 %

La segunda materia prima importante para la fabricación del cemento es la arcilla.

Componentes arcillosos: Son productos de meteorización de silicatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos, en particular de los feldespatos y las micas. Las arcillas se clasifican en los siguientes grupos minerales:

- *Grupo del caolín:* caolinita, nacrita.
- *Grupo de la montmorillonita:* montmorillonita, saponita.
- *Grupo de las arcillas que contienen metales alcalinos o alcalinotérreos:* micas arcillosas incluyendo la illita.

El caolín es una arcilla blanca o ligeramente coloreada que puede ser sedimentaria, pero con frecuencia resulta de la descomposición in situ del granito. Es relativamente rico en alúmina, pero contiene normalmente una pequeña cantidad de óxido de hierro; por esta razón se usa en la fabricación del cemento blanco.

La composición química de las arcillas varía desde aquellas que se aproximan a los minerales puros de arcillas (caolín) hasta las que contienen agregados de hidróxido de hierro, sulfuro de hierro, etc. La principal fuente de álcalis en los cementos es el componente arcilloso del crudo.

El hidróxido de hierro es el componente colorante más frecuente de las arcillas aportando un color rojizo. También pueden prestarle coloraciones las sustancias orgánicas. Cuando la arcilla este sin impurezas será de color blanco, aunque esto es poco frecuente.

En la tabla 4. Podemos ver la composición aproximada de las calizas, marga y arcillas.

Tabla 4. Composición aproximada de las calizas, marga y arcillas.

COMPONENTE	CALIZA	MARGA	ARCILLA
Perdida al fuego	39-41 %	24-33 %	6-10 %
SiO ₂	4-7 %	21-33 %	52-67 %
Al ₂ O	0.7-2%	4-11 %	8-25 %
Fe ₂ O ₃	0.4-2 %	2-5 %	4-9 %
CaO	49-53 %	27-40 %	0.5-8 %
MgO	0.3-2 %	0.7-2 %	0.05-2 %
SO ₃	0-1 %	0-0.4 %	0-4 %
K ₂ O	0-0.2 %	0.05-0.2%	0.75-3 %
Na ₂ O	0-0.3 %	0.07-0.4 %	-----

Componentes correctores. Los componentes correctores se añaden en los casos en que las materias primas disponibles no contienen en cantidad suficiente alguno de los elementos químicamente necesarios en el crudo. De este modo se utiliza la arena como material adicional para elevar el contenido en sílice.

Si carecen de los suficientes óxidos de hierro se utilizan como correctores minerales de hierro o cenizas de la tostación de piritas. Cuando carece de alúmina, esta la aporta la bauxita. En la siguiente tabla se muestra la composición de cada de las materias primas que se requieren para

la fabricación del cemento.

Tabla 5. Composición por ciento del cemento.

Composición (por ciento en peso)						
Materia Prima	Sílice (SiO ₂)	Alúmina (Al ₂ O ₃)	Cal (CaO)	Magnesia (MgO)	Anhídrido Carbónico(CO ₂ , agua y álcalis)	Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)
Caliza arcillosas	12.66	3.92	43.26	1.30	36.97	1.50
Caliza, conchas de ostras	1.16	0.33	54.82	0.28	43.33	0.08
Marga	13.10	3.98	44.58	0.48	36.14	1.72
Arcilla	58.78	18.42	0.52	1.90	12.78	7.60
Lutita	60.20	19.42	0.40	1.46	10.28	8.24

Pueden usarse diversas materias primas como fuentes de estos ingredientes:

- *Roca de cemento*: calizas arcillosas (carbonato de calcio)
- *Caliza*: carbonato de calcio y algo de magnesia, sílice, alúmina y hierro.
- *Conchas de ostión y coquilla, greda*: carbonato de calcio
- *Marga*: mezclas naturales de arcilla con carbonato de magnesio.
- *Arcilla y lutita*: silicatos de aluminio, arcilla, mica, cuarzo y otros minerales
- *Escoria*: cal, alúmina, magnesia, magnesio y fosforo.
- *Arena y arsénica*: bióxido de silicio (sílice)
- *Yeso*: sulfato hidratado de calcio
- *Mineral de hierro, polvo de hierro*: óxido férrico.⁶

Los silicatos son los componentes más importantes y los causantes de la resistencia de la

⁶**Sonja S. Singer.** Capítulo 10. Cementos en su Enciclopedia de la Química Industrial- Tomo 9 - Cerámica Industrial 9° edición, URMO, México. 2005.

pasta hidratada de cemento. La presencia de aluminato de calcio (C_3A) en el cemento no es deseable, ya que contribuye poco a la resistencia del mismo, excepto en las primeras etapas y cuando la pasta de cemento endurecida es atacada por sulfatos, la formación de sulfoaluminio de calcio puede causar resquebrajamientos, sin embargo el C_3A es benéfico durante la elaboración del cemento, porque favorece la combinación de cal y sílice.

La cantidad de yeso añadida a la escoria es esencial y dependerá del contenido de C_3A y del álcali del cemento.

El incremento en la finura del cemento aumenta la cantidad de C_3A disponible en las primeras etapas, así como los requerimientos de yeso, no obstante, el exceso de yeso lleva a la expansión y a la consecuente ruptura de la pasta de cemento.

Además de los componentes principales mencionados anteriormente hay componentes menores como MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O y Na_2O ; que por lo general no representan más que un pequeño porcentaje de la masa del cemento.

Cal (CaO): La piedra caliza ($CaCO_3$) es la materia prima para la producción de cal ya que contiene cantidades variables de carbonato de magnesio ($MgCO_3$) de hasta treinta por ciento aproximadamente, el cual se considera benéfico ya que experimenta reacciones paralelas a la del carbonato de calcio y al mismo tiempo hace descender las temperaturas de calcificación.

Con frecuencia también se encuentran presentes dióxido de silicio la cual es una impureza perjudicial ya que reacciona con la cal (CaO) para formar silicatos, alúmina y óxido de hierro en pequeñas cantidades.

El color de las piedras calizas es generalmente blanco, pero puede variar, dependiendo de las impurezas que contengan y pueden presentar desde una tonalidad amarillenta hasta grisáceo, en algunos ejemplares la caliza es negra, signo de gran cantidad de restos orgánicos.

El uso de las rocas calizas es muy extenso, su mayor utilización es en la construcción, si se calcina se puede producir cal viva, se utiliza en la fabricación del cemento, como grava y arena (fragmentada) en la elaboración del concreto, también es materia prima para la industria del cemento Portland, cal hidratada, calcita, construcción, mármol, agricultura y agregados pétreos.

Arcilla (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3): Es una sustancia mineral plástica compuesta por silicatos de

aluminio hidratados procedente de la descomposición de minerales de aluminio. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato que cuentan además entre sus componentes básicos con caolín, arcilla, arena y cuarzo. Físicamente la arcilla contiene partículas lisas muy pequeñas, y suaves al tacto, el diámetro de dichas partículas es inferior a los 0.002 mm y comprende sustancias generalmente terrosas, que tienen la propiedad de formar una pasta dúctil, cuando están húmedas, si se le deja en reposo recupera su cohesión y su comportamiento, pero cuando se le somete a cocción pierden la propiedad de ablandarse al humedecerse.

En la actualidad las arcillas sirven como materia prima industrial ya que un 90 por ciento de la producción de arcilla se destina a la fabricación de materiales para construcción y agregados, el 10 por ciento restante se destina a la fabricación de papel, caucho, pinturas, arenas de moldeo, entre otros.

Minerales de hierro (Fe_2O_3 , FeO): El mineral de hierro se encuentra casi siempre en la mayoría de las rocas en forma de óxido, carbonato, sulfuro o silicato.

Generalmente, se consideran minerales ricos los que contienen más de 55% de hierro, de riqueza media, a los que contienen de 30 a 55% de hierro y minerales pobres, a los de contenido inferior. En la naturaleza, las menas suelen estar constituido por uno o varios minerales de hierro de composición definida, rodeados por otras materias estériles que forma la ganga o materia extraña que en mayor o menor cantidad acompaña al mineral y que hacen que su riqueza sea inferior a la que teóricamente le corresponde.

El tamaño de las partículas del material de hierro (puro) que está rodeado por ganga, varía bastante de unos casos a otros. En ocasiones está formado por grandes masas de muchos metros cúbicos de mineral puro, y en otras ocasiones las partículas del mineral son pequeñísimas y su tamaño es solo de 0,1 a 0,5 mm.

En esos casos, para separar el material hay que usar un molino que las llevan a una granulometría más fina.

El tamaño de la partícula del material tiene mucha importancia y sirve para decidir el proceso de concentración que se debe emplear.

Yeso ($Na_2 SO_4$): Tiene aproximadamente 80 por ciento de sulfato de calcio anhidro y veinte por ciento de agua, se encuentra en la naturaleza como una piedra sedimentaria, incolora o blanca

en estado puro, sin embargo, generalmente presenta impurezas que le confieren variadas coloraciones, entre las que encontramos la arcilla, óxido de hierro, sílice, caliza, etc. Sus aplicaciones son múltiples: en albañilería (confección de morteros simples para la construcción de tabiques y bóvedas para formación de cielos rasos, para techos falsos, artesonados, pisos, florones y motivos de adorno.

Puzolana-(SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃): Las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos los cuales por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes.

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) sea mayor del 70%, se trata que la puzolana tenga una estructura amorfa.

Una vez definidos los componentes del cemento es necesario determinar el porcentaje en masa de estos, lo cual determinara el tipo de cemento que se estará fabricando y el uso que tendrá el mismo, de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2004 se deben cumplir con ciertos límites los cuales están establecidos en la tabla 6.

Tabla 6. Componentes de los cementos.

Tipo	Denominación	Componentes Principales (% en masa)					
		Clinker Portland + yeso	Escoria Granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos	Humo de sílice	Caliza	Minoritarios
CPO	Cemento Portland Ordinario	95-100	---	---	---	---	0 – 5
CPP	Cemento Portland	50 - 94	---	6 – 50	---	---	0 – 5

Tipo	Denominación	Componentes Principales (% en masa)					
		Clinker Portland + yeso	Escoria Granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos	Humo de sílice	Caliza	Minoritarios
	Puzolánico						
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	40 - 94	6 – 60	---	---	---	0 – 5
CPC	Cemento Portland Compuesto (3)	50 - 94	6 – 35	6 – 35	1 -10	6 - 35	0 -5
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	90 – 99	---	---	1 -10	6 -35	0 -5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20 - 39	61 – 80	---	---	---	0 – 5

La norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2004 establece que los componentes minoritarios deben ser uno o más de los componentes principales representados en la tabla 6, también menciona que los materiales puzolánicos incluyen: puzolanas naturales, artificiales y/o cenizas volantes y que el Cemento Portland Compuesto debe llevar como mínimo dos componentes principales, excepto cuando se adicione caliza, ya que esta puede ser en forma individual o en conjunto clinker + yeso.

Los requisitos que deben cumplir los componentes principales, se detallan en la siguiente tabla;

Tabla 7. Requisitos de los componentes principales.

Componente principal	Índice de actividad con cemento CPO 30 a 28 días % (mínimo)	Carbonatos totales (% mínimo)
Escoria granulada de alto horno	75	---
Puzolana	75	---
Humo de sílice	100	---
Caliza	---	75

Dicha norma define también las siguientes especificaciones físicas: resistencia mecánica a la compresión a 3 y 28 días, tiempo de fraguado y estabilidad por volumen (especificaciones de expansión/contracción), estas especificaciones se encuentran establecidas en la tabla 8:

Tabla 8. Especificaciones físicas

Clase Resistente	Resistencia a compresión (N/mm ²)			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de volumen en autoclave (%)	
	3 días mínimo	28 días mínimo	Máximo	Inicial Mínimo	Final Máximo	Expansión Máximo	Contracción Máximo
20	---	20	40	45	600	0,80	0,20
30	---	30	50	45	600	0,80	0,20
30 R	20	30	50	45	600	0,80	0,20
40	---	40	---	45	600	0,80	0,20
40 R	30	40	---	45	600	0,80	0,20

En el caso de las propiedades químicas para los siguientes tipos de cemento y todas las clases resistentes se deben cumplir con las especificaciones químicas de la tabla 9.

Tabla 9. Especificaciones químicas

Propiedades	Tipos de cemento	Especificación (% en masa)
Perdida por ignición	CPO ⁷ , CEG ⁸	Max 5,0 %
Residuo insoluble	CPO, CEG	Max 5,0 %
Sulfato (SO ₃)	Todos	Max 4,0 %

En los casos donde las propiedades del cemento puedan ser mejoradas excediendo los límites de sulfato (SO₃) establecidos en la tabla 9, es permisible exceder dichos límites, siempre que no cause expansiones mayores a 0,020 % a los 14 días de inmersión en agua de acuerdo a lo establecido en la norma NMX-C-185-ONNCCE

Cuando se requiera que un cemento tenga alguna característica especial, de acuerdo a lo indicado en la tabla 11. "Especificación de los cementos", dicho cemento debe cumplir con las especificaciones indicadas en la tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones de los cementos con características especiales

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos (máx. %)	Expansión por la reacción álcali agregado (máx. %)			Calor de hidratación (máx.) kJ/kg (Kcal/kg)		Blancura (min. %)
		1 año	14 días	56 días	7 días	28 días		
RS	Resistente a los sulfatos	0,10	---	---	---	---	---	
BRA	Baja Reactividad Álcali Agregado	---	0,020	0,060	---	---	---	

⁷Cemento Portland Ordinario

⁸Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos (máx. %)	Expansión por la reacción álcali agregado (máx. %)			Calor de hidratación (máx.) kJ/kg (Kcal/kg)		Blancura (min. %)
			1 año	14 días	56 días	7 días	28 días	
BCH	Bajo Calor de Hidratación	---	---	---	---	250 (60)	290 (70)	---
B	Blanco	---	---	---	---	---	---	70

1.4 Clasificación de los cementos en México.

En México la clasificación de los tipos de cemento está regida por la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999 "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN- CEMENTOS HIDRÁULICOS- ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA":

a) Por sus componentes:

Tabla 11. Clasificación de cementos mexicanos

TIPO	DENOMINACIÓN
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
TPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con humo de sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

"Cemento Hidráulico: Es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua (ya sea solo o mezclado con arena, grava o asbesto u otros materiales similares), tienen la

propiedad de fraguar y endurecer incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad”⁹.

Dicha norma también define la clasificación de los cementos de acuerdo a su resistencia el cemento puede ser:

La resistencia normal de un cemento es la resistencia mínima mecánica a la compresión cierto número de días (Newton/mm²), Tabla 12.

Clase resistente: Dado que la resistencia a la compresión es en términos generales la propiedad más importante para la mayoría de los usuarios, esta nueva norma hace énfasis sobre los valores que en este sentido debe cumplir los cementos producidos en México, definiendo cinco clases resistentes.

La clase resistente de un cemento se indica con los valores 20,30 y 40. Si alcanza una resistencia rápida se añadirá la letra “R” en las clases 30R y 40R

Tabla 12 Especificaciones mecánicas

Clase resistente	Resistencia a la compresión (N/mm ²)	Resistencia a la compresión (N/mm ²)	
	Edad 3 días	Edad 28 días	
	Mínimo	Mínimo	Máximo
20	---	20	40
30	---	30	50
30 R	20	30	50
40	---	40	---
40 R	30	40	---

⁹Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (1999). Norma Mexicana: NMX-C-414-ONNCCE-2004 (Esta norma cancela y sustituye a la NMX-C-414-ONNCCE-1999): Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de julio de 2004. Industria de la construcción. Cementos hidráulicos. Especificaciones y métodos de prueba = Building industry. Hydraulic cement. Specifications and testing methods. México: ONNCCE pg. 5.

Resistencia del cemento.

Tabla 13. Resistencia del cemento

Cementos de Resistencia Normal o Resistencia Mecánica a la compresión a 28 días				
20		30		40
Resistencia a 28 días				
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
204 Kg/cm ²	408 Kg/cm ²	306 Kg/cm ²	510 Kg/cm ²	408 Kg/cm ²

Cementos de Resistencia Inicial o Temprana o resistencia mecánica a la compresión desarrollada a 3 días.

Tabla 14. Resistencia desarrollada a 3 días

30R Resistencia a		
3 días	28 días	
Mínimo	Mínimo	Máximo
más de	más de	más de
204 Kg/cm ²	306 Kg/cm ²	510 Kg/cm ²

Tabla 15. Clasificación de los cementos de acuerdo a sus características especiales

Nomenclatura	Características especiales de los cementos
RS	Resistente a los sulfatos
BRA	Baja reactividad álcali agregado
BCH	Bajo calor de hidratación

Nomenclatura	Características especiales de los cementos
B	Blanco

Cemento Portland Ordinario: Es el cemento producido a base de clinker Portland y usualmente contiene sulfato de calcio.

Cemento Portland puzolánico: Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, materiales puzolánicos y usualmente contiene sulfato de calcio.

Cemento Portland con escoria granulada de alto horno: Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, escoria granulada de alto horno y usualmente contiene sulfato de calcio.

Cemento Portland con humo de sílice: Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, humo sílice y usualmente sulfato de calcio.

Cemento con escoria granulada de alto horno: Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, escoria granulada de alto horno y usualmente sulfato de calcio.

Cemento resistentes a sulfatos: Se consideran cemento con una alta resistencia al ataque de sulfatos aquellos que por su comportamiento cumplen con el requisito de expansión limitada, de acuerdo con el método de prueba establecido.

Cementos de baja reactividad álcali-agregado: Se consideran cementos de baja reactividad álcali-agregado, de acuerdo con el método de prueba establecido.

Cementos de bajo calor de hidratación: Se consideran cementos de bajo calor de hidratación aquellos que desarrollan un calor de hidratación igual o inferior al especificado en la norma oficial mexicana.

Cementos blancos: Se consideran cementos blancos todos aquellos cuyo índice de blancura es igual o inferior al especificado en la norma oficial mexicana.

Tipo I: Se usa para proyectos de construcción en general.

Tipo II: Para un concreto que estará expuesto a un suelo o aguas cuyo contenido de sulfatos pueda potencialmente dañar al proyecto.

Tipo III: Se usa para proyectos como carreteras, que requieren de un endurecimiento rápido debido a su uso frecuente o por sus características especiales de construcción.

Tipo IV: Se usa en climas cálidos o para proyectos masivos de concreto que requieren un endurecido uniforme.

Tipo V: Se usa para proyectos tales como cortinas de presas que están expuestos a altos niveles de sulfatos.

1.5 Tipos de cementos

El cemento es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas, durante la hidratación y que una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad.

La influencia que el cemento portland ejerce en el comportamiento y sus propiedades de la pasta cementante derivan fundamentalmente de la composición química del clinker y de su finura de la molienda, habría que añadir a esos dos factores los referentes de las características físicas y químicas y el contenido del cemento.

Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante, se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designan como la hidratación del cemento.

Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidez gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado, y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de la resistencia del producto.

Se dice que la composición química de un clinker Portland se define convenientemente mediante la identificación de cuatros compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento portland.

En cuanto a su fabricación, prácticamente se muele un solo material que es el clinker que es relativamente homogéneo y de dureza uniforme, de manera que al molerlo se produce una fragmentación y pulverización gradual que se manifiesta por su granulometría.

A continuación se da una clasificación de los tipos de cemento de acuerdo a lo establecido en la norma NMX-C-414-ONNCCE-2004 “Industria de la Construcción-Cementos Hidráulicos-Especificaciones y Métodos de Prueba” en cuenta sus características principales y para qué son recomendados tomando en cuenta sus principales componentes y sus propiedades específicas, Tabla 16.

Clases resistentes: Los cementos se clasifican por su resistencia a la compresión, en cinco clases de acuerdo con la tabla 16. Características Especiales: Los cementos se clasifican por sus características especiales, de acuerdo a lo especificado en la tabla 16.

Designación normalizada: Los cementos se deben identificar por el tipo y la clase resistente (véase tabla 16). Si el cemento tiene especificada una resistencia a 3 días se añadirá la letra R (resistencia rápida).

En el caso de que un cemento tenga alguna de las características especiales señaladas en la tabla 16, su designación se completa de acuerdo con la nomenclatura indicada en dicha tabla; de presentar dos o más características especiales, la designación se hace siguiendo el orden descendente de la tabla 16, separándolas con una diagonal.

Tabla 16. Clasificación de los cementos

Tipo	Denominación	Clase resistente	Características especiales
CPO	Cemento Portland Ordinario	20	RS Resistente a los sulfatos
CPP	Cemento Portland Puzolánico	30	BRA Baja Reactividad Alkali agregado
CPEG	Cemento Portland con Escoria	30 R	BCH

Tipo	Denominación	Clase resistente	Características especiales
	Granulada de Alto Horno		Bajo Calor de Hidratación
CPC	Cemento Portland Compuesto	40	B Blanco
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	40 R	---
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	---	---

Ejemplo 1: Un cemento Portland Ordinario de clase 30 con resistencia especificada a 3 días; se identifica como:

Cemento CPO 3 R.

Ejemplo 2: Un cemento Portland Compuesto, de clase 30, con resistencia especificada a 3 días y resistencia a los sulfatos, se identifica como:

Cemento CPC 30 R RS

Ejemplo 3: Un cemento Portland puzolánico de clase 30, de baja reactividad álcali agregado y bajo calor de hidratación, se identifica como:

Cemento CPP 30 BRA/BCH

Ejemplo 4: Un cemento Portland ordinario de clase 30, con resistencia especificada a 3 días y blanco, se identifica como:

Cemento CPO 30 R B

De acuerdo a lo establecido en la norma NMX-C-414-ONNCCE-2004, los cementos se van a diferenciar por su clase resistente y la característica en especial que nos puede proporcionar, no obstante en el mercado existen diversos tipos de cementos los cuales detallamos en la siguiente tabla 17, las características principales y el uso de estos.

Tabla 17. Tipos de cemento de acuerdo con sus principales características y usos

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
Cemento Portland Ordinario	Componente principal, el clinker, y que puede llevar alguna adición o mezcla de ellas.	Excelente para construcciones en general, zapatas, columnas, trabes, castillos, dalas, muros, losas, pisos, pavimentos, guarniciones, banquetas, etc. Ideal para la elaboración de productos prefabricados (Tabicones, adoquines, bloques, postes de luz, lavaderos, balaustradas, piletas etc.
Cemento Portland Compuesto	Presenta excelente durabilidad en prefabricados para alcantarillados y a los concretos les proporciona una mayor resistencia química y menor desprendimiento de calor. Compatible con todos los materiales de construcción.	Se recomienda especialmente para prefabricados como: bloques, viguetas, bovedilla, tabicones y adoquines. edificios., pisos, pavimentos, carreteras., aeropistas, postes.
Cemento Portland Puzolánico	Diseñado para la construcción sobre suelos salinos. El mejor para obras expuestas a ambientes químicamente agresivos. Alta durabilidad en prefabricados para alcantarillados.	Construcción de zapatas, pisos, columnas, castillos, dalas, muros, losas, pavimentos, guarniciones, banquetas, muebles municipales (Bancas, mesas, fuentes, escaleras), etc.
Cemento Portland con escoria	Componentes principales, clinker en proporción comprendida entre 80% y 94% y escoria de horno alto en proporción comprendida entre 6% y 10%; o clinker en proporción comprendida entre	Puede utilizarse en cualquier tipo de construcción y es especialmente recomendado cuando se tiene un ataque moderado de sulfatos.

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
	65% y 79% y escoria de horno alto en proporción comprendida entre 21% y 35%. Puede llevar hasta un 5 % de otra adición o mezcla de ellas.	
Cemento Portland con humo de sílice	Componentes principales, clinker en proporción comprendida entre 90% y 94% y humo de sílice en proporción comprendida entre 6% y 20%. Puede llevar hasta un 5% de otra adición o mezcla de ellas.	Obras de concreto en masa y armado. Pavimentaciones y cimentaciones. Morteros en general. Prefabricación con tratamientos higrotérmicos. Obras en las que se requiera impermeabilidad, a condición de que la dosificación sea la adecuada.
Cemento Portland Ordinario Blanco	Alta resistencia a la compresión tiene los mismos usos estructurales que el cemento gris. Este producto puede pigmentarse con facilidad.	Excelente para obras ornamentales o arquitectónicas como fachadas, monumentos, lápidas, barandales, escaleras, etc. Gran rendimiento en la producción de mosaicos, terrazos, balaustradas, lavaderos, W.C. rurales, tirolés, pegazulejos, junteadores, etc.
Cemento Portland Ordinario Resistente a los Sulfatos	Proporciona mayor resistencia química para concretos en contacto con aguas o suelos agresivos (aguas marinas, suelos con alto contenido de sulfatos o sales)	Recomendable para la construcción de presas, drenajes municipales y todo tipo de obras subterráneas.
Cemento de endurecimiento rápido	Está molido más finamente. Adquiere resistencia con mayor rapidez.	El uso de este cemento en el concreto permite descimbrar más pronto, y su mayor calor de hidratación lo hace muy adecuado cuando se cuela el concreto en tiempo frío.

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
Cemento de endurecimiento ultra rápido	Está molido con mayor finura, lo que le confiere una tasa excepcional de desarrollo de resistencia.	Para la obturación de fuertes filtraciones o vías de agua previamente a un tratamiento de impermeabilización, localizadas en: hormigón, albañilería, roca, etc.
Cemento con alto contenido de alúmina	Altamente resistente a la acción de los sulfatos.	Lo hace adecuado para usarse en lugar del cemento resistente a los sulfatos y del cemento súper sulfatado, no es recomendable utilizarlo en concretos en donde la humedad y las altas temperaturas ocurran simultáneamente.
Cemento resistente a los sulfatos	El cemento resistente a los sulfatos contiene menos aluminato tricalcio (C_3A),	Puede ser utilizado con seguridad en los lugares donde existan concentraciones de sulfatos
Cemento súper sulfatado	Este cemento contiene menor cantidad de aluminato tricalcio (C_3A)	Se utiliza en concreto para cimientos donde estén presentes altas concentraciones de sulfatos solubles.
Cementos blancos	Tienen un módulo de fundentes muy alto, aproximadamente 10. Contienen un porcentaje bajísimo de Fe_2O_3 . La reducción del Fe_2O_3 es compensada con el agregado de fluorita (CaF_2) y de criolita (Na_3AlF_6), necesarios en la fase de fabricación en el horno.	Se emplean en prefabricados de hormigón y a veces en edificios de "hormigón visto" (esto es: que no tienen posteriores revestimientos de acabado).se utilizan para sellar las juntas de azulejos o de baldosas de suelo.
Cementos de mezclas	Los cementos de mezclas se obtienen agregando al cemento Portland normal otros componentes como la	

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
	puzolana.	
Cemento puzolánico	Contiene aproximadamente: 55-70% de clinker portland ,30-45% de puzolana y 2-4% de yeso	Adecuado para ser usado en climas particularmente calurosos o para coladas de grandes dimensiones.
Cemento siderúrgico	Tiene alta resistencia química, de ácidos y sulfatos, y una alta temperatura al fraguar. Cuenta con una elevada alcalinidad natural, que lo rinde particularmente resistente a la corrosión atmosférica causada por los sulfatos.	Obras de concreto en masa, incluso de gran volumen, que requieran de un bajo calor de hidratación.
Cemento de fraguado rápido	Se caracteriza por iniciar el fraguado a los pocos minutos de su preparación con agua.	Es apropiado para trabajos menores, de fijaciones y reparaciones, no es apropiado para grandes obras porque no se dispondría del tiempo para efectuar una buena colada.
Cemento aluminoso	Se produce a partir de la bauxita con impurezas de óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de titanio (TiO_2) y óxido de silicio (SiO_2). Adicionalmente se agrega calcáreo o bien carbonato de calcio.	Utilizado para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, etc.
Mortero	Fabricado con cemento y puzolana, lo que le da una capacidad reaccionante dando así excelentes propiedades mecánicas, como lo es la	Actúa como material de cohesión agrupando los elementos de albañilería.

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
	resistencia a la compresión, hidraulicidad, trabajabilidad (por su plasticidad y fraguado), contracciones y expansiones nulas.	

1.6 Propiedades físicas y químicas del cemento

De acuerdo a la NORMA MEXICANA NMX-C-021-ONNCCE-2004, sobre INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA-ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA, algunas de las propiedades físicas del cemento son mostradas en la Tabla 18.

Tabla 18. Propiedades físicas del cemento.

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
FINURA	<p>Definida como la medida o tamaño de las partículas que componen el cemento; expresada en cm^2/gr. lo cual llamamos superficie de contacto o superficie específica. La finura del cemento es su característica física principal, ya que como las reacciones de hidratación se producen en la superficie de los granos, sucede que cuanto más pequeño son éstos, más rápido es el desarrollo de la resistencia así, un cemento de alta resistencia inicial puede obtenerse con sólo moler más fino el mismo clínker de un cemento corriente. La finura de la molienda influye también en el calor de hidratación, que se desarrolla más rápidamente en los cementos más finos. La mayor finura confiere mayor trabajabilidad al hormigón a igual dosis de agua; en esas condiciones los cementos más finos tienen el inconveniente de su mayor retracción, pero ésta queda compensada en la práctica, pues a igual trabajabilidad exigen menos agua, y ésta influye en la retracción.</p> <p>Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días.</p>

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
EXPANSIÓN AUTOCLAVE	Se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad es provocada por un exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia.
CONSISTENCIA NORMAL	<p>Al agregar agua al cemento se produce una pasta (cemento más agua), contiene fluidez a medida que se le va aumentando el contenido de agua. La consistencia normal es un estado de fluidez alcanzado por la pasta del cemento que tiene una propiedad óptima de hidratación. Se expresa como un porcentaje en peso o volumen de agua con relación al peso seco del cemento.</p> <p style="text-align: center;">$W \text{ agua} / W \text{ cemento} = \% \text{ Consistencia Normal.}$</p>
TIEMPO DE FRAGUADO	El fraguado se define como el cambio de estado físico que sufre una pasta desde la condición blanda hasta la rigidez. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influyen sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua-cemento, y los aditivos usados. Los tiempos de fraguado de los concretos no están relacionados directamente con los tiempos de fraguado de las pastas debido a la pérdida de agua en el aire (evaporación) o en los lechos y debido a las diferencias de temperatura en la obra en contraste con la temperatura controlada que existe en el laboratorio.
RESISTENCIA MECÁNICA - FLEXIÓN Y COMPRESIÓN	Los cementos deben ser capaces de conferir resistencias iguales o superiores a las determinadas por las normas, en probetas preparadas con un mortero cuyos componentes, fabricación, conservación y ensayos están normalizados.
PÉRDIDA POR CALCINACIÓN	La pérdida por calcinación del cemento se determina calentando una muestra de cemento de peso conocido a 900 °C a 1000 °C

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
	<p>hasta que se obtenga un peso constante. Se determina entonces la pérdida en peso de la muestra. Normalmente una pérdida por calcinación elevada indica prehidratación y carbonatación, que pueden ser causadas por un almacenamiento prolongado e inadecuado o por adulteraciones durante el transporte y la descarga.</p>
<p>PESO ESPECÍFICO</p>	<p>El peso específico expresa la relación entre la muestra de cemento y el volumen absoluto.</p> <p>Peso específico = m / V absoluto.</p> <p>Donde; m = muestra del cemento,</p> <p>V absoluto = Volumen de la materia sólida.</p>

CAPÍTULO II. Proceso de Fabricación del cemento

En este capítulo se pretende detallar el proceso de fabricación del cemento, desde la extracción hasta el empaque del cemento. A continuación se detallaran cada una de las etapas y procesos que intervienen en la fabricación.

Extracción de materias primas

La extracción se realiza por medio de explotación o volcadura, la explotación, normalmente, se realiza a cielo abierto en las canteras de caliza, yeso y mineral de hierro, utilizando medios mecánicos convencionales para barrenar a aproximadamente 5 metros de profundidad con la finalidad de fracturar la piedra y posteriormente se procede al dinamitando.

Una vez extraídas de las minas, las materias primas tienen un porcentaje de humedad que va en promedio de un 10 a un 18 por ciento.

Las materias primas son cargadas y transportadas de las canteras a las plantas, empleando cargadores frontales (trascabos y palas mecánicas), y transportadas por camiones de diferente capacidad.

Después se procede a reducir el tamaño de la roca por medio de una quebradora de quijada, una carrillera trituradora o un molino de bolas dando por resultado una roca de menor tamaño que la original y casi uniforme.

La materia prima ya triturada es conducida por un transportador para ser descargada en la tolva de alimentación del secador de tipo rotativo y a contra corriente, con el fin de eliminar la humedad, la temperatura de secado depende de la utilización posterior de la materia prima.

La materia prima seca es transportada mediante un transportador de banda que lo lleva a la tolva de alimentación del molino de rodillos para reducir su tamaño entre 200 y 325 mallas.

El material previamente pulverizado ascenderá hasta donde se encuentra el clasificador. En el clasificador, será separada la materia prima mediante un proceso de filtrado mediante tamizado que remueve cualquier fragmento grande o pequeño según el tamaño deseado.

La materia prima que sea de mayor tamaño al requerido caerá para ser procesado nuevamente en la molienda. La materia prima se transporta a un sistema de colección, de donde se saca una muestra para su control de calidad, determinando su peso, humedad y granulometría, si cumple con las especificaciones se conduce al almacén de producto terminado listo para el mercado, en caso contrario se vuelve a procesar, Figura 2.

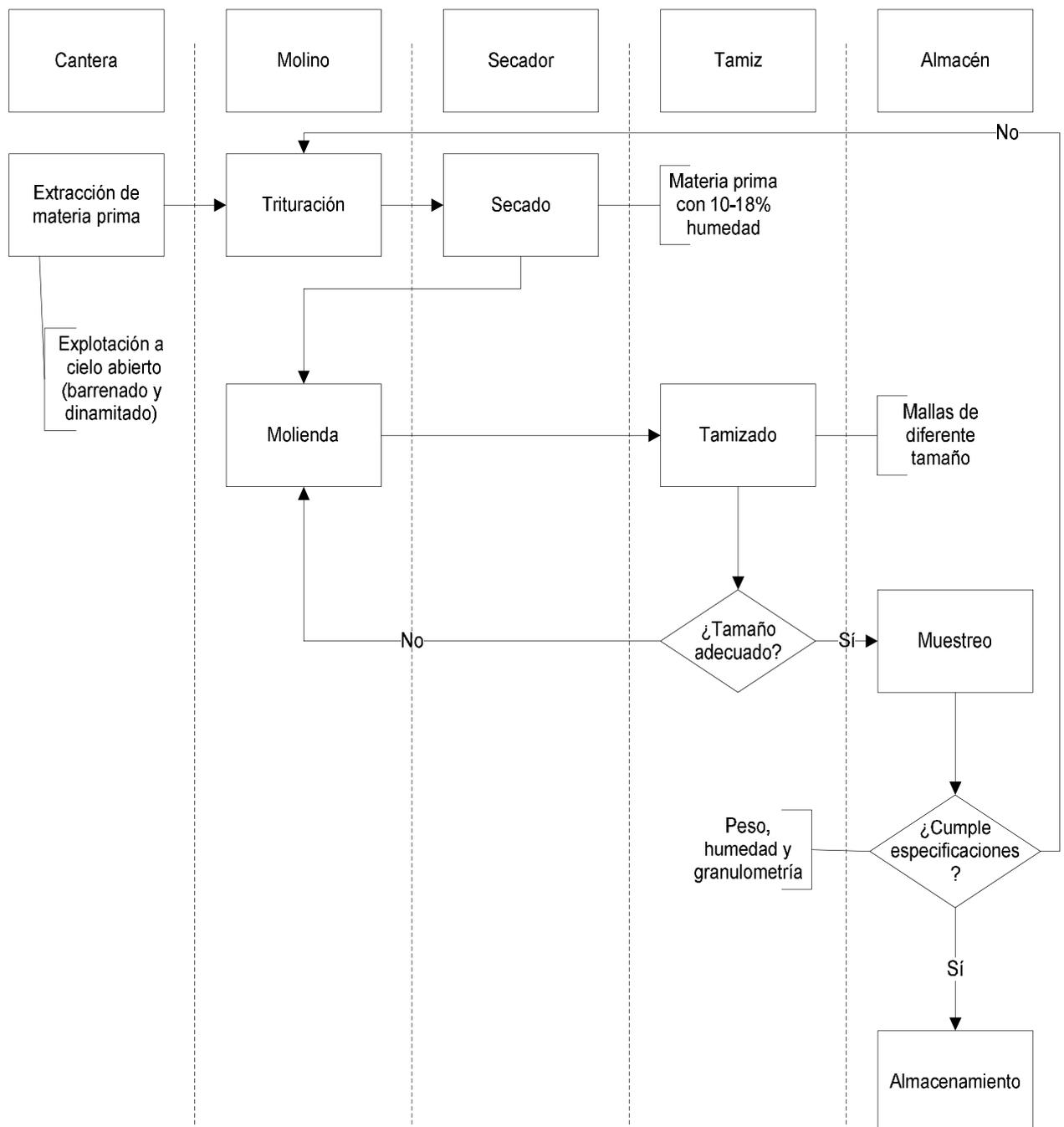


Figura 2. Operaciones efectuadas para la extracción de las materias en la fabricación del cemento.

Homogenización de la materia prima:

Una vez que arribaron las materias primas a la planta, se dosifican y se pesan de manera controlada, mediante un análisis químico continuo para posteriormente ser introducida en molinos generalmente verticales, de rodillos o quebrantadoras de diferentes capacidades, sometiéndolas a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas que reducen los materiales a un tamaño promedio de 4.5 cm.

Cuando la primera molienda concluye es necesario reducir los materiales a un tamaño no mayor a 13 mm, por ello se realiza una segunda molienda, generalmente en molinos horizontales, tubulares, en forma de grandes cilindros giratorios, los cuales están forrados interiormente con placas de acero y divididos en tres compartimientos, en cada uno de ellos existen bolas de acero que, al girar el molino van reduciendo con su roce e impacto el tamaño de las partículas.

El resultado de esta molienda es un material que recibe el nombre de harina de crudo, la finalidad de esta molienda es la reducción del tamaño de las partículas de la materia prima para que las reacciones químicas de cocción en el horno puedan realizarse de forma adecuada.

Para aumentar la eficiencia de la molienda se recurre a la clasificación de materiales de la mezcla de crudo según su tamaño mediante un tamizado, de tal modo que las partículas que aún permanecen demasiado grandes al salir del molino vuelven a él hasta alcanzar la finura debida. El producto de este proceso es una harina con alta finura (86 a 88 por ciento pasante a través de una malla de 90 micras).

La harina de crudo con el tamaño adecuado es conducida mediante bandas transportadoras a diferentes depósitos o silos dotados de un sistema de homogenización generalmente de tipo neumático para garantizar la calidad del clinker y la correcta operación del horno. La fabricación del cemento puede realizarse, bien por vía seca, bien por vía húmeda o bien por vía semiseca. Dichos procesos se diferencian en una primera fase de la fabricación; una vez introducidos los materiales en el horno los pasos siguientes son idénticos en los tres casos.

1.1 Vía seca y semiseca.

Estos dos procesos solo se diferencian en un paso determinado, antes de entrar en el horno. Por lo general las materias primas, una vez trituradas y secadas, pasan a los molinos

convenientemente dosificadas y forman el crudo del cemento. El crudo se transporta a los silos de homogenización, donde se obtiene un producto homogéneo y de la composición requerida para un cemento dado. A continuación se pasa el crudo al horno, a través de los dispositivos de preparación adecuados, bien en polvo seco (vía seca) o bien en forma de nódulos esféricos con una pequeña adición de agua (vía semiseca). A la salida del horno el clinker pasa por un enfriador.

La fase siguiente es la molienda del cemento. Mediante mecanismos dosificadores, se alimenta clinker y yeso así como las adiciones previstas a un molino resultando el cemento de acuerdo con las características previamente fijadas. A la salida del molino, pasa a los silos, desde los cuales, o bien se descarga para su transporte a granel, o bien pasa a las tolvas de envasado para su expedición fraccionada en distintos medios, normalmente sacos de papel kraft.

2.2 Vía Húmeda.

En esta, se empieza triturando como en la vía seca las primeras materias duras, tales como las calizas y margas. Mientras que las blandas se amasan con agua hasta formar una papilla, después de lo cual se mezclan y dosifican en las proporciones adecuadas para molerlas convirtiéndolas en pasta fina.

Durante el amasado se separan las piedras duras que permanecen en el fondo, de donde se extrae periódicamente. Para un tratamiento posterior la pasta pasa a otro amasado a través de rejillas de salida cada vez más finas o pasa a un molino de refinado. La pasta ya preparada pasa a los vasos de homogenización desde los cuales, se vierte en las proporciones fijadas sobre el depósito de pasta preparada para la cocción. Desde este depósito el material para el horno y a su salida sigue los pasos señalados en la vía seca. En general el método de fabricación por vía seca requiere menos combustible que el de vía húmeda.

El método por vía húmeda es preferible para materias primas muy húmedas o con inclusiones de materiales muy duros, ya que la preparación de tales materias por vía seca ofrece dificultades. Para el método de vía húmeda solo son utilizables hoy día, los hornos rotatorios siendo estos más largos que los destinados a vías secas.

Proceso de fabricación del cemento

Desecación de materias primas: Por lo general, las materias primas utilizadas para fabricar

el cemento contienen humedad y en el trabajo por vía seca y semiseca, se han de desecar antes o durante su molienda. La caliza presenta humedades de hasta el 8%; la marga hasta el 15 %; la arcilla y el limo un 20 % y las escorias de alto horno, hasta un 35 %. También el carbón, la mayoría de las veces, se ha de secar. Cuando las operaciones de secado y molienda se hacen conjuntamente, el consumo de energía es mínimo y por lo tanto es más económico que la utilización de tambores de secado independiente.

Tambores de secado: Consiste en un tubo cilíndrico, metálico, provisto de dispositivos internos de circulación y coteo o bien de celdas formadas por tabiques. Los dispositivos internos de circulación y volteo son dispositivos elevadores de material para producir caída en forma de cortina.

Si hay que secar calizas y margas, los tambores se calientan con los gases de un hogar que circulan por su interior. Cuando se trata de desecar carbones ricos en volátiles y otras materias que no deben ser puestas en contacto con los gases calientes se escogen tambores secadores calentados por la parte exterior.

Los tubos están situados casi horizontalmente con una pequeña inclinación de un 5 % aproximadamente y van girando lentamente. Su velocidad periférica suele ser de 0.2 a 0.5 m/s. Los secadores de tambor pueden funcionar en contracorriente o en corrientes paralelas, según que los gases calientes y el material circulen por el interior del tambor en sentido opuesto o en el mismo sentido.

El sistema de las corrientes en el mismo sentido se emplea principalmente cuando el material que hay que desecar no soporta bien las temperaturas elevadas, como sucede, por ejemplo, en el caso del carbón y en el de las materias que tienen tendencia a aglomerarse con la tostación, como por ejemplo la arcilla. El material húmedo, en estos casos, se ponen en contacto con los gases calientes en el momento de su entrada en el secador. Con ello, se disminuye el peligro de la aglomeración por coacción o de la adherencia a las paredes del secador. En el caso de desecación de carbones se reduce el peligro de inflamación.

2.3 Tipos de molinos.

Molinos secadores: Los molinos secadores se caracterizan fundamentalmente por el hecho de que se realizan dos procesos diferentes: la molienda y el secado. Nótese que el secado se realiza durante el proceso de desmenuzamiento. Por tanto, se establece un intercambio térmico

más fácil.

El calor necesario para el secado se puede reducir debido al calor generado en la molienda. Es prácticamente habitual que se utilice en los molinos secadores el gas residual del horno rotatorio y del enfriador del clinker. Las temperaturas de tales gases residuales son relativamente bajas y para valores elevados de la humedad hay que aplicar grandes volúmenes de gases residuales o agregar calor.

Molienda: Tanto la trituración como la molienda son procesos necesarios en casi todas las fases de fabricación; la preparación de materias primas, combustible, yeso, clinker y cemento exige siempre una reducción de tamaño. Ambos procesos absorben del 80 al 85 % de la energía invertida en la producción del cemento.

Si a esto añadimos la importancia técnica del grado de finura en los crudos en las reacciones de cocción, en el rendimiento térmico del horno y en la hidratación y desarrollo de propiedades del producto resultante.

Hay diferentes tipos de molinos. El más utilizado es el molino de bolas para la molienda de crudos y cemento y el molino Peters para la molienda del carbón.

Molino de bolas: Consiste en un tubo cilíndrico de palastro forrado de placas de aceros especiales resistentes al desgaste. Su interior se carga con bolas u otros elementos distribuidos en uno o varios compartimentos transversales; el material a moler que entra por un extremo del tubo y descarga por el otro, se desmenuza por choque y fricción de estos elementos, al girar el molino.

Para la obtención del máximo rendimiento debe tenerse en cuenta las siguientes variables:

- Velocidad crítica de rotación: es aquella en la que la fuerza centrífuga anula la influencia de la gravedad sobre las bolas; en esta situación los cuerpos moledores no caen y por tanto no prestan ningún servicio de molienda.
- Angulo de elevación de las bolas: la energía cinética de las bolas que caen es máxima si el ángulo de elevación de los cuerpos moledores es de $35^{\circ} 20'$.
- Llenado de las bolas: indica la relación entre el volumen de apilamiento de las bolas y el

volumen de trabajo del molino. Por debajo del 25 % los cuerpos deslizan sobre el blindaje del molino, por encima del 45 % se originan dificultades en las trayectorias de caída de los cuerpos moledores.

- Llenado de bolas y de material: esta relación de llenado entre bolas y clinker ha de ser igual o mayor que 15.
- Naturaleza de las bolas y de las placas de revestimiento del molino: dadas las condiciones de trabajo, ambos deben estar compuestos de materiales duros y resistentes a la abrasión. Suelen emplearse aceros especiales de gran dureza y resistencia a compresión.

Molino Peters: Se utiliza principalmente para la molienda de carbón. En esencia consta de dos pistas formadas por dos coronas circulares y una serie de bolas de molienda que ruedan unas en contacto con las otras, dispuestas entre anillos, como si se tratase de un cojinete.

Homogenización del crudo: El crudo de cemento portland antes de llegar al horno sufre dos procesos de homogenización, que son:

- Prehomogeneización
- Homogeneización

La primera se efectúa sobre las materias primas antes de pasar al molino, mientras que la segunda se efectúa sobre el crudo ya molido y antes de pasar al horno.

Prehomogeneización: La mayoría de las veces solo se somete a pre homogeneización el componente principal del crudo para cemento, es decir, la caliza. Otros componentes del crudo, tales como el cuarzo, son casi siempre homogéneos y no requieren pre homogeneización alguna.

La pre homogeneización consiste normalmente en la formación de lechos de mezcla. La cinta transportadora vierte el material mientras se desplaza en el sentido longitudinal sobre el lecho que está formando. El vaciado en cambio se realiza mediante un peine que se desplaza transversalmente rascando el frente del lecho y un sistema de cangilones que recoge el material desprendido. El vertido longitudinal y la captación transversal provocan la prehomogeneización. La pista consta de dos zonas, mientras que en una se está formando el lecho en otra se procede a la

extracción del material. Finalizadas estas operaciones la maquinaria cambia de zona y continúa el trabajo en la zona opuesta. El material debe estar desmenuzado a un tamaño de unos 25 mm.

La prehomogenización conjunta de las materias primas que exige composición química constante de cada material. La dosificación de los componentes se realiza antes de llevarlos al lecho de mezcla. La desigual granulometría de los componentes puede originar segregación y en consecuencia mala organización.

La pre homogeneización individual de los componentes es el método más empleado en la industria del cemento para regularizar la composición de las distintas remesas suministradas. Los componentes prehomogeneizados individualmente se aportan al proceso de acuerdo con la composición química proyectada y se lleva al molino mediante básculas dosificadoras. El análisis químico del material que sale del molino proporciona información acerca de las correcciones que eventualmente se hayan de realizar.

Homogeneización: Antes, para fabricar cementos de alta calidad, se prefería la vía húmeda, puesto que por homogeneización de la pasta se conseguía la mezcla íntima de los componentes del crudo.

Los avances en las disciplinas de la aerodinámico y la neumática han hecho posible, para la industria del cementos, la homogeneización neumática del a harina del crudo seca. Con ella se logra la misma homogeneidad del crudo por vía húmeda. Este hecho, unido a la correspondiente disminución de consumo de calor ha comportado una creciente preferencia por el proceso de fabricación de cemento por vía seca.

El componente principal de las cajas de dispersión de aire son las placas cerámicas porosas. Estas tienen unas dimensiones de 250 x 250 hasta 400 mm, con espesores de 20 a 30 mm., el diámetro de los poros, permeables al aire, varia de 0.07 a 0.09 mm., con una permeabilidad de $0.5 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{min}$. A través de las placas porosas, el aire se impulsa a presión sobre el crudo y engendran en su seno finísimas corrientes de aire, con lo cual el crudo pasa a un estado de seudolíquido.

Los elementos para la aireación son semipermeables, es decir, el aire penetra a través de las placas hacia arriba, mientras que cuando se suspende el acceso de aire, el polvo no puede caer hacia abajo a través de las placas.

2.4 Proceso de cocción: Hornos

2.4.1 Horno vertical.

Los hornos verticales modernos disponen de una doble cámara anular concéntrica de refractario, por la cual circula una corriente de aire con objeto de impedir que se produzca en la parte alta una gran temperatura clinkerizando el material en esa zona, lo que origina incrustaciones del mismo. Estos hornos de doble cámara estaban hechos con la intención de que en la primera se verifique una desecación y en la segunda, en la parte superior la clinkerización y en la inferior, el enfriamiento gradual.

Se introduce el material puro en forma de briquetas desecadas, colocándose en capas alternadas con el combustible y a veces, este se incorpora en su confección, haciéndose en prensas análogas a la de los ladrillos.

Están formados estos hornos modernos verticales, por un cilindro de 8 a 10 metros de altura y 3 metros de diámetro, forrados de camisas refractarias y con cámara de aire.

En los hornos verticales hay que practicar una selección de clinker, pues unos trozos están poco cocidos, formados por carbonato cálcico y óxido de cal, presentando color amarillento volviendo a introducirse en el horno para su perfecta cocción, de color gris acerado, formados por silicatos que no han alcanzado suficiente basicidad, y que, de no ser muy abundantes, no se eliminan y finalmente, los trozos bien cocidos de coloración negro verdoso, duros y compactos, constituyen el buen clinker. Esta operación se practica a mano al pasar el clinker por la cinta transportadora.

Estos tipos de hornos dan gran rendimiento térmico siendo más económicos de instalación y de combustibles que los rotatorios. En la actualidad en los hornos verticales se inyecta oxígeno, con lo que se logra un menor consumo de calor y un aumento de la producción del clinker.

Preparación del crudo para horno rotatorio.

Eliminación de agua en las pastas: Para mejorar el rendimiento de los hornos interesa que la materia prima entre en ellos con el menor contenido en agua posible. Esta disminución de agua en el crudo para la vía húmeda se puede realizar mediante los siguientes procedimientos:

- Químicamente, mediante la adición de fluidificantes.
- Mecánicamente, eliminando el agua tratándolas con filtros de tambo o de discos.

Intercambiadores de calor: Son dispositivos previos al horno cuya finalidad es reducir la humedad de las materias primas, aumentar su temperatura e incluso iniciar la calcinación. Con ellos conseguimos reducir el trabajo del horno abaratando costos. Los intercambiadores más utilizados son:

- Intercambiadores externos para hornos vía húmeda: es un tambor rotatorio, cerrado con un emparillado de aberturas uniformes. La pasta del crudo penetra en el cilindro a través de las aberturas de la parrilla. En un movimiento lento del tambor se produce un intercambio de calor intensivo entre los gases procedentes del horno que circulan a contracorriente, haciendo que se seque la pasta.
- Parrilla lepol: utilizado en vía semiseca, el crudo se granula previamente con adición de agua, introduciéndolo en tambores giratorios, lo que da a la masa forma esférica en sus partículas. En este sistema se hace pasar los gases de salida del horno dos veces a través del lecho de nódulos.
- Ciclones Humboldt: consiste en una serie de ciclones de dispuesto uno sobre el otro. Los gases de salida del horno recorren los distintos ciclones mediante unas conducciones que los atraviesan. En el último ciclón puede acoplarse un mechero con lo que aumenta el efecto del intercambiador entrando el material en el horno parcialmente calcinado.

2.4.2 Horno rotatorio

Consiste en un cilindro dispuesto horizontalmente con una ligera inclinación. En él se introducen las materias primas por el extremo más elevado, mientras que por el otro se proyecta una llama. Los gases de combustión proporcionan el calor necesario para las reacciones de clinkerización. Para facilitar el contacto gases-material, el horno gira sobre su propio eje.

Características geométricas del horno rotatorio: Consiste en un tubo cilíndrico, metálico, revestido de material refractario en su interior, con una longitud entre los 60 y 170 m y un diámetro de 1.8 hasta los 6 metros; colocando ligeramente inclinado sobre el plano horizontal, se apoya sobre varios pares de rodillos por medio de bandas de rodamiento de gran espesor concéntricas

con el tubo del horno.

La pendiente de estos hornos oscila entre el 2 y el 6 %. La velocidad de movimiento rotatorio suele ser de 38 a 40 cm/s.

Quemadores y combustibles: Entre los combustibles sólidos el carbón de hulla, la turba y el cock, estos se utilizan en estado pulverizado. De los combustibles líquidos se emplea ante todo, el distinto tipo de combustible. De los combustibles gaseosos el más utilizado es el gas natural.

El mechero del horno rotatorio puede estar dispuesto paralelamente al eje u horizontalmente. En el horno rotatorio normal pueden distinguirse las siguientes zonas:

- Zona de secado 120°
- Zona de pre calefacción 100-550°
- Zona de calcinación 550-1100°
- Zona de sinterización 1100-1450°
- Zona de enfriamiento 1450-1380°

La existencia de intercambiadores de calor previos al horno reduce la exigencia de longitud, de manera que no son precisas ni la zona de secado ni la de pre calefacción.

Revestimiento refractario: Las finalidades de este revestimiento son:

- Proteger la chapa del horno de las llamas y del material en proceso de reacción.
- Rebajar las pérdidas de calor por radiación y convección de la chapa del horno.

Enfriamiento del Clinker: El enfriamiento del clinker influye sobre su estructura, composición, molturabilidades y con ello sobre las propiedades del cemento que con él se fabrica. El objetivo de los enfriadores es controlar este proceso al mismo tiempo que se obtiene aire caliente que mejora el rendimiento térmico durante la obtención del cemento.

Los enfriadores más usuales son los siguientes:

- Enfriador de tambor rotatorio: es un tubo instalado a continuación del horno. En su interior lleva unas paletas de material cerámico o de acero, que producen el

movimiento del clinker en contacto con el aire de enfriamiento.

- Enfriador de parrilla: Consiste esencialmente en una parrilla inclinada sobre la cual el clinker que sale del horno es uniformemente repartido en todo su ancho. El aire pasa por las rendijas de la parrilla, atraviesa la capa de clinker cediendo a este el calor y enfriándose rápidamente, lo cual es de gran importancia para la calidad del cemento y repercute favorablemente sobre la molturabilidad del clinker.
- Enfriador de satélites: son una serie de cilindros paralelos al eje del horno, situados a modo de satélites. Estos enfriadores giran alrededor del horno al ser solidarios con él. Este movimiento facilita el intercambio de calor con el aire frío que circula a contra corriente y que entra al horno a temperatura adecuada para facilitar la combustión.

El clinker enfriado es recogido al final del proceso y transportado a los sitios correspondientes.

Acabado del cemento: El clinker se deja en reposo para su enfriamiento total antes de su transporte a los remolinos de cemento.

Adición de Yeso y adiciones: Para evitar que durante el amasado del cemento se produzca un fraguado instantáneo es conveniente añadir al clinker un retardador para regular el tiempo de fraguado y normalmente se utiliza el yeso natural dihidratado.

Así mismo y antes de la molienda conjunta, se añade al clinker la proporción de adiciones para la obtención del cemento deseado.

Molienda del cemento: El clinker enfriado se transporta al molino, este suele ser de bolas similar a los mencionados para el crudo, presentando únicamente diferencia en sus dimensiones. Para la buena marcha del proceso, dos son las variables que tiene importancia en el rendimiento y calidad del producto obtenido: granulometría de alimentación del molino y temperatura del producto resultante (cemento).

Colección del polvo: La producción de polvo es la inevitable secuela que acompaña al proceso de desmenuzamiento y de la manipulación tecnológica de los componentes materiales, indispensables para la producción del cemento portland. En la explotación de una fábrica de

cemento se producen las siguientes clases de polvo:

- Polvo de materias primas.
- Polvo de crudo.
- Polvo de carbón.
- Polvo de gases de secado.
- Polvo de gases de horno.
- Polvo de clinker.
- Polvo de yeso.
- Polvo de cemento.

Para la separación del polvo la industria del cemento utiliza los siguientes tipos de desempolvadores:

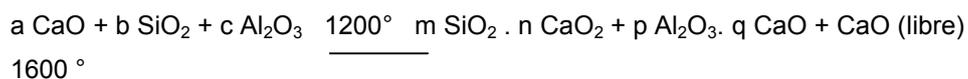
- Ciclones
- Filtros de tejidos
- Filtros electrostáticos

En muchas ocasiones es necesario combinar los distintos tipos dependiendo de la concentración y de la temperatura de las partículas emitidas, así como su composición.

2.5 Clinker composición y nomenclatura

Clinkerización y fases minerales del clinker: Una vez que el crudo entra en el horno, sufre los procesos de calcinación y descomposición de las arcillas hasta alrededor de los 900°.

A medida que va avanzando el crudo por el horno la temperatura va creciendo y cuando llega a 1200° aproximadamente empieza una fase en la cual reaccionan los óxidos fundamentales para ya darnos el clinker con los diferentes procesos que lo conforman, esta fase se llama clinkerización y la reacción será:



Los productos de esta reacción son los siguientes:

Silicatos cálcicos: Como podemos comprobar en la reacción anterior se formaran silicatos cálcicos. De todos los posibles destacamos:

Tabla 19. Silicatos formados

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$,	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$,	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$,	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
C_3S	C_2S	C_3S_2	CS

De estos cuatro silicatos cálcicos los más frecuentes y mas importantes en cementos portland son: C_3S y C_2S .

Silicato bicalcico C_2S : endurece mucho más lentamente que el C_3S , sin embargo, después de largos plazos alcanza la misma resistencia que el CS .

Silicato tricalcico C_3S : es el principal y decisivo componente del clinker para sus cualidades resistentes. Endurece rápidamente dando altas resistencias iniciales.

Aluminatos: Otros compuestos que se formaran aparte de los silicatos serán los aluminatos. De estos destacamos:

Tabla 20. Aluminatos formados

$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$,	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$,	$12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$
CA	C_3A	C_{12}A_7

El más frecuente es el C_3A que prácticamente se encuentra en el cemento portland.

Aluminato tricalcico C_3A . Reacciona muy rápidamente con el agua, sin embargo, no posee ninguna propiedad hidráulica destacable, aunque eleva la resistencia inicial del cemento en combinación de los silicatos.

Ferrito Aluminato Tetracalcico C_4FA : En la fase de clinkerizacion debido a la presencia de

hierro también se formara este compuesto. Si en el clinker no hubiera suficiente alúmina, esta y el oxido de hierro se combinan con la cal para producir C_4FA y el resto del oxido férrico formaría C_2F (ferrito bicalcico), esto es poco frecuente en los cementos.

Composición potencial: La Composición teórica del clinker según Bogue.

El análisis químico ofrece una panorámica de la composición de óxidos en el clinker o el cemento. Bogue desarrollo un proceso de calcula según el cual, a partir del análisis químico se puede calcular el contenido en minerales, ante todo el C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF . Bogue llamo composición potencial a la composición del clinker así calculado. Partiendo de los elementos fundamentales cuyas características son:

Tabla 21. Composición teórica del Clinker según Bogue

Elemento	Peso Atómico	Peso Molecular del oxido
Al	22	A-102
O	16	----
Fe	56	F-160
Si	28	S-60
Ca	40	C-56

Tabla 22. Compuestos fundamentales y peso molecular

Compuesto	Peso molecular
SC_3	228
SC_2	172
AC_3	247
FAC_4	486

Si suponemos que de A tenemos una cantidad "a", de F "f", de S "s" y de C "c", el criterio de Bogue consiste en considerar que:

Primero todo el F que ahí se nos va a transformar en FAC_4 . Luego, si por cada mol de F hay un mol de FAC_4 , el contenido de FAC_4 será:

$$FAC_4 = 486/160 f = 3.04 f$$

Lo cual es posible cuando hay suficiente A y C para formar esa cantidad de FAC_4 . Pero si estamos haciendo un cemento siempre tendremos suficiente C, y como ya se comentó, vamos a suponer que siempre ha y suficiente alúmina.

La alúmina consumida será (mol a mol sobre F) = $102/160 f$

Segundo, el A restante pasa a formar AC_3 ; luego:

$$AC_3 = (a - 102/160 f) \cdot 270/102 = 2.65 a - 1.69 f$$

¿Cuánta caliza hemos consumido ya?

Consumida en formación de FAC_4 \longrightarrow $4 \times 56/160 f$

Consumida en formación de AC_3 \longrightarrow $3 \times 56/102 (a - 102/160 f)$

Así la caliza consumida total es:

$$168/102 a + 56/160 f$$

Tercero el resto de C y S formaran los silicatos cálcicos.

La cal total en silicatos es:

$$2.56/172 SC_2 + 3.56/228 SC_3 = C - 168/102 a - 56/160 f$$

La sílice total será:

$$60/228 SC_3 + 60/172 SC_2 = s$$

Resolviendo el sistema formado por estas dos ecuaciones obtenemos que:

$$SC_3 = 4.07 c - 7.6 s - 1.43 f - 6.72 a$$

$$SC_2 = 2.86 s - 0.75 SC_3$$

De esta manera obtendremos la dosificación potencial según Bogue que es la siguiente:

$$FAC_4 = 3.04 f$$

$$AC_3 = 2.65 a - 1.69 f$$

$$SC_3 = 4.07 c - 7.6 s - 1.43 f - 6.72 a$$

$$SC_2 = 2.86 s - 0.75 SC_3$$

2.6 Propiedades de los constituyentes principales.

Resistencia mecánica a lo largo del tiempo: Los silicatos C_3S y C_2S son los que ofrecen mayores resistencias, el C_3S da una pendiente en su curva de aumento de resistencias en función del tiempo mucho mayor que la del C_2S "a corto plazo", aunque a largo plazo las resistencias obtenidas son del mismo orden.

Por lo tanto el SC_3 , como antes hemos indicado, es el producto fundamental a obtener, y su contenido, un índice de la calidad de los cementos.

Propiedades hidráulicas: Las propiedades hidráulicas del aluminato tricalcico y del ferrito aluminato tetracalcico son despreciables. El carácter hidráulico de los cementos se debe al SC_2 y SC_3 .

Fundentes: Los fundentes, como se sabe, son productos que se mezclan con el crudo en pequeñas proporciones, para no alterar las cualidades del futuro del cemento, que hacen que obtengamos el clinker a menores temperaturas, ahorrando de esta manera combustible y dinero. La composición de los fundentes serán ricos en F y A, formándose al clinkerizar, el constituyente mineralógico FAC_4 que reduce el punto de fusión de la mezcla.

Calor de hidratación: Es el calor desprendido debido a las reacciones de hidrólisis que se producen al fabricar el paste de cemento. El constituyente mineralógico de mayor calor de hidratación es el AC_2 seguido del SC_3 cuyo calor de hidratación es mucho más elevado que el del SC_2 .

Resistencia de agentes externos: La acción de los iones SO_4 sobre las fases hidratadas del C_3A da lugar a la formación de sulfoaluminatos complejos, como por ejemplo, la estringita, que produce un aumento importante de volumen, aumento que puede causar el deterioro del hormigón, cuando esta reacción se produce después del periodo de fraguado y endurecimiento inicial.

Esta reacción es de tal intensidad que, cuando la aportación del SO_4 , al hormigón es suficiente, la masa cementante llega a deshacerse casi completamente.

Influencia de los constituyentes en las propiedades: Las experiencias de Bogue y los estudios posteriores han esclarecido definitivamente la aportación específica de cada componente a la calidad de un cemento y sobre todo, a sus resistencias mecánicas y durabilidad.

A base de obtener clinker puros de cada uno de los componentes principales, C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF , así como del C_2F se obtuvo mediante ensayos los siguientes resultados:

a) Resistencias mecánicas

Los silicatos de calcio C_3S y C_2S , tal como avanzó Le Chatelier, son los que aportan mayores resistencias al aglomerante, siendo el tricalcico el responsable de las resistencias iniciales, aunque a largo plazo (más o menos un año) se igualan los dos.

Por ello los cementos de alta resistencia inicial deben tener más del 60% de C_3S pero la resistencia final depende en igual proporción del C_3S y C_2S .

Los componentes de C_3A y C_4AF aportan muy escasas resistencias aunque el primero de su resistencia aunque el primero contribuye a la resistencia inicial en las primeras 48 horas por su rápida hidratación, a pesar de su reacción con el yeso, que actúa como retardador, dando Sal de Candlot o Entrigita. Ambos, especialmente el C_4AF , tienen carácter de fundentes o mineralizadores al bajar la temperatura de clinkerización en el horno abaratando el proceso.

Las propiedades resistentes del cemento no se producen por la adición de las que aportan sus componentes ya que, las de estos en estado puro, por separado, no son iguales a las del compuesto.

b) Calor de hidratación.

El fenómeno de liberación del calor en las reacciones químicas de hidratación se debe básicamente al C_3A que libera doble cantidad de calor que el C_3S y este a su vez doble que el C_2S . Los valores del CaO y MgO libres son altos pero al estar en muy baja cantidad su aporte total en calorías es pequeño.

Cuando se necesitan un cemento de bajo calor de hidratación para grandes masas ya que produce fisuración, debe ser rico en sílice, formándose mayor cantidad de C_2S . Para casos de puesta en obra en tiempo frío el calor de hidratación es positivo al evitar las heladas.

Esta propiedad si es aditiva, siendo el total del calor desprendido la suma del de todos los componentes.

C_3A	207 cal/gr
C_3S	120 cal/gr
C_4AF	100 cal/gr
C_2S	62 cal/gr
CaO	279 cal/gr
MgO	203 cal/gr
$CaSO_4 + C_3A$	149 cal/gr por gr de SO_3

c) Retracción- Expansión

Propiedad tecnológica de gran importancia no depende de los constituyentes principales ni de su porcentaje.

La retracción es un fenómeno físico que depende de la concentración que se produce en la hidratación de los granos, siendo mayor para los pequeños tamaños, por lo que los cementos muy finamente molidos son muy retractivos. La expansión se debe a la hidratación del CaO y MgO libres. También, indirectamente al C_3A por su reacción con el yeso dando Sal de Candlot, muy expansiva en su hidratación.

d) Resistencia al hielo- deshielo

Los cementos con alto contenido en C_3A son particularmente sensibles al hielo y deshielo alternativos una vez graduados, debiendo utilizarse cementos con bajo contenido de C_3A en tiempo frío.

e) Durabilidad

En muchas de sus aplicaciones es de gran importancia la durabilidad o resistencia química de los cementos, la presencia del C_3A es bastante nociva en este caso, en especial cuando la dosificación de yeso es insuficiente para reaccionar con él y queda al libre para reaccionar con sulfatos procedentes del exterior una vez fraguado el cemento, ya que forma Sal de Candlot muy expansiva y disgrega el material. Esto es especialmente dañino con presencia de aguas selenitosas o sulfatadas ya que, en medio húmedo, las reacciones son más rápidas, por lo que se debe evitar el C_3A para cementos que estén en contacto con ellas.

Los cementos ricos en cal son más débiles químicamente en todos los casos al liberar mucho $Ca(OH)_2$ o portlandita, muy sensibles a los ácidos y al CO_2 . Para evitarlo se añade mas sílice y hierro, aumentando el porcentaje de C_2S y C_4AF sobre el C_3S y C_3A más atacables químicamente.

En resumen, los cementos ricos en C_3S y C_3A tiene mejores resistencias mecánicas iniciales peros son débiles químicamente y liberan mucho calor de hidratación. Los ricos en C_2S y C_4AF dan poca resistencia inicial aunque buena a largo plazo y son químicamente más estables.

Influencia de los constituyentes del clinker sobre las propiedades del cemento

Tabla 23. Influencia de los constituyentes del clinker

Tipo de Propiedad	Propiedades	PERJUDICAN
FÍSICAS	Retracción - Expansión	CaO,Mgo
	Calor de hidratación	C_3A , C_3S , C_3S
	Hielo-Deshielo	C_3A
QUÍMICAS	Resistencia agentes agresivos	Los ricos en cal
	Resistencia sulfatos	C_3A
FAVORECEN		
MECÁNICAS	Resistencia inicial	C_3S , C_3A

Tipo de Propiedad	Propiedades	PERJUDICAN
	Resistencia final	C ₃ S, C ₂ S

Hidratación de los componentes del clinker: La propiedad esencial de los cementos hidráulicos, de cara a su uso en construcción, es la de dar, al mezclarlos con agua, una pasta que fragua y endurece tanto al aire como bajo el agua.

Los compuestos en estado anhidro, reaccionan con el agua hidratándose, dándose en el proceso una solidificación de la pasta que adquiere dureza y resistencias mecanizas con el tiempo.

La importancia de conocer científicamente como se produce este proceso es evidente, así como las circunstancias que pueden favorecer o perjudicar el mismo.

Distintas teorías. Coloide, Cristaloides y Geles

Teoría Cristaloides: Los primeros trabajos sistemáticos sobre el tema los realizó Chatelier que llega a la conclusión, en 1882, de que hacen falta cuatro condiciones para lograr la hidratación progresiva de una sustancia, con garuado y endurecimiento de la misma:

- Que se disuelva en agua una sal anhidra o parcialmente hidratada.
- Que se produzca un nuevo compuesto de mayor grado de hidratación y con menor solubilidad para formar una solución sobresaturada.
- Que tenga lugar una formación de cristales.
- Que los cristales, en relación a su medio, sean coherentes y adherentes.

De acuerdo a estas premisas presento una teoría que se ha denominado cristaloides según la cual, los contribuyentes del cemento, en presencia del agua, entran en solución según su grado de solubilidad, siendo este mayor en los constituyentes anhidros que en los hidratados.

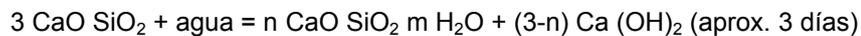
La solución llega a sobresaturarse de componentes hidratados separándose estos por cristalización, precipitando, por lo que permite la disolución de nuevos constituyentes anhidros repitiéndose el proceso sucesivamente.

Teoría Coloide: Poco después, en 1892, Michaelis expuso una nueva teoría basada en la

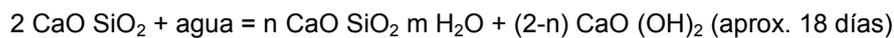
existencia de material en estado coloidal en el cemento hidratado, por lo que la denomino coloide.

En ella admite la formación de cristales de aluminatos, sulfoaluminatos e hidróxido cálcico, considerando que los silicatos hidratados precipitan en forma de gel que rellena los huecos de aquellos cristales, endureciendo y cediendo progresivamente su agua, continuando la hidratación de los demás componentes anhidros.

Hidratación de los componentes mineralógicos: Se estudia por separado la hidratación de cada uno de los componentes del clinker. El silicato tricalcico: reacciona rápidamente con el agua de la forma siguiente:



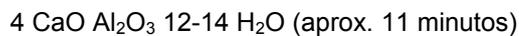
El silicato bicalcico: lo hace más lentamente y libera menos Ca (OH)_2



n varía entre 1 y 2. Los productos de hidratación del C_3S y C_2S tienen una composición media próxima a:

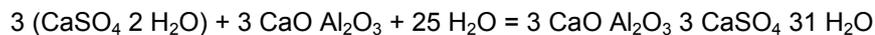


El aluminato tricalcico: reacciona rápidamente en presencia del Ca (OH)_2 liberando formándose aluminatos hidratados:



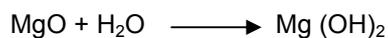
La formación de uno u otro depende de la riqueza de la cal de la pasta de cemento. Si existe $\text{CaSO}_4 2 \text{ H}_2\text{O}$ (adición al clinker) disminuye la solubilidad de los aluminatos anhidros ya que la solución madre contiene cal y yeso en disolución.

Entonces la formación de aluminatos hidratados se sustituye por una solución más estable: sulfoaluminato cálcico (sal de Candlot) o estringuita:



Existe también una variedad de sulfoaluminato pobre en sulfato formándose una serie de soluciones solidas. El ferrito aluminato tetracalcico: reacciona con el agua y forma aluminatos cálcicos hidratados cristalizados y ferrito cálcico hidratado amorfo con cal e hidróxido férrico (aprox. 21 minutos).

La cal y magnesia libres: reaccionan con el agua más o menos rápidamente según la temperatura y tiempo de cocción del clinker y se forman:



Está comprobado que las primeras reacciones de hidratación se dan en la superficie de los granos, provocándose precipitaciones aceleradas por aquellos principios físicos que concurren en el desarrollo de la solubilidad de constituyentes conduciendo rápidamente a la sobresaturación (presión, temperatura, etc.)

Las precipitaciones reducen la movilidad de las pasta aumentado su viscosidad: el fraguado apretándose luego las partículas entre sí por interposición de cristales ya adherencia coloidal dando a la pasta cohesión y dureza: el endurecimiento.

2.7 Fraguado y endurecimiento

Fraguado: Se define el fraguado como “el fenómeno por el cual, una masa deformable se hace rígida en un intervalo de tiempo determinado”. Al momento en que la masa comienza a solidificar se le denomina principio de fraguado y cuando se hace rígida y solidifica fin de fraguado.

Un aglomerante tiene fraguado hidráulico cuando es capaz de fraguar bajo el agua o en ambiente saturado de esta.

El proceso de fraguado se caracteriza entonces por el aumento de viscosidad de la pasta, a causa de la precipitación sucesiva de los granos y de la cal, perdiendo movilidad y pasando sucesivamente del estado fluido al plástico y finalmente sólido.

La reacción fisico-química que explica el fraguado ya ha sido estudiada al exponer las teorías de la hidratación, aunque estas no aclaran el fraguado hidráulico. Dicho fraguado se explica

por la alta velocidad de hidratación de las partículas de C_4AF y más aun del C_3A , ejerciendo una acción deshidratante en el seno de la más, suficiente para conseguir una deshidratación de los geles formados en la hidrólisis.

Esta hidratación da lugar a una trama de fases cristalinas entrelazadas e insolubles, que frenan la difusión del agua exterior al sistema, provocando el aumento de la viscosidad del gel que aísla prácticamente al sistema del agua exterior. Esta estanqueidad, muy elevada, permite que se conserve casi en la totalidad de la masa la relación A/C del amasado inicial.

El proceso de fraguado se realiza como sigue:

- La reacción con el agua se produce inicialmente en los aluminatos y a continuación con los silicatos.
- Para impedir el agarrotamiento de la pasta, por excesiva velocidad de fraguado, se añade un retardador al cemento, normalmente yeso deshidratado, el cual reacciona con los aluminatos formando sulfoaluminatos poco solubles y más lentos en su hidratación.
- Esto hace que se mantenga la concentración de aluminatos por debajo de saturación, sin precipitar los ya hidratados, permitiendo entonces la hidratación de los silicatos.

Los cementos son aglomerantes de fraguado lento, con una duración del proceso entre 6 y 8 horas (el pliego exige menos de 12 horas a todos los cementos). Las normas establecen las condiciones de ensayo que determinan los tiempos de principio y fin de fraguado o tiempos de trabajabilidad.

El fraguado es un parámetro importante que las cementeras requieren controlar, ya que los tiempos de fraguado son diferentes de una muestra a otra y que varía todos los días, el resultado de estos tiempos siempre difieren, por ello en los siguientes párrafos se incluyó el método de tiempo de fraguado, el cual podemos encontrar dentro de la norma $NMX-C-059-ONNCCE-2006$ "Industria De La Construcción – Cemento Hidráulico – Determinación Del Tiempo De Fraguado De Cementantes Hidráulicos (Método De Vicat)" Esta norma establece el método de ensayo bajo el cual se efectúa la determinación del tiempo de fraguado de las pastas de cementantes hidráulicos, midiendo su resistencia a la penetración de la aguja del aparato de Vicat. Los materiales e instrumentos para realizar esta prueba son;

- Agua destilada para el mezclado de pastas.

Equipo, aparatos e instrumentos:

- Balanza. Debe cumplir los requisitos establecidos en la norma mexicana NMX-C-057-ONNCCE
- Pesas. Debe cumplir los requisitos establecidos en la norma mexicana NMX-C-057-ONNCCE
- Probetas. Debe cumplir los requisitos establecidos en la norma mexicana NMX-C-057-ONNCCE
- Aparato de Vicat debe cumplir los requisitos establecidos en la norma mexicana NMX-C-057-ONNCCE
- La ubicación del aparato de Vicat debe estar lo más cerca posible del cuarto húmedo o gabinete de curado.
- Molde del espécimen. La pasta del cemento es sostenida en un anillo cónico con altura de $40 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ y una base de plato removible. La superficie del espécimen debe tener un diámetro mínimo de $60 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$.
- Cuchara plana. Debe cumplir los requisitos establecidos en la norma mexicana NMX-C-057-ONNCCE
- Mezclador mecánico. El mezclador mecánico debe estar constituido con lo estipulado en la norma NMX-C-085-ONNCCE

CONDICIONES AMBIENTALES

- Condiciones de temperatura. La temperatura ambiente del laboratorio, así como los materiales y equipo utilizado en el ensayo deben estar entre 293 K (20 °C) y 300 K (27 °C). La temperatura del agua de mezclado y del cuarto o gabinete de curado deben conservarse a $293 \text{ K} \pm 2 \text{ K}$ ($23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$).
- Condiciones de humedad. La humedad relativa del laboratorio debe ser mayor a 50% y la del gabinete o cuarto húmedo debe estar de acuerdo con la norma NMX-C-148-ONNCCE.

Preparación y acondicionamiento de las muestras: Prepare una pasta de cemento de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NMX-C-057-ONNCCE

Procedimiento: Determinación de los tiempos de fraguado una vez hecha la probeta, se

coloca inmediatamente en el gabinete o cuarto húmedo. Después de permanecer 30 min en el cuarto húmedo, se determina la penetración de la aguja de 1 mm de diámetro del aparato de Vicat y posteriormente cada 15 min, hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menor.

Determinación de la penetración: Para la determinación de la penetración, se baja la barra B hasta que la aguja D quede en contacto con la superficie de la pasta, en este punto fije la barra B con el tornillo E. Luego coloque el indicador F a una lectura cero en la escala, o tome una lectura inicial. Afloje el tornillo E, con lo que la barra queda suelta y cae sobre la superficie de la pasta en la cual penetra, a los 30 s de haber caído se aprieta el tornillo E y se toma la lectura en la escala para determinar la penetración de la aguja. La barra debe soltarse aflojando el tornillo E y caer libremente cuando se efectúen las determinaciones de tiempo de fraguado. Las penetraciones no deben efectuarse a una distancia menor a 5 mm una de otras y ninguna de ellas se hará a una distancia menor a 10 mm de la parte interior del molde.

Precauciones: Durante todo el ensayo el aparato debe estar libre de toda vibración. La aguja de penetración debe siempre estar recta y limpia, ya que el cemento adherido a la aguja causa que las penetraciones no se hagan adecuadamente y las lecturas obtenidas sean erróneas.

El tiempo de fraguado es afectado por el porcentaje y la temperatura del agua empleada, por el grado de amasado que se le dé a la pasta y por la temperatura y humedad del ambiente, por lo tanto el control de estas variables es fundamental en la realización del ensayo.

Cálculo y expresión de resultados: Se registran todas las lecturas de las penetraciones y por interpolación se determina el tiempo correspondiente a la penetración de 25 mm; este es el tiempo de fraguado inicial. El tiempo de fraguado final es aquel en el que la misma aguja no penetra visiblemente en la pasta.

Repetibilidad y reproducibilidad: La desviación estándar entre un mismo operador se ha encontrado que es 12 min para el tiempo de fraguado inicial dentro del rango de 50 min a 200 min para el tiempo de fraguado final dentro del rango de 185 min a 312 min.

El resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por un mismo operador a la misma muestra, el tiempo de fraguado no debe de diferir en más de 34 min para el fraguado inicial y no más de 56 min para la determinación del fraguado final. La desviación estándar de ensayos entre diferentes laboratorios se ha encontrado que es de 16 min para el tiempo de fraguado inicial dentro del rango de 50 min a 200 min y 43 min para el tiempo de fraguado final dentro del rango de 185

min a 312 min.

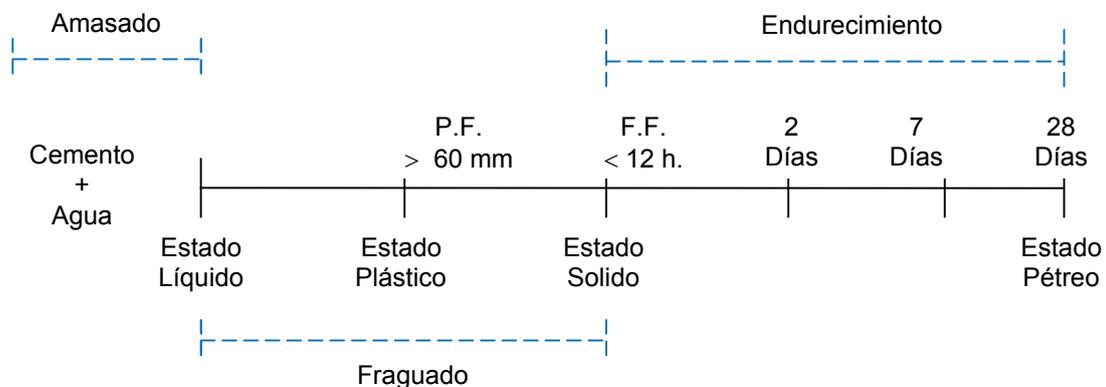
El resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por diferentes laboratorios a la misma muestra, el tiempo de fraguado no debe diferir en más de 45 min para el fraguado inicial y no más de 122 min para la determinación del fraguado final.

Informe de resultados: El informe de resultados debe contener como mínimo la siguiente información: El reporte del tiempo de fraguado inicial y fraguado final con aproximación al minuto.

Endurecimiento: Sin solución de continuidad pero separado convencionalmente del fraguado, tiene un tiempo de solape y se define como “la progresiva adquisición de resistencias mecánicas”. Las partículas se aprietan entre sí por interposición de cristales y adherencia coloidal, dependiendo entonces el mayor o menor grado de resistencia de las películas coloidales y el gel microcristalino, es decir, de los silicatos C3S y C2S.

El agua penetra poco a poco hacia el interior de los gránulos minerales hidratándolos, produciéndose a la vez el fenómeno de retracción de la pasta y la adherencia del conjunto.

La duración del endurecimiento es indefinida, aunque se considera finalizado a los 28 días en la mayoría de los cementos y en algún caso a los 90 días. Esta duración es más corta en cementos finamente molidos y que han sido cocidos y enfriados adecuadamente. El endurecimiento se ve perjudicado por el exceso de agua de amasado, la existencia de materias orgánicas e inorgánicas en el agua o el árido y por las condiciones atmosféricas. El frío lo retrasa, llegando a interrumpirse con la helada y el calor lo acelera pero le roba el agua, por lo que se debe curar de forma continua. El esquema de tiempos de hidratación en su conjunto es el siguiente:



2.8 Características Físicas y Mecánicas.

Este tema lo planteamos en dos partes diferenciadas, en la primera de ellas trataremos de analizar la estructura del cemento y la pasta que se obtiene al mezclarlo con agua, así como los procesos de hidratación de sus constituyentes. El objetivo final es el de exponer los conceptos básicos que puedan explicar el comportamiento de la pasta de cemento y su fraguado y en consecuencia los efectos oportunos en el hormigón.

Finura de molido: El valor de la finura de un cemento decide la calidad de este en el sentido más amplio, de modo que cuanto más elevado sea el grado de finura del aglomerante acabado corresponderá una mayor superficie de exposición (superficie esférica) a las reacciones de hidrólisis y por tanto a un mayor desarrollo de resistencias y poder hidráulico.

La influencia que el tamaño de grano de las partículas de clinker tiene sobre el valor de las resistencias es de gran interés. La mayoría de los autores admiten que la fracción granulometría de un cemento de 3 a 30 micras es la que da lugar prácticamente al desarrollo de resistencias y que los cementos de altas resistencias iniciales requieren, como mínimo, un 10% entre 0 y 3 micras.

En contrapartida un aumento excesivo de finura exige un mayor control de la utilización para evitar posibles fisuraciones.

La determinación de la finura de un cemento se puede terminar mediante 3 métodos:

- Tamizado seco.
- Tamizado húmedo.
- Permeabilimeto Blaine.

El tamizado seco: consiste en determinar la cantidad de material retenido por el tamiz de 90 micras y expresar en tanto por ciento la muestra sometido a ensayo.

Así pues, para determinar la finura se utilizara la siguiente expresión:

$$F = 100 - [(R_m \times 100) / M]$$

Dónde:

F= es la finura del cemento.

Rm= Es el residuo de la muestra retenido sobre el tamiz

M= Es la masa de la muestra

El tamizado húmedo: consiste en determinar la finura mediante el empleo del tamiz de 90 micras y corriente de agua. Una masa cocida y seca de cemento se coloca sobre el tamiz. Sometido a corriente de agua, la fracción del cemento con partículas de menor tamaño que la abertura de la malla la atraviesa. Se seca y se pesa la fracción retenida.

La finura del cemento se obtiene de la forma siguiente:

$$Rc = Rm \times (100 + C)$$

$$F = 100 - Rc$$

Donde:

F= es la finura del cemento.

Rc= es el residuo corregido.

Rm= es el residuo de la muestra retenida en gramos.

C= es un factor de corrección del tamiz.

El permeabilímetro Blaine: consiste en hacer pasar una corriente de aire bajo presión preestablecida a través de un material granular. La velocidad del paso del aire disminuye al aumentar la finura de los granos ya que disminuye el diámetro de los poros por los que debe pasar el agua.

Peso específico: El valor del peso específico real para los cementos es sensiblemente mayor de 3.0 gr/cm^3 , oscilando entre 3 y 3.2 gr/cm^3 sino contienen adiciones, tras añadir únicamente al clinker del 7 al 10% de yeso, que son siempre menos densos que este, el valor de la densidad desciende notablemente.

Lo mismo sucede si el cemento se deteriora (presencia de humedad, inicio de hidratación, carbonatación de la cal, etc.) por eso cuando mayor sea la densidad, mayor será la calidad del cemento.

Cambios de volumen: La expansión puede medirse por el método de la autoclave o por el

método de las agujas de Le Chatelier. El ensayo de autoclave es un ensayo acelerado que, al combinar presión con temperatura, pone de manifiesto a corto plazo el carácter más o menos expansivo que tendrá un cemento a largo plazo debido a la existencia de magnesia o de cal libre en exceso. Si el expansivo en obra. En caso contrario, podrá presentar expansiones o no, según condiciones y circunstancias prácticamente imponderables.

El método de Le Chatelier se efectúa mediciones de la expansión en frío y en caliente, pero sin que actúe la presión. Es menos severo que el método de la autoclave.

Resistencia Mecánica: Las propiedades mecánicas son fundamentales para definir la calidad de un cemento. La resistencia a compresión y la evolución de esta a lo largo del tiempo está delimitada por el pliego de prescripciones y define la clase de cemento a que corresponde,

Los ensayos para determinar las características mecánicas consisten en medir la resistencia a flexotracción de probetas de mortero de 40 x 40 x 160 mm y la resistencia a compresión de probetas obtenida de las dos partes resultantes en el ensayo de flexotracción.

La resistencia a flexotracción viene dada por la siguiente fórmula:

$$R_f = 1.5 \times \frac{F_f l}{b^3} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

Donde:

Rf= es la resistencia a flexotracción

Ff = La carga aplicada en el centro del prisma, en newton.

L= Es la distancia entre apoyos, en milímetros.

b= el lado de la sección cuadrada del prisma, en milímetros.

La resistencia a compresión se determina según la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

Donde:

Rc= es la resistencia a compresión.

Fc= la carga de rotura, en Newtons.

1600 es el área de la probeta en contacto con los platos de carga en mm².

La dosificación del mortero utilizado para los ensayos, la fabricación y rotura vienen determinados por la normativa.

Durabilidad: En muchas de las aplicaciones del cemento es de gran importancia la durabilidad o resistencia química de los cementos. Si bien es cierto que las capacidades mecánicas y sus valores son perfectamente calculados y conocidos, no lo es tanto el comportamiento químico y la duración o edad del mismo. Son múltiples los factores que influyen en la durabilidad de un cemento, siendo los más importantes los siguientes:

Perdida al fuego: La conservación del cemento acabado requiere su preservación de la humedad ambiental para evitar una anticipada hidratación antes de su utilización. Ello supondría una pérdida de calidad gradual, con grave peligro si no es detectada previamente. Este fenómeno, llamado de meteorización, da como consecuencia un aumento de valor de la pérdida al fuego en sus dos componentes: agua de la hidratación de los silicatos y CO_2 procedentes de la carbonatación del hidróxido cálcico, formando por la hidrólisis de los silicatos. El valor de la pérdida al fuego da por tanto una idea del estado de meteorización de un cemento.

Residuo insoluble: Es la cantidad de material que no se disuelve en ácido clorhídrico al 10% en ebullición durante unos minutos. Todos los componentes del clinker son solubles a este. También lo es el yeso, por lo que un cemento, sin adiciones de otros materiales distintos a la caliza, como son las punzolanas, cuarzos, feldspatos, etc., dan un valor de residuo insoluble del orden de 0.5.

Al aumentar el residuo insoluble disminuye la resistencia, a no ser que esta disminución sea simultáneamente contrarrestada por la mejora de otras variables, por ejemplo aumentado la finura de molido. Los cementos con adiciones poseen elevadas cantidades de residuos insolubles.

Composición del clinker: Los silicatos de calcio C_3S y C_2S sobre todo el primero, son los que aportan mayores resistencias mecánicas al aglomerante cuya composición integran. En cambio, los C_3A y C_4AF aportan baja resistencia mecánica a largo plazo, aunque el C_3A contribuyen a las resistencias iniciales.

Los clinker que tienen elevado contenido de C_3S presentan una alta proporción de CaO en su composición y deben ser clinkerizados a una temperatura suficiente alta para mantener el contenido de cal libre bajo el 1 %.

Cal y magnesia libre: El contenido de cal libre debe ser inferior a 2% dada la expansión de volumen que produce su hidrólisis (formación de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, de carácter expansivo).

El MgO tiene una reacción similar. Cuando la cantidad de magnesia es superior al 5 % en el clinker, el cemento puede adoptar carácter expansivo.

Si bien el contenido en cal y magnesia libre no está limitada, si lo está el efecto expansivo que se controla por medio de las agujas de Le Chatelier o mediante autoclave.

Contenido en SO_3 : El contenido en SO_3 decide la calidad del cemento portland por varios motivos:

- Cuando el contenido esta fuera de un estrecho margen (entre 2 y 4%) afecta al tiempo de fraguado. Cuando es menor el fraguado puede ser muy rápido. Cuando su valor es del 6 al 10 %, inhibe el fraguado, no existiendo entonces endurecimiento ni efecto aglomerante.
- Otro inconveniente se presenta cuando la cantidad de SO_3 sobrepasa el 4 %: puede haber, según el contenido de C_3A un exceso de $\text{SO}_4\text{Ca}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ libre en el hormigón que será objeto de reacción con el C_3A excedente o con el que eventualmente quede libre de otras zonas del hormigón y hace más intenso el efecto corrosivo a las armaduras.
- Otro aspecto muy importante de la dosificación del SO_3 dentro de los límites, es que con su aumento se reduce la retracción hidráulica de los cementos explicado por la formación de una mayor cantidad de estringita en los primeros plazos.

Calor de hidratación: El calor de hidratación de los cementos se obtiene midiendo la diferencia entre el calor desprendido en un calorímetro por la disolución de un cemento anhidro en una solución acida de acido fuerte y el del mismo cemento hidratado en pasta pura, en una plazo convenido. El calor total de hidratación del cemento es producido por la aportación de los calores parciales de cada uno de los componentes del clinker.

Los cementos en elevado contenido de C_3S y C_3A son lo que tienen mayor valor de calor de hidratación y son a su vez, por lo general, los cementos que poseerán las mayores resistencias mecánicas a todos los plazos.

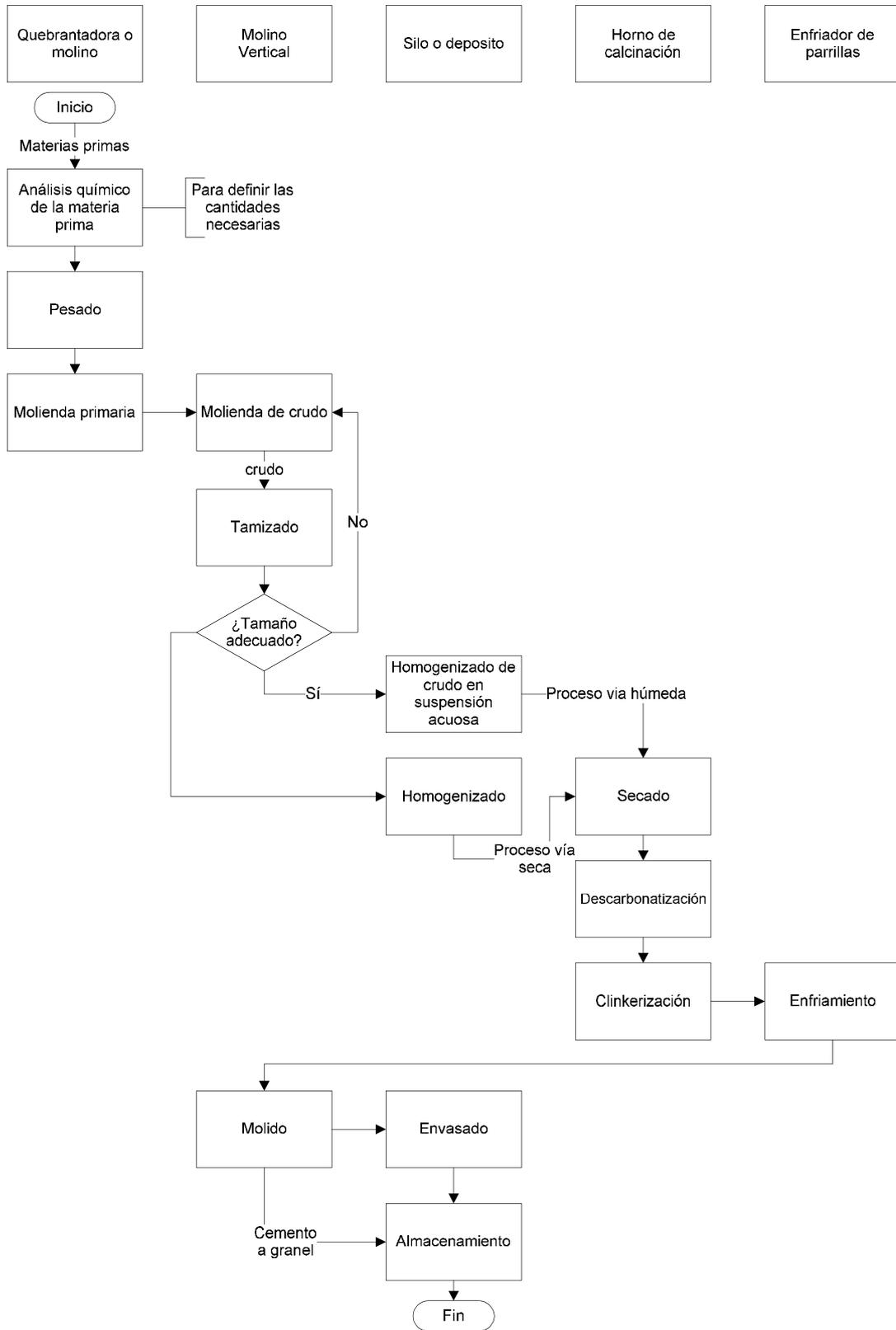
Otra variable importante es la finura, de modo que a mayor grado de esta corresponde un

mayor calor de hidratación debido a la mayor superficie en la que se realizan las reacciones de hidratación.

Este punto es importante para regular, con el tipo de cemento elegido, la retracción térmica en aquellos casos en que es particularmente nociva, como en el hormigón en masa. Inversamente en el hormigón en tiempo frío (cuando no son obras en masa) es más conveniente el empleo de aglomerantes con elevado calor de hidratación, teniendo presente que cuando el volumen de hormigón puesto en obra comienza a ser importante la retracción hidráulica motivada por una eventual relación de agua/cemento elevada puede sumarse al efecto de su retracción y da lugar a fisuras del hormigón.

A continuación se muestra un esquema en donde se resume el proceso de obtención del clinker y del cemento.

PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CLINKER Y DEL CEMENTO



Variables de las que depende la cantidad de un cemento: La calidad de un cemento tipo portland, depende de muchos factores, siendo los fundamentales: la composición química del crudo, la clinkerización correcta con reducida cal libre, la ausencia de óxidos perturbadores como el P_2O_5 en más de un 0.5 % o el MgO en más del 5 % que afecta al endurecimiento.

Todo ello repercute en los valores de la resistencia a la flexo tracción y a la compresión, aunque la calidad de un cemento no es solo esto, ya que a veces, interesa más una buena durabilidad o un bajo calor de hidratación, un menor grado de finura, incluso menor resistencia mecánica para su uso como mortero y una buena resistencia química.

Dada la complejidad del problema, vamos a referirnos solo a las variables de las que depende el conseguir resistencias altas.

Los principales puntos a estudiar son los siguientes:

- a) Finura de molido: cuando más elevada sea, mayor extensión tendrán las reacciones de hidrólisis aumentando las resistencias, sobre todo las iniciales a corto plazo.
- b) Composición del clinker: los silicatos de calcio son los que aportan mayores resistencias al aglomerante.
- c) El módulo de silicatos: relación entre el SiO_2 y los óxidos metálicos. Varía de 2 a 3.5 siendo mayor con alto contenido de silicatos.
- d) El grado de saturación de cal GSP: mide el grado de formación de compuestos cálcicos debiendo ser próximo a 100. Varía normalmente entre 88 y 97, siendo los límites superiores los que dan mayor cantidad de C_3S y por lo tanto mayor resistencia.
- e) El contenido de C_3A : varía de un 8 a un 12% en cemento normales y favorece la adquisición de resistencias iniciales altas en las primeras 48 horas. El peligro de ataque de sulfatos obliga a reducir su presencia al 5 %.
- f) El módulo de fundentes M.F: es la relación alúmina/hierro que varía entre 1,4 y 3 no afectando a las resistencias a largo plazo pero si a las iniciales. Los valores bajos permiten la formación de silicatos disminuyendo el C_3A al existir más cal disponible. Para valores de 0.64 en peso, todo el óxido de aluminio pasa al C_4AF y no se forma C_3A consiguiéndose cementos de alta resistencia a sulfatos.

- g) La densidad real del cemento: para los cementos cuya adición es el yeso varia de 3 a 3.15 gramos/cm³ dando mayor calidad las altas densidades. Si se añaden otras adicciones la densidad desciende notablemente.
- h) El residuo insoluble: es la cantidad de material que no se disuelve en ácido clorhídrico. Los valores altos perjudican la resistencia y se dan en los cementos con puzolanas o cenizas volantes, en los que se permite valores del 8 %. En los normales es del 5 %.
- i) Perdida al fuego: es el material que se volatiliza a 950 °C siendo el CO₂ de los carbonatos, el absorbido de la atmosfera o el agua absorbida por meteorización, los que lo forman.
- j) Contenido de MgO: en cantidades mayores al 5 % hace expansivo al cemento al hidratarse lentamente, disgregándolo.
- k) Contenido de CaO: por la misma causa deber ser inferior al 2 % por su hidrólisis tardía y expansiva. Nos estamos refiriendo aquí al contenido de CaO libre.
- l) Contenido en SO₃: afecta a la cavidad del cemento por varios motivos: Su contenido debe estar entre el 2 y el 4 % pues regula muy bien el fraguado. Para valores por debajo del 1 % el fraguado es muy rápido apelotonándose la masa, dificultando la puesta en obra y reduciendo la resistencia. En valores altos del 6 al 10 % inhibe el fraguado. Debe estar en forma de dihidrato cálcico ya que como hemihidrato fraguaría al amasar el cemento perjudicando el proceso de fraguado.
- m) El calor de hidratación: debido fundamentalmente al C₃A y en menor medida al C₃S produce retracciones térmicas de la pasta, fisuraciones en el hormigón, sobre todo en su uso en grandes masas. Sin embargo, en tiempo frio, protege del peligro de las heladas.
- n) Interrelaciones entre las variables: Las causas de expansión interna: son debidas a componentes del propio cemento como los del MgO, CaO y el SO₃. Su contenido está limitado por el pliego para evitar expansiones.
- o) La densidad real: está relacionada con el residuo insoluble y la pérdida al fuego, elementos que hacen que descienda.
- p) El valor del intervalo de tiempos de fraguado: está condicionado por los contenidos de

C_3A y de SO_3 . Los valores elevados del primero dan tiempo más cortos de fraguado.

Los del SO_3 deben estar ajustados, ya que inciden directamente en el tiempo de fraguado pero también en la durabilidad del cemento. Está relacionado con la finura de molido, ya que los cementos más finos, requieren mayor cantidad de SO_3 .

- q) Las resistencias mecánicas: vienen condicionadas por el grado de finura y la composición del clinker, mejorando con el contenido en silicatos, sobre todo el C_3S y la densidad real.

El estudio de todos estos elementos nos sirve para tener criterios, a la hora de la elección de aplicación de una determinada cemento.

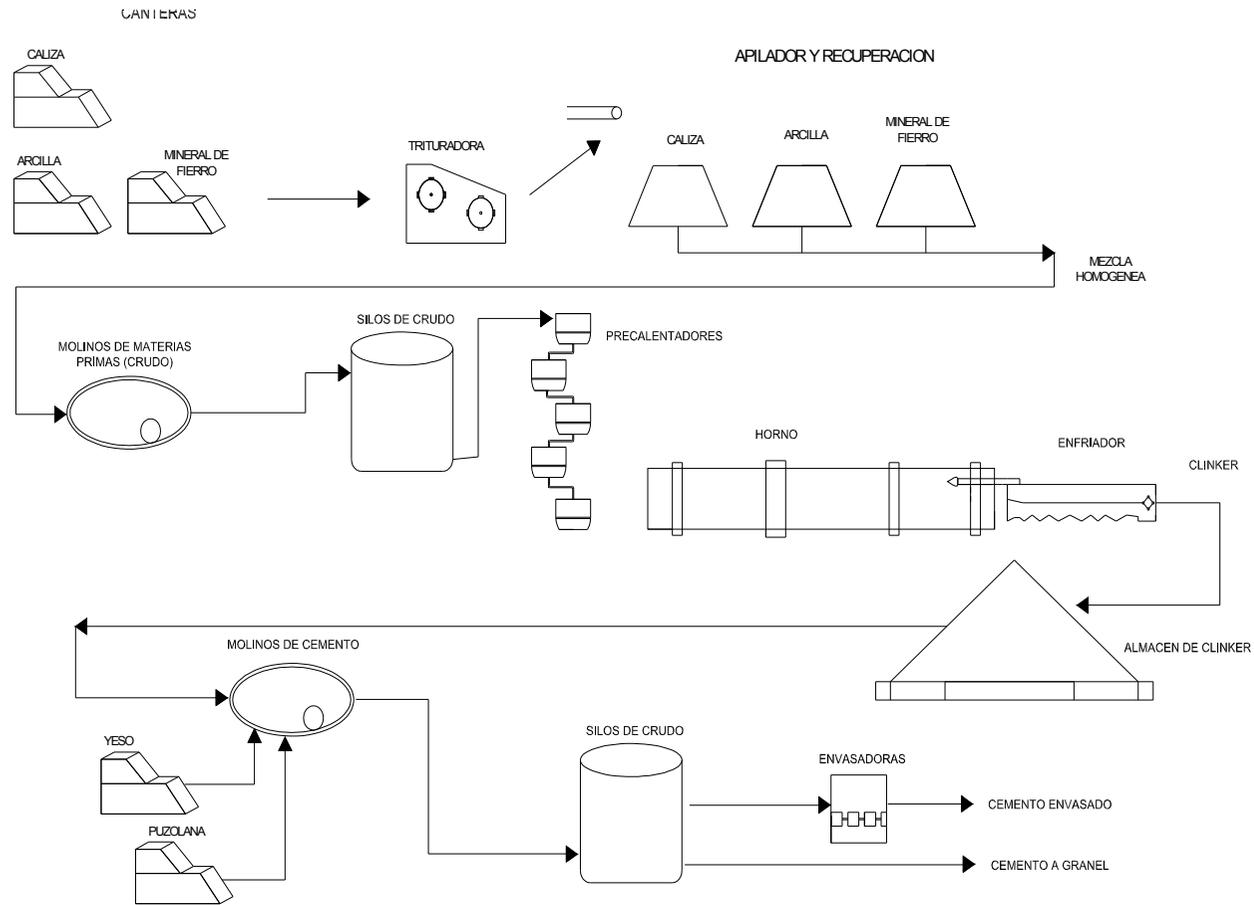


Figura 3. Diagrama de la producción del cemento.

2.9 Almacenamiento

Tomando en cuenta la NORMA MEXICANA NMX-C-021-ONNCCE-2004 QUE HABLA SOBRE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA; El cemento que se mantiene seco conserva todas sus características, almacenado en latas estancas o en ambientes de temperatura y humedad controlada, su duración será indefinida.

En las obras se requieren disposiciones para que el cemento se mantenga en buenas condiciones por un espacio de tiempo determinado, lo esencial es conservar el cemento seco, para lo cual debe cuidarse no sólo la acción de la humedad directa sino además tener en cuenta la acción del aire húmedo. En obras grandes o en aquellos casos en que el cemento deba mantenerse por un tiempo considerable se deberá proveer una bodega, de tamaño adecuado sin aberturas ni grietas, que pueda mantener el ambiente lo más seco que sea posible.

En los casos en que sea previsible la presencia de lluvias, el techo tendrá la pendiente adecuada, el piso deberá ser de preferencia de tablas, que se eleven sobre el suelo natural para evitar el paso de la humedad, eventualmente se pueden usar tarimas de madera.

Las bolsas se deberán apilar juntas, de manera de minimizar la circulación del aire, dejando un espacio alrededor de las paredes, las puertas y las ventanas deberán estar permanentemente cerradas. El apilamiento del cemento, por periodos no mayores de 60 días, podrá llegar hasta una altura de doce bolsas.

Marcado y etiquetado de envasado: Cuando el cemento para albañilería se entrega en sacos debe indicarse en forma clara e indeleble los datos siguientes:

- Nombre o denominación genérica del producto
- Denominación o razón social
- Domicilio fiscal
- Leyenda "HECHO EN MÉXICO" o el nombre del país de origen
- Marca registrada
- Indicación de cantidad en kilogramos o en toneladas
- Nombre y/o ubicación de la planta productora
- Cumplimiento con esta norma

2.9.1 Cemento a Granel

Cuando el cemento para albañilería se entrega en un envase de cualquier naturaleza y cuyo contenido puede ser variable, se debe incorporar en la factura o remisión la siguiente información:

- Nombre o denominación genérica del producto
- Denominación razón social
- Domicilio fiscal
- Leyenda "HECHO EN MÉXICO" o el nombre del país de origen
- Marca registrada
- Indicación de cantidad en kilogramos o en toneladas
- Nombre y/o ubicación de la planta productora
- Cumplimiento de esta norma

Durante mucho tiempo, el cemento ha sido suministrado en sacos de papel, sin embargo, la tendencia actual es distribuirlo a granel, transportándolo en camiones cisterna y almacenándolo en silos.

Las ventajas de la adquisición de cemento a granel son varias; entre ellas, las siguientes:

- Economía en la compra de cemento.
- Economía de manejo en descarga, almacenamiento y manipulación.
- Economía por pérdida, originada en sacos deteriorados o mojados.
- Incremento en la productividad de la obra, por contar con cemento inmediatamente disponible.
- Evita el riesgo de robo.

Todo el cemento debe de almacenarse en estructuras protegidas contra la intemperie, apropiadas y ventiladas, para impedir la absorción de humedad, las facilidades del almacenamiento para el cemento a granel deben incluir compartimientos separados para cada tipo de cemento que se fabrique.

El interior de un silo de cemento debe de ser liso, con una inclinación mínima de 50 a 66 grados para un silo rectangular. Los silos que no sean de construcción rectangular deben estar provistos de cojines de deslizamiento que no se atasquen, por los cuales se puedan introducir a

intervalos pequeñas cantidades de aire a baja presión de hasta 5 psi, para soltar el cemento que se haya compactado dentro de los silos. Además se debe de tener cuidado de que la cantidad de aire a emplear sea mínima, puesto que en algunas aéreas de clima seco el empleo de aire ha dado al cemento características anormales de fraguado. Los silos de almacenamiento deben ser vaciados con frecuencia, de preferencia una vez al mes, para impedir la formación de costras de cemento.

El cemento envasado en sacos debe ser apilado en plataformas, para permitir la apropiada circulación del aire, para un período de almacenamiento de menos de 60 días, se recomienda evitar que se superpongan más de 14 sacos de cemento, y para periodos mayores no deben de superponerse más de 7 sacos, como precaución adicional se recomienda que se utilice primero el cemento más viejo.

2.9.2 Empaque

El cemento se lleva por medio de bandas transportadoras o de sistemas neumáticos hacia los silos de almacenamiento de donde se extrae para ser despachado en bolsas o granel. La operación de empaclado se hace mediante tres equipos (empacadoras) que llenan los sacos y en forma automática una vez completan su peso, son descargados en una banda transportadora. Esta banda puede ir directamente al vehículo o a una paletizadora automática donde se organiza en grupos para ser cargado mediante montacargas a los camiones.

De acuerdo con la norma NOM-002-SCFI establece las tolerancias y los métodos para la verificación de los contenidos netos de productos pre envasados y los planes de muestreo usados en la verificación de productos que declaran su contenido neto en unidades de masa o volumen.

Se aplica tanto a productos de Fabricación Nacional como de Importación que se comercialicen en Territorio Nacional. Las tolerancias para fines de la comprobación del contenido neto de los productos pre envasados, se fijan las tolerancias que se indican a en la Tabla.

Tabla 24. Tolerancias aceptadas para la comprobación de contenido

Contenido neto declarado en g ó ml	Tolerancia (T)
Hasta 50	1 1 ,0%

Contenido neto declarado en g ó ml	Tolerancia (T)
50 hasta 100	5,5 g ó ml
100 hasta 200	5,5 %
200 hasta 300	11 g ó ml
300 hasta 500	3,7 %
500 hasta 1 000	18,5 g ó ml
1000 hasta 10 000	1 ,85 %
10000 hasta 15 000	185 g ó ml
de más de 15 000	1,2%

La verificación del contenido neto de productos pre envasados indica que se debe efectuar mediante muestreo aleatorio, tomando muestras por duplicado. Cada muestra estará compuesta por el número de unidades que se establece en la Tabla 25.

Tabla 25. Número de muestras necesarias de acuerdo al lote del producto

Lote de productos	Muestra de prueba (Unidades)
De 150 a 500	13
De 501 a 1 200	20
Del 201 a 10 000	32
De 10 001 a	50
De 35 001 a 500	80

En el caso de que el lote de productos que se verifique sea mayor de 500 000 unidades, las cantidades excedentes se considerarán como integrantes de otro lote, al cual se le aplicarán las mismas reglas de la Tabla 25.

Para la aceptación del lote no debe encontrarse un número de unidades fuera de tolerancia mayor a las establecidas en la Tabla 18.

Tabla 26. Número máximo de unidades permitidas fuera de tolerancia

Tamaño de la muestra (Unidades)	Unidades fuera de la tolerancia
13	1
20	2
32	3
50	5
80	7

2.9.3 Transporte del cemento

Transporte del Cemento a Granel: El vehículo de transporte del cemento es un tanque a presión, que se carga en los silos de almacenamiento por gravedad, y está provisto de una compresora que se utiliza para descargar el material.

El chofer regula los controles para dar la mezcla adecuada de aire y cemento que lleva el material hasta el silo de obra,

Las características esenciales de los vehículos de transporte son las siguientes:

- El tráiler debe ser ligero, sin sacrificio de la resistencia. El diseño de un recipiente sometido a esfuerzo es un buen ejemplo, este utiliza el material del casco a manera de viga portadora de carga y no necesita armadura longitudinal externa. Con este diseño, las tensiones de flexión y de torsión son absorbidas por el casco.
- La unidad debe ser segura y durable, al igual que un tráiler normal para carreteras. Las reacciones de la carretera deben transferirse al recipiente de manera tal que evite el ingreso de esfuerzos concentrados, asimismo, debe ser maniobrable, tener una forma práctica y dimensiones que cumplan con los requisitos del tránsito.
- El sistema neumático debe funcionar de forma simple. No puede presentar problemas técnicos para el operador del equipo. El equipo es accionado por un motor de combustión interna o mediante un dispositivo con toma de fuerza en el tractor. Para el vaciado a

presión las necesidades de aire son de entre 812 m³ por minuto y 2 bar. La potencia de la toma de fuerza es de 20-30 KW en casos normales y de 40 a 50 en exigencias grandes. El compresor de pistón proporciona aire algo mezclado con aceite que puede aceptarse para cemento y cal.

- El tiempo de descarga debe ser mínimo. El índice de descarga varía según sean las distancias horizontales o verticales hasta los silos de depósito. Sin embargo, el cemento se puede descargar a más de una tonelada por minuto, cuando el cemento se coloca dentro de silos de 20 m. de alto. Aproximadamente, en condiciones normales, el tiempo de descarga de 35 toneladas es de 1 hora. La carga requiere de 35 minutos.
- El mantenimiento de la cisterna debe ser cuidadoso. Es necesario efectuar una limpieza minuciosa. Deberá cuidarse que no se produzcan deformaciones o abolladuras que pueden constituir grave peligro. La tapa del llenado no debe tocarse mientras el recipiente esté sujeto a presión. Para un diámetro de abertura de 50 cm. y una presión de trabajo de 200 KPa en el depósito, el esfuerzo en la tapa es de 3,925 kp.
- Es obligatorio asegurar que todos los sistemas se encuentren operativos, mediante inspecciones periódicas.

Silos: Los silos de cemento son elementos verticales, de forma generalmente cilíndrica y sección circular, de gran altura con respecto a su diámetro.

Los silos se caracterizan generalmente, por el tonelaje almacenado, que varía entre los 15 y 50 m³. El silo se compone de un cuerpo, constituido por un fuste cilíndrico metálico cerrado, de 2.40 a 2.80 de diámetro, generalmente, en la parte superior, se dispone de una chimenea o respiradero para la descompresión, la entrada de la tubería de carga y una escotilla para ingreso de personas con cierre estanco.

La parte inferior tiene forma de cono y en la zona más estrecha, una abertura con dispositivo de cierre, el diseño del cono prevé limitar la formación de bóvedas. Fig. 8

Finalmente, los apoyos están constituidos por tubos y perfiles de acero, que son anclados debidamente, para contrarrestar la acción del viento cuando el silo está vacío, que genera esfuerzos de basculamiento que producen tracciones en los pies. Eventualmente, los silos cuentan

con indicadores del nivel del cemento, filtros para eliminar el polvo, dispositivos anti bóveda y distribuidores de cemento. El cuerpo de los silos pequeños por lo general es enteramente soldado, lo que permite ponerlo en obra rápidamente.

Los silos de mayores dimensiones, que hacen difícil su transporte, se fabrican en secciones desmontables empernadas, estos tipo son más caros y eventualmente sujetos a la humedad. El cuerpo de los silos pequeños por lo general es enteramente soldado, lo que permite ponerlo en obra rápidamente.

Los silos de mayores dimensiones, que hacen difícil su transporte, se fabrican en secciones desmontables.

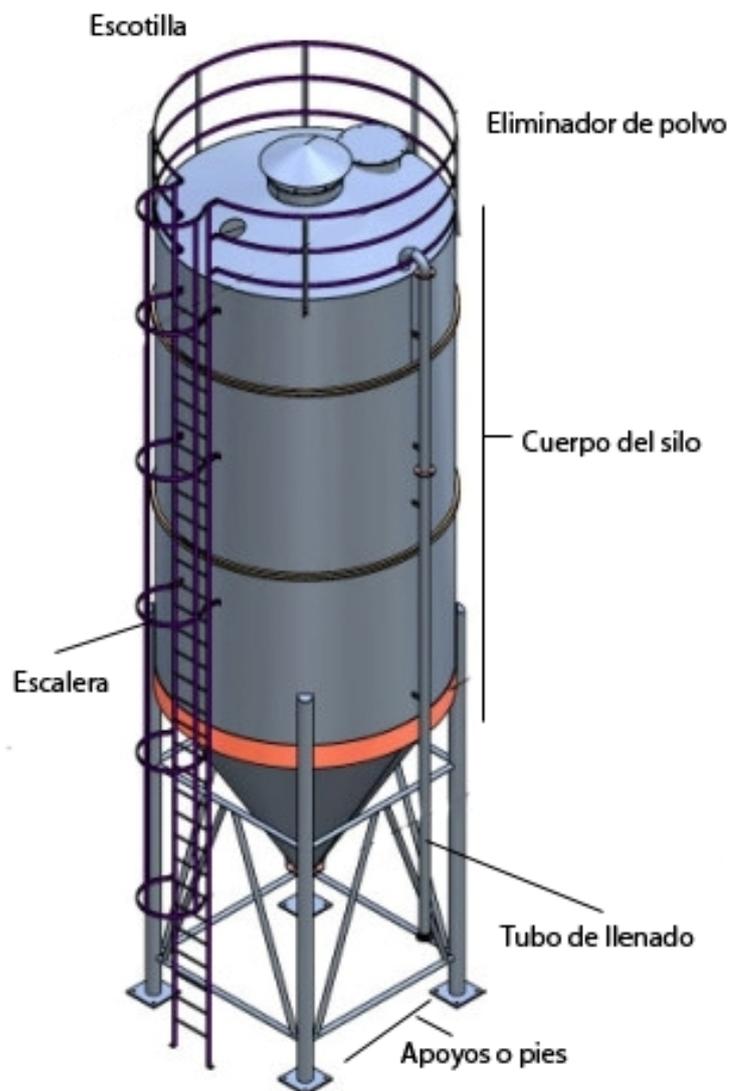


Figura 4. Esquema básico de un silo.

2.10 Usos y aplicaciones principales del cemento

Actualmente, en el sentido más amplio, la palabra cemento indica cualquier clase de adhesivo, en construcción y en ingeniería civil, indica una sustancia que puede emplear para unir arena y roca triturada, u otros tipos de áridos, y formar una masa sólida, cuyas principales propiedades presentan una mayor dureza y resistencia mecánica que los agregados que le dieron origen.

De esta manera se originan materiales como el hormigón, los morteros y diferentes clases de productos derivados del fibrocemento, un cemento puede ser un compuesto químico único, pero la más de las veces es una mezcla, aunque desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calizas, arcilla y arena, con lo cual son obtenidos diferentes tipos de cementos, que se distinguen por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Tabla 27. Usos del cemento.

Área de aplicación	Uso principal
Construcción y mejora de viviendas	Productos de concreto económicos, mejora y renovación de vivienda, cimentaciones, concreto para pavimentos, cocheras, veredas, patios, etc.
Agrícola	Diseño de concretos que resiste la agresividad del medio ambiente donde reencuentran instalaciones de almacenaje de líquidos o silos
Industrial	Concretos reforzados con fibras plásticas o de metales, que reducen el agrietamiento
Marino/hidráulico	Cementos con características de baja permeabilidad y de alta resistencia bajo condiciones de contacto con el agua y otros entornos agresivos
Contenedores radioactivos	Material aislante para prácticamente todos los tipos de equipos térmicos que funcionan a temperaturas de 1000 °C

Área de aplicación	Uso principal
Aplicaciones especiales	Sellador de juntas, en techos de lámina metálica o de asbesto-cemento

CAPÍTULO III. Panorama General de la industria del cemento en México

3.1 Presencia de la industria del cemento en nuestro país

La industria del cemento en México se caracteriza por ser de las más eficientes del mundo, gracias a las inversiones continuas en tecnología y equipamiento de punta; capacidad técnica de su personal; y la seguridad de sus procesos, equipos y operaciones.

Esto permite que México se encuentre entre los 15 principales productores de cemento en el mundo. En México se produce y comercializa este producto desde 1906, en la actualidad es el segundo productor de cemento a nivel de Latinoamérica.

El total del cemento que se consume en nuestro país es fabricado por seis empresas, en 32 plantas distribuidas, en todo el territorio nacional. Cemex México, Holcim Apasco, Cementos Moctezuma, GCC cemento, Lafarge y la Cooperativa la Cruz Azul, con la mayor parte de la producción vendida al mercado interno

Las empresas de cemento en México invirtieron del año 2000 al 2006, 2 mil 500 millones de dólares en nuevas plantas, mejora de infraestructura, optimización energética, logística y distribución, ambiente y coprocesamiento de residuos, seguridad e higiene y desarrollo comunitario, de esta cifra, es muy importante resaltar los cerca de 300 millones de dólares destinados de forma exclusiva a proyectos ambientales.

Todas las plantas cuentan con reconocimiento de industria limpia y al menos 50% con el de excelencia ambiental. El cemento contribuye en forma directa con su producción y en forma indirecta como insumo de varias actividades económicas.

Comparando el precio a granel, en países como China, Tailandia y Brasil, se encuentra que el precio de México es más bajo. El precio del cemento en Brasil estaría cercano a los 117 dólares por tonelada, el de China alrededor de 118 dólares y Tailandia quedaría en 129 dólares; mientras que el de México rondaría los 114 dólares.

3.2 Principales empresas productoras y comercializadoras

En la actualidad existe una gran variedad de empresas dedicadas a la producción y suministro de cementos y concretos para sus diferentes aplicaciones dependiendo su uso, el

número de fábricas que elaboran cemento en México son 32 repartidas a lo largo de todo el territorio, en la siguiente figura se muestra la ubicación de las cementeras.



CEMEX: Nace en 1906 con la fundación, en el norte de México, de Cementos Hidalgo México, la primera planta cementera moderna de Latinoamérica con un horno giratorio. Cementos Portland Monterrey, piedra angular de la compañía, inicia sus operaciones en 1920 con una capacidad de producción de 20,000 toneladas por año

Desde mediados de la década de 1960 hasta mediados de la década de 1980, CEMEX creció hasta convertirse en el líder del mercado en México, durante dicho período, la compañía dobló sus volúmenes de exportación, empezó a cotizar en la Bolsa Mexicana de Valores y amplió su presencia hacia el centro y sur de la República Mexicana.

CEMEX inicia su transformación hacia ser un productor multinacional de cemento cuando se firmó el acuerdo del GATT en 1985, para poder competir con éxito en un mercado cada vez más abierto, la compañía adquirió operaciones cementeras estratégicas en España, Venezuela y los Estados Unidos, Panamá y la República Dominicana.

CEMEX ha continuado su diversificación geográfica global ingresando a mercados cuyos ciclos económicos en gran medida operan independientemente y que ofrecen crecimiento a largo plazo, la compañía es ahora la tercera cementera más grande del mundo con operaciones en Norte, Centro y Sudamérica, Europa, el Caribe, Asia, y África. Además es la mayor

comercializadora internacional de cemento y clinker del mundo, es una compañía global líder en la producción y distribución de cemento, con operaciones posicionadas en los mercados más dinámicos del mundo a través de cuatro continentes. CEMEX combina un profundo conocimiento de los mercados locales con su red mundial de operaciones y sistemas de tecnología informática a fin de proveer productos y servicios de clase mundial a sus clientes, desde constructores individuales hasta grandes contratistas industriales.

APASCO: Holcim Apasco es una empresa de clase mundial comprometida con el desarrollo de México; dedicada a la producción y comercialización de cemento, concreto premezclado y agregados para la construcción. La empresa ofrece productos y servicios que satisfacen las más diversas necesidades, desde el pequeño auto constructor hasta grandes obras de infraestructura. Sus productos y servicios son de calidad clase mundial, lo que se refleja en la certificación de todas sus plantas cementeras y varias de sus concreteras bajo los estándares ISO 9000. En este sentido, pone a su disposición, entre otros productos, diversos tipos de cemento de la más alta calidad, homologados a la Norma Mexicana del Cemento.

GCC: Grupo Cementos de Chihuahua es una compañía líder en la producción y comercialización de cemento, concreto, agregados y servicios relacionados con la industria de la construcción en México y Estados Unidos de América además de que tiene una participación significativa en la compañía cementera líder de mercado en Bolivia.

La Compañía tiene una capacidad anual de producción de cemento de 4.0 millones de toneladas. La empresa prácticamente triplicó su capacidad de producción de cemento en los últimos 25 años y es un modelo de operación sustentable para la industria cementera de todo el mundo. Dentro de su línea de productos están los cementos, cementos especiales, cementantes, yeso, concretos premezclados, concretos especiales, morteros premezclados, productos Aslo, productos Aslo Tec, agregados pétreos, bloques de concreto, Keystone muros de contención, adoquines y baldosas de concreto, la línea Preforte y las Casas térmicas.

LAFARGE: Esta empresa es líder mundial en materiales de construcción que mantiene posiciones de primer nivel en cada uno de sus negocios. El grupo fue fundado en 1833 y cuenta con más de 70 mil empleados en todo el mundo. Cuenta con 1,139 plantas productoras de concreto y 596 minas para la extracción de agregados en 26 países. Las propiedades de los productos que ofrece Lafarge pueden ser utilizadas en todo tipo de construcción, desde edificios de tipología residencial, hasta carreteras, puentes, estaciones de ferrocarriles, pisos, etcétera. Aunado a esto, la empresa está convencida y comprometida con el desarrollo sustentable no sólo con el fin

de apoyar al medio ambiente sino también, a las comunidades que lo habitan.

En este sentido, la empresa trabaja de manera estrecha con industriales, con empresas sustentablemente responsables y con arquitectos e ingenieros comprometidos con el presente y futuro no sólo de México sino del mundo entero. Por otro lado, cabe decir que Lafarge posee cuatro divisiones de negocios, a saber: cemento, concreto, agregados, tejados y yesos.

CEMENTO MOCTEZUMA: Corporación Moctezuma es una entidad que agrupa a varias empresas, entre ellas a Cementos Moctezuma, Concretos Moctezuma y Concretos Lacosa, estas empresas se dedican a la producción y comercialización del cemento y concreto.

El objetivo de esta corporación es abastecer a la industria de la construcción, de cemento y concreto de óptima calidad, brindando a distribuidores y clientes directos, un servicio de excelencia así como resultados y beneficios a sus accionistas. Por más de 60 años, en Cementos Moctezuma se han dedicado a producir y proveer al mercado constructor el mejor cemento, superando las normas oficiales mexicanas y los estándares internacionales de calidad. Los cambios en la estructura accionista de la empresa, a lo largo del tiempo, los han llevado a una posición que les permite tener una estructura con importantes ventajas estratégicas.

COOPERATIVA CRUZ AZUL: Tiene una experiencia de cuatro generaciones, ya que en México en el año 1909 por primera vez se produjo Cemento Portland industrialmente, Cruz Azul lo hizo y ha continuado desde entonces su fabricación manteniendo una constante superación en el proceso, equipos y capacidad de personal.

La alta calidad del cemento Cruz Azul está garantizada por la integración de equipos productivos, modernos y eficientes con alto aprovechamiento de la energía, por sistemas computarizados que aseguran los mejores resultados del proceso y por nuestro personal capacitado coordinado por técnicos especializados. Trabajando bajo la filosofía Cooperativa Cruz Azul, enfocada hacia el hombre y al servicio de la comunidad.

En Cruz Azul la investigación es de tiempo completo, dedican una parte importante de ingresos a ella. Cuentan con modernos y sofisticados equipos de Difracción y Fluorescencia de Rayos "X", además de Microscopía Óptica y personal calificado responsable de aplicar cada una de las técnicas analíticas.

3.3 Yacimientos de Materias Primas para la elaboración del Cemento.

Explotación de Canteras: La piedra se extrae de canteras casi de la misma manera que en la antigüedad, excepto que se usan herramientas modernas, de hecho, algunas canteras de los griegos, romanos y cartagineses se siguen explotando aún.

El método consiste en crear primero un canal o ranura a cierta profundidad y luego remover grandes bloques de piedra por uno o los dos del canal hasta que el área plana quede a la vista. El tamaño de estas áreas de piso se determina por las características del banco natural de piedra o por limitaciones de la operación. Para hacer los canales, se taladran hoyos muy cercanos entre sí, horizontalmente respecto a cierta profundidad establecida y luego se saca la piedra comprendida entre los canales. Luego se colocan cuñas, y se extrae la piedra completa.

Estos grandes bloques se subdividen en unidades más pequeñas ya sea mediante taladro y cuñas, o bien mediante sierras de alambre que ahora utiliza la mayoría de los productores de piedra. La sierra de alambre corta una superficie suave, reduciendo así el proceso de acabado en molino, también puede subdividir grandes bloques de piedra en tamaños que recibirán su acabado en el molino. En la cantera se hace una ranura nueva y más profunda, y se repite la secuencia arriba mencionada.

Operaciones de molino: Los bloques de piedras se transportan desde la cantera hasta un molino de acabado, en él la piedra se subdivide y se le da forma de materiales acabados. El corte se efectúa mediante sierras circulares, o sierras múltiples, que se mueven horizontalmente de un lado a otro, y también mediante sierras de alambre. En todos los tipos de sierra se usan abrasivos con agua como materiales de corte. La piedra que no se pule, se le da forma con herramientas neumáticas; la piedra que se va a pulir tiene la superficie esmerilada, primero con abrasivos cada vez más finos hasta la etapa final de pulido que se hace con fieltro y un material de pulido muy fino.

México posee grandes superficies de afloramientos rocosos compuestos por rocas carbonatadas que ofrecen potencial como rocas dimensionales, se distinguen dos tres zonas productoras de mármol, en las cuales se realizan los procesos, desde la explotación hasta la terminación del producto:

- Zona 1. Región llamada de La Laguna y se ubica en el límite de los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas.
- Zona 2. Comprende gran parte del estado de Puebla.
- Zona 3. Ubicadas en los estados de Querétaro, Hidalgo, Oaxaca y Jalisco.

Yacimientos Mexicanos de Materias Primas Utilizadas en la Fabricación del Cemento:

El territorio mexicano cuenta con grandes extensiones de superficies en las que afloran las calizas, ofreciendo una gran disponibilidad en este tipo de rocas, entre ellos la región norte (Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León) participa con el 23.7% del volumen de producción; en el sureste (Quintana Roo, Tabasco y Oaxaca) se concentra el 20.1%; en la porción occidental (Jalisco y Colima) el 19.0%; la parte central (Hidalgo y México) aporta el 16.2% y la noroeste (Sonora, Chihuahua y Baja California) contribuyen con el 10.8%.

Las pizarras, constituyen formaciones antiguas que se presentan en forma de estratos o de plaquetas paralelas que se han dividido por la presión del suelo.

Estas son, por lo regular, del tipo montmorillonita y sus formaciones más abundantes se localizan al norte del país, en el Estado de Durango, siendo las de Cuencamé, Velardeña, Pedriceña, Rodeo y Nazas las más conocidas y las que actualmente se encuentran en explotación, Figura 4.

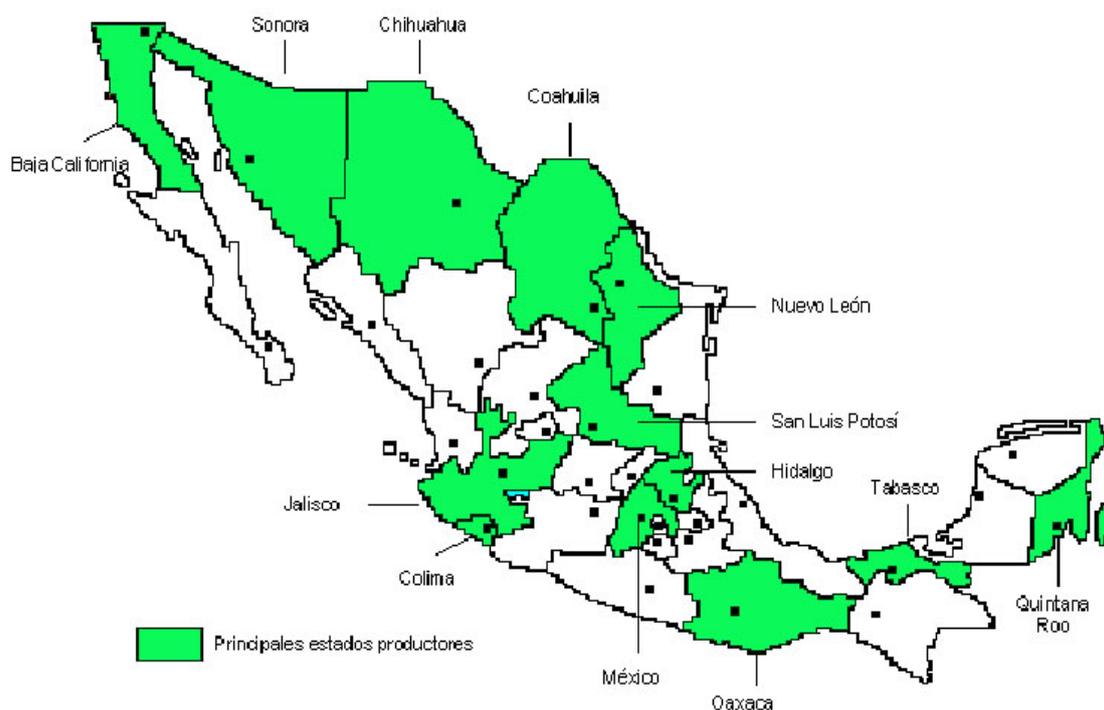


Figura 5. Distribución en el país de materias primas para la producción de cemento

También existen depósitos importantes en Puebla, en los límites de Tlaxcala y Puebla, en Chupaderos, Zacatecas, en Oaxaca, en Neutla, Guanajuato, en Huayacocotla, Veracruz y en numerosas formaciones menores localizadas en las antiguas zonas lacustres como el valle de

México, Figuras 6 y 7.



Figura 6. Depósitos arcillosos en México.

En el distrito minero de Cananea en los depósitos arcillosos de México existe una secuencia de cuarcita y caliza la cual se encuentra compuesta de las formaciones de Cuarcita capote y caliza

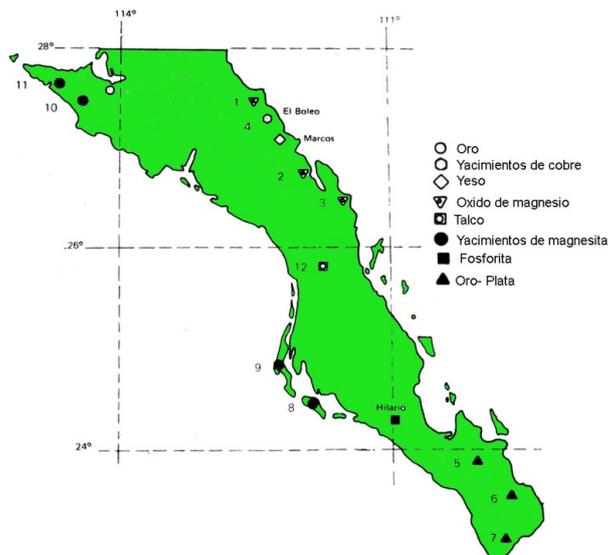


Figura 7. Principales depósitos minerales de Baja California Sur.

3.4 Exportación e Importación del cemento y materias primas

Los Estados Unidos se ubican como el principal país de destino y origen del cemento producido e importado en el mercado nacional, en la tabla 28 se muestra el porcentaje de actividad de cada uno de los países con participación dentro del mercado del cemento mexicano. Es evidente que un gran porcentaje de ventas son para el continente americano al contrario de las importaciones que son en su mayoría procedentes de Europa.

Tabla 28. Total de importaciones y exportaciones de países con México.

País	(%)Exportaciones	País	(%) Importaciones
Estados Unidos	59,4	Estados Unidos	63
República Dominicana	22,6	Austria	8,7
España	7,7	Francia	6,1
Guatemala	2,9	España	6,1
EL Salvador	2,1	Rusia	3,6
Venezuela	1,3	Países Bajos	3,8
Belice	1,1	Canadá	4
Otros países	2,9	Alemania	4,7
Total	100	Total	100

Productos y materias primas de exportación: México es un país rico en minerales, la extracción de minerales tiene una gran participación dentro de la economía de nuestro país, por ello es indispensable la exportación de todos aquellos minerales que hoy en día tienen gran demanda a nivel mundial.

En la siguiente tabla se muestra los minerales que se exportaron en mayores cantidades en los últimos años. Las exportaciones de minerales industriales de México fueron de 19.8 MM de toneladas con un valor de 309.1 MM de dólares, esto 7.7% de la producción total de No metálicos en volumen y 11% de la producción total en valor, respectivamente (Tabla 29).

No obstante las exportaciones de materias prima y cemento en México hacia Estados Unidos, estaban detenidas por diversos tratados que impedían la exportación de productos cerámicos, actualmente México puede exportar hasta tres millones de toneladas métricas anuales de cemento al sur de Estados Unidos. Con ello se redujeron los aranceles de 26.28 a tres dólares por tonelada, lo que implica una devolución estimada en 300 millones de dólares para la industria, por los aranceles cobrados en los últimos 16 años.

Debido a que en 1990 Estados Unidos impulso una cuota compensatoria a las exportaciones de cemento mexicano, cuyo monto era equivalente al 40% de valor del producto, lo que freno drásticamente las ventas al exterior de las cementeras nacionales.

Las cementeras mexicanas tienen gran presencia en el mercado mundial, algunas, incluso, son consideradas líderes en el ramo. En general México es considerado una potencia en la industria del cemento y el tercer productor mundial con 35 millones de toneladas producidas.

Tabla 29. Exportaciones de minerales

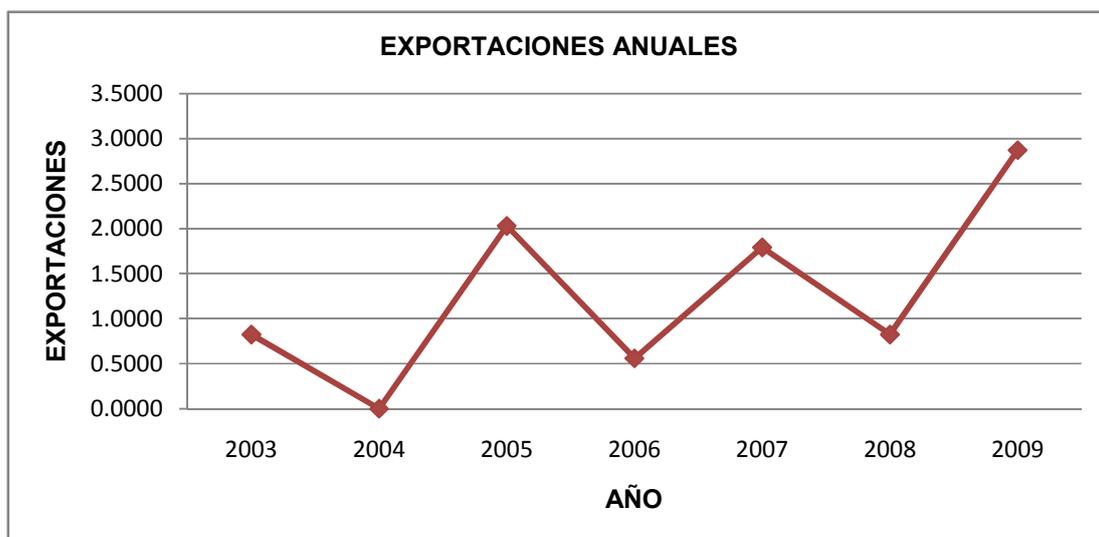
Mineral	Volumen En Ton	Valor En Usd
Sal	7,353,535	88,507,989
Fluorita	594,471	54,291,105
Arena Y Grava	9,077,390	43,264,522
Celestita	80,417	28,653,020
Azufre	458,795	19,403,717
Yeso	1,460,797	15,367,913
Compuestos De Mg	8,316	11,121,415
Tierras Füller	22,708	8,475,111
Calcita	82,852	8,034,557

Mineral	Volumen En Ton	Valor En Usd
Sílice	562,194	7,411,265
Diatomita	17,033	7,160,669
Bentonita	29,311	4,389,751
Vermiculita	4,717	3,944,642
Caliza	29,014	3,085,015
Grafito	16,170	2,627,550
Pómez	10,928	1,548,873
Barita	11,230	1,260,125
Feldespatos	7,833	616,445
Total	19,827,711	309,145,684

En la siguiente tabla y grafica se muestran el crecimiento de exportaciones anuales de las materias primas utilizadas para la fabricación de cemento.

Tabla 30. Exportaciones anuales por año

Año	Exportaciones
2003	N/E
2004	0.8235
2005	0
2006	2.0307
2007	0.559



Como se observa en la gráfica las exportaciones de caliza, yeso, arcillas, caolín, etc. Han tenido caídas importantes, a pesar de que la industria del cemento es parte fundamental para el crecimiento de los países y en la actualidad esta industria es indispensable para el crecimiento económico de México, por ello es importante considerar nuevas estrategias que permitan que las exportaciones tengan un mayor crecimiento anual.

Productos y materias primas de importación: Los costos de importación por origen son en gran porcentaje de Estados Unidos de igual forma las exportaciones estadounidenses siguen siendo en primer lugar de procedencia de las importaciones mexicanas de materiales para la construcción, su cuota de mercado está disminuyendo.

Sus exportaciones con destino a México se incrementaron estos últimos años (en 34 millones de dólares). Este es un indicador del auge del sector de la construcción en México; de este modo todos los países representados en el gráfico incrementaron en mayor o menor medida su exportación a México.

En segundo lugar, destaca el gran incremento de las importaciones provenientes de China (que llegan a los 32 millones de dólares), que pasa a ocupar el segundo lugar en cuanto a cuota de mercado, siendo sus exportaciones a México en términos porcentuales las que más han crecido, casi duplicando su presencia en el mercado mexicano en los últimos tres años.

Las importaciones de producto español también han aumentado en los últimos cinco años, aunque a un ritmo menor que las importaciones chinas. Este hecho hace que España (con 13

millones de dólares) pierda el segundo lugar que venía ocupando desde el año 2001 en favor de China, seguido muy cerca de Canadá (con una cifra de 12 millones de dólares), quien en el último año ha experimentado un crecimiento importante de sus exportaciones a México. Otros países que han visto aumentar sus exportaciones hacia México son Canadá, Alemania y Chile.

Para estimar el precio con que el producto llegará al consumidor final, es necesario conocer en primer lugar las contribuciones que pueden causarse con motivo de la importación (costes de importación), añadir el coste del transporte, y posteriormente el margen comercial que el agente importador impondrá como remuneración a su tarea. Las principales contribuciones que pueden causarse con motivo de la importación serían las siguientes:

Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y Exportación (TIGIE)⁵, Impuesto al Valor Agregado (IVA), Impuesto Sobre Automóviles Nuevos (ISAN), Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), Derecho de Trámite Aduanero (DTA) y Derecho de Almacenaje. De estos son aplicables a los materiales para la construcción el TIGIE, que se aplica en defecto de acuerdo / tratado entre México y el segundo país; en nuestro caso existe el TLCUE, (Tratado de Libre Comercio entre la Unión Europea y México), el IVA, el DTA y en su caso el Derecho de Almacenaje.

Encontramos el fundamento de estos impuestos en las siguientes fuentes legales: Artículos 51, fracción I, de la Ley Aduanera; artículo 12 de la Ley de Comercio Exterior; artículo 1 de la Ley del Impuesto al Valor Agregado; artículo 1, fracción II, de la Ley Federal del Impuesto sobre Automóviles Nuevos, artículo 1 de la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios y artículos 42 y 49 de la Ley Federal de Derechos.

IVA: El IVA se causa con motivo de la importación y se determina aplicando una tasa del 15%. Tratándose de la importación de bienes tangibles, se considerará el valor que se utilice para los fines del impuesto general de importación, adicionado con el monto de este último gravamen y de los demás que se tengan que pagar con motivo de la importación, incluyendo, en su caso, las cuotas compensatorias. El fundamento legal se encuentra en el artículo 27 de la Ley del IVA.

Derecho de Trámite Aduanero: El DTA se causa con motivo de las operaciones aduaneras que se efectúen utilizando un pedimento o el documento aduanero correspondiente en los términos de la Ley Aduanera, de conformidad con las siguientes tasas o cuotas:

- Del 8%, sobre el valor que tengan los bienes para los efectos del impuesto general de

importación, en los casos distintos de los señalados en las siguientes fracciones.

- Según fuentes de la Administración General de Aduanas, para las mercancías procedentes del exterior, se puede optar por este porcentaje o la cuota fija, cuyo monto se modifica anualmente en las Reglas de Carácter General de Comercio Exterior, publicadas en el Diario Oficial de la Federación.

Los fundamentos legales se encuentran en los artículos 1 y 49 de la Ley Federal de Derechos, artículos 310 del TLCAN, 3-11 del TLC México Costa Rica y 3-10 del TLC México Chile y Reglas 5.1.1. a 5.1.5., de las Reglas de Carácter General en Materia de Comercio Exterior para 2003.

Derecho de Almacenaje: El almacenaje en recinto fiscal o fiscalizado por mercancías que se van a destinar a la importación es gratuito los dos primeros días en tráfico aéreo y terrestre, en tráfico marítimo el plazo es de cinco días, debiéndose pagar solamente los servicios de manejo y custodia de las mismas durante estos períodos. Se computan a partir del día en que la mercancía entra al almacén y del día en que el consignatario reciba la comunicación de que las mercancías entraron al almacén, respectivamente.

Vencidos estos plazos, las cuotas de los derechos de almacenaje, en recintos fiscales, de mercancías en depósito ante la aduana son las siguientes, tal y como se establecen en el artículo 42 de la Ley Federal de Derechos. Debemos tener en cuenta que estas son las tarifas en el momento de elaborar este estudio y que pueden variar en el futuro:

- I. Por cada quinientos kilogramos o fracción y durante:
 - a) Pesos diarios los primeros quince días naturales.
 - b) 2.300 pesos diarios los siguientes treinta días naturales.
 - c) 45 pesos diarios el tiempo que transcurra después de vencido el plazo señalado en el inciso anterior.

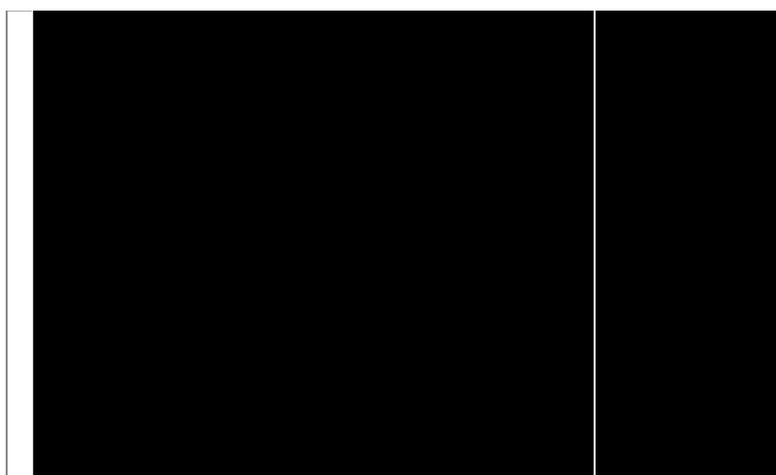
- II. Se pagará por cada día de almacenaje el doble de las cuotas establecidas en la fracción anterior, cuando se trate de las siguientes mercancías:
 - a) Las contenidas en cajas, contenedores, cartones, rejas y otros empaques y envases, cuyo volumen sea de más de 5 metros cúbicos.
 - b) Las que deban guardarse en cajas fuertes o bajo custodia especial.

- c) Las explosivas, inflamables, contaminantes, radioactivas y corrosivas.
- d) Las que por su naturaleza deban conservarse en refrigeración, en cuartos estériles o en condiciones especiales dentro de los recintos fiscales.
- e) Los animales vivos. Los fundamentos legales se encuentran en la Ley Federal de Derechos en los artículos del 1 al 42. Para los efectos del artículo 42 de la Ley Federal de Derechos, los contenedores vacíos se considerarán mercancías.

En la siguiente grafica se muestra las importaciones del cemento en los últimos años, para graficar estos datos se realizó un promedio de anual, en la gráfica se refleja las variaciones que han tenido las importaciones tomando en cuenta que partir de 1996 las importaciones fueron decreciendo hasta el 2006.

Tabla 31. Importaciones del cemento por año

AÑO	PROMEDIO
1993	0
1994	-56
1995	-62
1996	99
1997	80
1998	62
1999	65
2000	64
2001	55
2002	52
2003	48
2004	45
2005	45
2006	39



Principales empresas productoras de materias primas en la fabricación de cemento en México: México es un país rico en minerales, por ello es necesario contar con la infraestructura necesaria con el fin de obtener estos minerales de la manera más fácil y rápida posible.

Hoy en día México cuenta con una gran variedad de empresas que proveen de diversos servicios para la obtención de materias primas y fabricación de cemento, en la siguiente tabla se encuentra una serie de empresas dedicadas al estudio, explotación y extracción, así como distribución de materias primas que están localizadas a lo largo de la república mexicana.

Tabla 32. Empresas que proveen servicios para industria cementera

Empresa	Ubicación	Descripción
GCC Cemento, S.A. de C.V.	Calle: Vicente Suárez y 6ª. S/N, Colonia: Nombre de Dios Cp. 31110 Teléfono: (614) 442.3100 - 424.3377 Fax : (614) 424.3377 E-Mail : jarescar@gcc.com	Venta de Cemento, mortero, yeso y agregados.
Materiales para la Construcción de la Sierra	Calle: Emiliano Zapata No. 1206 Colonia : Vicente Guerrero Cp. 43630 Teléfono: (775) 753.8771	Proveedor de tubo PVC, cemento, varilla, cal, tinacos, conexiones de plomería.
De piedra Mármoles y Canteras	Calle: Texcoco y Cuernavaca No. 410 Colonia : Ampliación Rodríguez Cp. 88680 Teléfono: (899) 920.3415 Fax : (899) 920.3415 E-Mail vanessanr@prodigy.net.mx	Especialistas en piedras naturales e instalación, gran variedad para proyectos.
Materiales Para Construcción Ocampo	Colonia : Tecozautla Hidalgo Cp. Otilia Oca Teléfono: 558995 45 00445528651429 E-Mail : mocampor@metlife.com.mx	Venta de mina de agregados puzolánicos para cemento y otra de arena fina azul y de cantera.
Exploración de Yeso S.A. De C.V.	Paseo De Tamarindos 400 b Piso 1, Bosques De Las Lomas Cp. 05120	Investigación sobre yacimientos y explotación
Materias Primas Minerales de Ahuazotepec, S. De R.L. De C.V.	2009 Avenida Loma Larga 2621 Obispado 64060 Nuevo León Monterrey Tel: (81) 81512800 81512881	Escenarios tecnológicos para la ingeniería mexicana, prospectivas tecnológicas, investigaciones sobre cemento y concreto
Foros, Equipamientos Y Servicios, S.A. De C.V.	Calle Topógrafos 679 2 Arcos De Guadalupe 45037 Jalisco Zapopan (33)3620806566	Perforación de pozos materiales de construcción
Industria Dayi, S.A. De C.V.	Avenida José María Morelos 10 Progreso 42730 Hidalgo Progreso De Obregón	Cal viva e hidratada gravas/derivados de caliza

Empresa	Ubicación	Descripción
	Tel:(01 738) 72 50 516 72 51 442	
Sociedad Exploradora Minera, S.A. De C.V.	2009 Calle Pernambuco 792 Lindavista 07300 Distrito Federal Gustavo A. Madero (55) 5586 8848 5754 8370 De 30,001 O Más	Estudios geológicos y evaluación de yacimientos, minerales, cartografía, peritaje, topografía estudios geológicos y evaluación de yacimientos, minerales, cartografía, peritaje, topografía

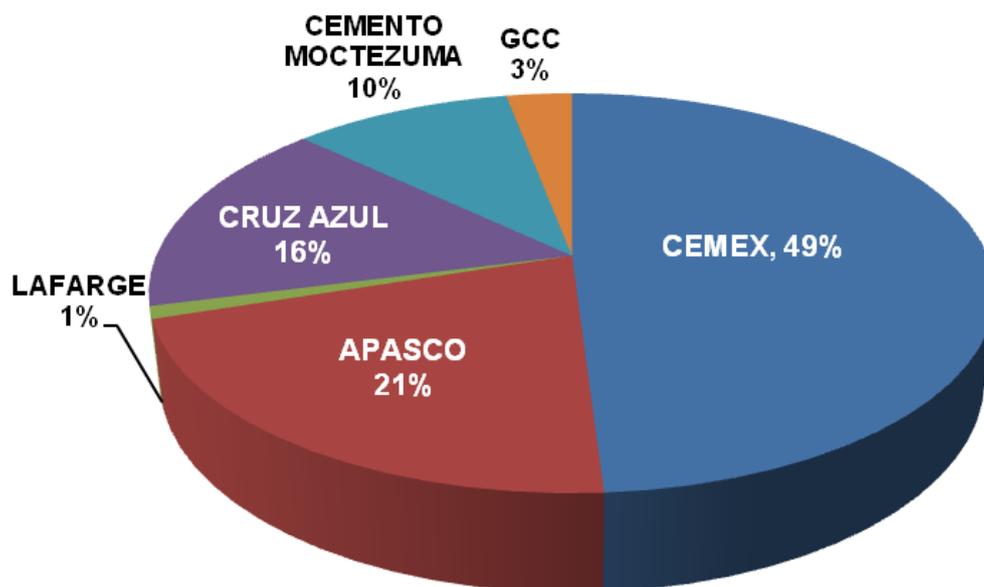
3.5 Producción, distribución de cemento en México

La producción del cemento en México, se encuentra dividida por seis compañías: Cemex, la tercera del mundo; Holcim Apasco, una filial de la suiza Holcim, segunda productora mundial; Cruz Azul, única que no cuenta con capital extranjero; Corporación Moctezuma; Grupo Cementos Chihuahua, propiedad en parte de Cemex, y la cementera líder a nivel mundial, la francesa Lafarge.

Los tres gigantes mundiales tienen presencia en el país, y dos de ellos (Cemex y Holcim Apasco) lideran el sector. Cemex cuenta con alrededor de 50% del mercado nacional.

La industria del cemento conformada por seis empresas con 0.9 por ciento del PIB, tuvo una producción de 37.1 millones de toneladas en 2008, lo que significa que sólo se utilizó 71 por ciento de la capacidad instalada.

En la siguiente figura se muestra el porcentaje de la producción de la industria cementera.



El 73% del producto es comercializado en sacos, el motivo es que la mayor parte de los consumidores de cemento en México (52%) son los constructores de vivienda, las grandes y algunas desarrolladoras medianas compran a granel, en ocasiones con acuerdos con las cementeras, pero esto no representa ni la mitad del mercado de la vivienda, el resto son pequeños desarrolladores o autoconstructores que compran de saco en saco.

El menudeo obliga a tener una infraestructura de empaquetado, pero también implica su distribución desde las 33 plantas de producción del cemento que hay en México hasta los más de 30,000 puntos de venta en toda la República, el costo de distribución del cemento, es casi igual al de producción.

El transporte del producto desde la planta cementera hasta el centro de distribución supone entre 20 y 30% del precio final de venta del saco.

Al transporte se añade otra particularidad: es un producto de alta rotación (no sobrevive más allá de tres días después de salir de la planta), por lo que el centro de producción y el de distribución no pueden estar a más de 300 km de distancia.

La industria cementera, es el cuarto consumidor industrial de energía eléctrica del país. Del costo de producción, el 60% corresponde al consumo de electricidad, que desde el 2000 su precio ha crecido 124% frente a 26.5% de aumento del precio del cemento. Hay otro factor más, las

diferencias regionales. El deterioro de las carreteras nacionales, las particularidades físicas de lugares como Oaxaca, un incompleto sistema ferroviario y los altos precios energéticos, hacen que pueda haber variaciones en su precio de hasta un 20% de una región del país a otra.

La industria cementera entró en un clima recesivo que la llevó a modificar sus expectativas, por lo que actualmente está reprogramando sus inversiones, reorientando sus estrategias comerciales e implementando programas de innovación tecnológica para desarrollar productos que satisfagan las necesidades de los constructores.

La Cámara Nacional del Cemento (CANACEM) estimó en alrededor de 35.5 millones de toneladas el consumo nacional de cemento gris de 2008, cifra de entre 2 y 3% menor a la del año anterior, además, calculó la producción del insumo en 37.5 millones de toneladas, lo que implicó una reducción de 3.2%.

Un factor que contribuirá a que el sector retome el ritmo de crecimiento que alcanzó durante los últimos años ,será la asignación presupuestaria sin precedentes, que el Congreso de la Unión aprobó para LA construcción de infraestructura de 2009, que fue de aproximadamente 570,000 millones de pesos.

Mientras tanto Cemex anticipó que este año sus volúmenes de venta de cemento y concreto en México bajarán 5.0 y 2.0 por ciento, respectivamente, debido a que continuará la desaceleración de la demanda de vivienda y no obstante un mayor gasto en infraestructura.

La Cooperativa La Cruz Azul, la tercera mayor cementera del país, tendría en algunas plazas de México el menor precio de venta al público de cemento con 2,000 pesos (149 dólares) la tonelada, mientras que Holcim Apasco lo comercializaría 4.4% más y Cemex estaría 7.6% por arriba del primero, según los datos del sondeo de precios más reciente de Citigroup.

Así, considerando los resultados del sondeo y haciendo un simple cálculo aritmético se desprende que el precio por tonelada con la marca Cruz Azul se vende en 2,000 pesos (149 dólares), Apasco en 2,087 pesos (155.5 dólares) y las marcas de Cemex en 2,152.2 pesos (160.3 dólares).

La principal compañía es Cemex con poco menos del 50% del mercado, seguida de Apasco con poco más del 20% y en la tercera posición se ubica Cruz Azul con menos de una

quinta parte del mercado.

El resto del mercado, está en manos de Grupo Cementos Chihuahua (donde Cemex tiene una participación de 49%), Cementos Moctezuma. Además de la pequeña participación de mercado el número 1 en el mundo del cemento, la francesa Lafarge.

CAPÍTULO IV. Situación económica del cemento en México.

4.1 Principales actividades dependientes de la industria cerámica en el país.

En la actualidad son diversas las actividades e industrias que depende de la producción u obtención de los materiales cerámicos, dentro de estas industrias podemos encontrar la de la construcción, la cual requiere en mayores proporciones de estos materiales para su desarrollo, dentro de la construcción se pueden distinguir los siguientes grupos:

- Particulares. Este grupo no es homogéneo. Por una parte nos encontramos al gran segmento de la autoconstrucción, es decir, particulares que construyen su propia vivienda. En este caso se buscan materiales que tengan un precio económico.

Por otro lado están los clientes de cadenas tipo Home Depot, esto es, particulares que adquieren algún tipo de material (generalmente de segunda obra) para realizar alguna reparación o pequeña modificación en su hogar. En este caso la calidad y la estética entran a formar parte de las decisiones de compra.

- Las constructoras. Son grandes compradoras de materiales para la construcción. Ofrecen servicios tanto al sector público como privado.

Si bien la autoconstrucción seguirá siendo soporte de la compra de materiales (sobre todo en el caso del cemento), el peso de la construcción formal asegurado por las grandes constructoras será el de mayor crecimiento.

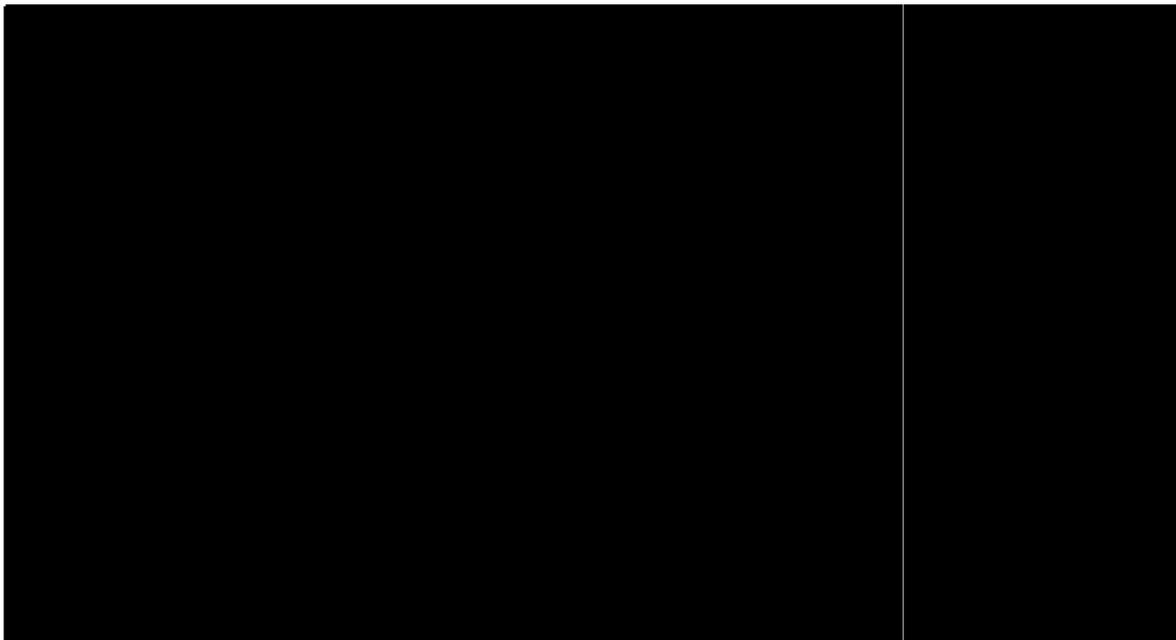
- Agencias de vivienda. Aunque estas agencias no compran materiales directamente, otorgan créditos y ayudas a particulares para remodelar o para comprar una vivienda.

En la siguiente tabla se muestra la tendencia de consumos de materias primas a nivel nacional entre los años 2000-2006.

Año	Compras	Consumo
	(millones de dólares)	

2000	63399	160728.3
2001	62 077	160165.6
2002	62 697	59 974.1
2003	62623	560024.5
2004	73227.4	470556.8
2005	77549.8	874793.4
2006	91159.3	388026.3

Tabla 33. Tendencia de consumo de materias primas a nivel nacional



4.2 Distribución de materias primas en el mercado nacional

México es un país rico en diversos materiales cerámicos, los cuales podemos localizar a lo largo de la república mexicana, de acuerdo con la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, CMIC, hay en México más de 9000 productores de materiales de construcción, de

las cuales unas 2150 exportan parte de su producción, según cifras del Bancomext.

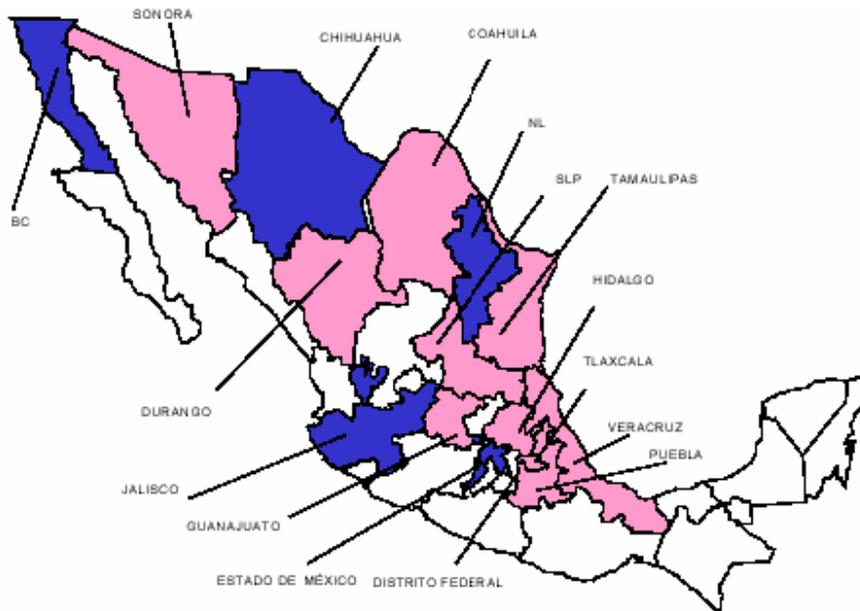


Fig. 8. Producción de materiales por estado.

La producción de materiales de construcción se ubica principalmente en el Distrito Federal, Nuevo León, Estado de México, Baja California, Jalisco, Chihuahua (en azul en el mapa) concentrando el 77% del total de las empresas. Los estados en morado, se reparten el 23% restante.

En lo que respecta a la piedra para la construcción, México tiene grandes zonas productoras de mármol y no ha alcanzado todavía el límite de su potencial productor. Se pueden distinguir dos grandes zonas productoras de mármol.

1. La región llamada de La Laguna que se ubica en el límite de los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas.
2. Una segunda zona que comprende la mayor parte del estado de Puebla.

En estas zonas productoras de mármol se realizan los procesos, desde la explotación hasta la terminación del producto. En el siguiente mapa se pueden observar en amarillo las zonas productoras y en verde las zonas que ofrecen un gran potencial pero que aun no han alcanzado altos niveles de producción.



Fig. 9. Zonas productoras

Dentro de las características geológico-litológicas con las que cuenta México, también destacan por su abundancia las rocas graníticas. Estas rocas se presentan en forma de grandes cuerpos intrusivos que afloran principalmente a lo largo de extensiones superficiales de la Costa Pacífica; desde los estados de Baja California y Sonora en el Noroeste, hasta el estado de Chiapas en el Sur. Las regiones Central y Oriental del país cuentan con un menor número de afloramientos de rocas graníticas, los cuales se encuentran, en su mayor parte, aislados.

En el mapa más abajo, se pueden ver en rojo las zonas donde se encuentran los grandes yacimientos de granito, que sin embargo, no se han explotado a gran escala por lo que la producción de este material es irregular y poco consistente.



Fig10. Zonas de gran potencial.

En los mapas antes mostrados se hace mención de diversos materiales los cuales son empleados para la obtención del cemento en sus diversos tipos, esto se debe a que el mercado del cemento esta alcanzado un desarrollo tecnológico sorprendente que permite hoy en día manejar numerosos productos para tareas específicas.

Distribución de los materiales cerámicos en el mercado nacional:

En México la mayor parte del cemento se comercializa como ventas al detalle, principalmente en bolsas de 50 Kg a través de distribuidores y contratistas, en comparación con economías más desarrolladas en donde la mayor parte del cemento es vendido a granel. En México las ventas del producto envasado equivalen aproximadamente al 80% de la demanda. De este 80%, el 48% es usado en el sector residencial y el 32% restante es usado en la autoconstrucción.

En la actualidad el acceso a estos productos es fácil, se pueden localizar múltiples distribuidoras de cemento de cualquier cementera, y esto es posible a la competencia existente

entre las diversas cementeras, estas distribuidoras están ubicadas en cada uno de los estados, ciudades y municipios permitiendo que todas las personas adquieran el producto de acuerdo al producto, precio y calidad que se ofrece.

Existen algunas cadenas como Home Depot, Arkio y Construrama, que representa un volumen de ventas considerable y que tienen cierta influencia sobre la imagen del producto.

Una tendencia que se observa es la concentración en el sector de la distribución a través del fenómeno Construrama. Esta empresa constituye hoy en día la mayor distribuidora de materiales para la construcción de toda Latinoamérica, con más de 700 concesionarios y 2000 puntos de venta en México. Nació como una iniciativa de Cemex en 2001 en apoyo a los distribuidores con la creación de una marca para la comercialización y venta de materiales. Se trata de los distribuidores de siempre que ahora se agrupan bajo un mismo emblema.

4.3 Principales centros de investigación y desarrollo

En nuestro país la industria de la construcción está tomando parte importante dentro de la economía y las distintas cementeras buscan mejorar sus productos y ser altamente competitivas ofreciendo productos innovadores y de calidad de acuerdo a las necesidades que se presentan día a día.

Para lograr este objetivo se cuenta con diferentes instituciones y laboratorios en el área de Investigación y Desarrollo, la misión de estos centros es el desarrollo de productos innovadores relacionados con el cemento, concreto y otros materiales aplicables en la industria de la construcción, incrementando la posibilidad de ofrecer a los clientes una gran diversidad de productos de calidad que van de acuerdo a los requerimientos de las obras, desarrollando tecnología de vanguardia para la industria cementera.

Dentro de las áreas de investigación se busca que los proyectos desarrollados por estos centros estén orientados a tres temas en específico:

- Sustentabilidad: mejorar el desempeño ecológico y económico del concreto y cemento
- Usabilidad: mejorar la aplicabilidad del concreto y otros materiales cementantes
- Multifuncionalidad: desarrollar nuevos productos multifuncionales para satisfacer las necesidades de los cliente

Además de que los laboratorios de concreto, cemento y otros materiales son responsables a grandes rasgos de:

- Realizar investigaciones acerca del estado del arte de nuevas tecnologías para la producción de cemento y mejoras en el proceso del mismo
- Realizar investigaciones acerca de nuevas tecnologías y usos del concreto
- Desarrollo de nuevos materiales para la industria de la construcción aprovechando materias primas de la región, así como la utilización de subproductos industriales

Como se ha estado mencionando en capítulos anteriores el cemento es parte esencial de la industria de la construcción y esta a la vez forma parte importante dentro de la economía de nuestro país, por ello es fundamental el garantizar que los diversos materiales que se utilizan, proporcionaran calidad y seguridad. Para ello el cemento y demás materiales son expuestos a una gran diversidad de investigaciones, creación de nuevos y mejores materiales, y agregado a esto la gran competencia que existe entre las grandes cementeras propicia que se creen nuevos centros de investigación y laboratorios para el estudio de estos materiales.

Tabla 34. Principales centros de investigación y laboratorios

INSTITUCIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)	Es un organismo que tiene la misión de Impulsar y fortalecer el desarrollo científico y la modernización tecnológica de México, mediante la formación de recursos humanos de alto nivel, la promoción y el sostenimiento de proyectos específicos de investigación y la difusión de la información científica y tecnológica.	-Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor Del. Benito Juárez C.P.: 03940, México, D.F. -Tel: (55) 5322-7700. -Horario de atención de: L-V 8:00 A 19:00 S 10:00 A 15:00
CENTRO DE TECNOLOGÍA CEMENTO Y	CEMEX creó en 1997 el Centro de Tecnología Cemento y Concreto, ubicado en la Ciudad de México.	-Tercera Cerrada de Minas No. 42, Col. Francisco Villa, C.P. 01280.

INSTITUCIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
<p>CONCRETO (C.T.C.C.)</p>	<p>Ofrece respaldo a todo el país con estudios e investigaciones especializadas dirigidas a evaluar minuciosamente el comportamiento del clima, los suelos y todo material que intervenga en la construcción. Al mismo tiempo diagnostica y propone la solución a mejores alternativas actuales y futuras de cada uno de los proyectos.</p>	<p>México, D. F. -Teléfono: 01 55 56 26 83 26 -Fax: 01 55 56 26 83 76</p>
<p>CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO INDUSTRIAL (CIDI)</p>	<p>Su misión es promover y desarrollar investigación científica pura y aplicada, facilitando instalaciones de vanguardia para la investigación y la docencia, desarrollando la extensión universitaria entre los estudiantes y la industria pública y privada del país y contribuyendo al desarrollo de pequeña y mediana industria a través de servicios de consultoría y ensaye.</p>	<p>Ubicado en la parte baja sur-oeste del circuito perimetral de C. U., Extensión: 32590.</p>
<p>INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO</p>	<p>El IMCYC, A.C. es una asociación no lucrativa dedicada a la investigación, enseñanza y difusión de las técnicas de aplicación del cemento y del concreto. Su misión es promover la utilización óptima del cemento y del concreto para satisfacer las necesidades del mercado con calidad, productividad y oportunidad, contribuyendo a</p>	<p>-Av. Insurgentes Sur #1846. Col. Florida, CP.: 01030 México, D.F. -Tel: 532245740 http://www.imcyc.com/</p>

INSTITUCIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
	mejorar el desempeño profesional, el desarrollo y beneficio económico de la industria, así como de la sociedad.	
CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL (CIDESI)	Desarrollo de tecnología en el área de diseño y fabricación de líneas de ensamble y maquinaria para la industria de electrodomésticos, del vidrio y del cemento entre otras. Diseño y fabricación de maquinaria y líneas de ensamble.	Av. Playa Pie de la Cuesta No. 702. Desarrollo San Pablo. Querétaro, Qro. México -Tel. (+52 442) 211 98 00 Lada sin costo 01800 5522040 www.cidesi.com
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS (CIMAV)	Es una institución integrada al Sistema Nacional de Centros Públicos CONACYT, fue fundado en la ciudad de Chihuahua en octubre de 1994 y su creación se origina por acuerdo entre el Gobierno Federal, el Gobierno del Estado de Chihuahua y CANACINTRA Delegación Chihuahua, lo que ha conferido características particulares que han modulado de manera afortunada el proceso de su desarrollo. Institución dedicada a la Investigación científica y el desarrollo tecnológico con criterios de excelencia en los ámbitos de la Ciencia de los Materiales y de la Ciencia Tecnológica Ambiental.	-Av. Miguel de Cervantes \#120, Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua, Chih., C.P. 31109. -Tels (614)439-11-58, 439-11-57, 439-11-61. Fax. (614)439-11-58. http://www.cimav.edu.mx
CENTRO DE INVESTIGACIÓN	Investigación y Desarrollo en áreas de tecnología avanzada en	-Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada 22860 Ensenada, B.C.

INSTITUCIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA (CICESE)	áreas prioritarias para el estado de Nuevo León. En las áreas de Biotecnología, Materiales y Láser Avanzados e industriales y tecnología de la información.	Tel: (646) 175-05-77. Fax: (646) 175-05-00 -Correo electrónico: serviioscolares@cicese.mx . -Dirección electrónica: http://posgrado.cicese.mx .
CENTRO DE INNOVACIÓN, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA	Es una institución encargada de dotar al Estado de Nuevo León de un nuevo Centro de Innovación e Investigación que impacte en el desempeño y acelere el desarrollo tecnológico de las empresas de la región mediante la realización de proyectos de investigación y de desarrollo tecnológico, así como la formación de recursos humanos en las áreas de materiales avanzados y nanotecnología, electrónica, mecatrónica, seguridad y riesgo, tecnologías de la información y software.	www.mtycic.com.mx
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (CINVESTAV)	Es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propios. Fue creado con el objeto de formar investigadores especialistas a nivel de posgrado y expertos en diversas disciplinas científicas y tecnológicas, así como la realización de investigación básica y aplicada de carácter científico y tecnológico. El CINVESTAV	-Libramiento Norponiente #2000, fracc. Real de Juriquilla. C.P. 76230. Santiago de Querétaro, Qro., México. -Tel: 52 (442) 2119900. Fax: 52 (442) 2119939.

INSTITUCIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
	<p>realiza estas tareas básicamente dentro de cuatro áreas del conocimiento: Ciencias Exactas y Naturales, Ciencias Biológicas y de la Salud, Tecnología y Ciencias de la Ingeniería y Ciencias Sociales y Humanidades. En la actualidad, el Centro cuenta con 28 Departamentos y Secciones académicos, organizados en 10 Unidades: tres localizadas en la Ciudad de México y 7 localizadas en el interior del país (Guadalajara, Irapuato, Mérida, Monterrey, Querétaro, Saltillo y Tamaulipas).</p>	
<p>CENTRO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, EN CHIHUAHUA</p>	<p>La misión de estos centros es el desarrollo de productos innovadores relacionados con el cemento, concreto y otros materiales aplicables en la industria de la construcción, incrementando la habilidad de GCC para ofrecer a los clientes productos de valor agregado, desarrollando tecnología de vanguardia para la industria cementera.</p>	
<p>CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES</p>	<p>Es un centro tecnológico perteneciente al Sistema CONACYT, creado a finales de 1991 a partir de la infraestructura física y humana de lo que fuera el</p>	<p>-Ciencia y Tecnología No. 790 Col. Saltillo 400, CP. 25290 Saltillo, Coahuila. México - Tel: 52(844) 411-3200</p>

INSTITUCIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
(COMIMSA)	<p>IMIS (Instituto Mexicano de Investigaciones Siderúrgicas). Enfoca sus actividades de investigación y desarrollo tecnológico bajo el concepto de mercado y con criterios de rentabilidad, de ahí su figura jurídica S. A. de C. V. Ha desarrollado un modelo de actuación innovador, el cual le permite no sólo operar con autosuficiencia financiera, sino que además logra una verdadera vinculación con el sector industrial, con el sector académico y con otros centros de investigación.</p>	
<p>CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A.C. (CICY)</p>	<p>El CICY es un Centro Público de Investigación que realiza investigación científica y tecnológica, forma recursos humanos en las áreas de la biología vegetal, los recursos naturales, la ciencia de los materiales y estudios sobre el agua, para el desarrollo sustentable del país, con la participación de personal altamente calificado, el uso de tecnologías de frontera, la colaboración con instituciones nacionales y extranjeras, y la vinculación con los sectores de la sociedad.</p>	<p>-Calle 43 no. 130, col. Chuburná de hidalgo, 97200, Mérida, Yucatán. -Teléfono: 01 (999) 942 8363</p>

LABORATORIOS		
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.	Laboratorio de Cemento y de Concreto. Pruebas de Concreto, Pruebas de Agregados, Pruebas de Cementos, Pruebas de Prefabricados (bloques, tabiques, ladrillos y adoquines).	Constitución No. 50, Col. Escandón, C.P. 11800, México, D.F. Teléfono: 01 55 52 72 79 15, 01 55 52 72 86 89 Fax: 01 55 52 72 76 10
Cemex Concretos, S.A. de C. V.	Laboratorio Planta Veracruz Pruebas de Concreto	J. Azueta s/n entre Eje 1 Pte. y Fco. Villa, Col. El Coyal, C.P. 91779, Veracruz., Veracruz Teléfono: 01 229 9817129 Fax: 01 229 1550797
Laboratorio de Control, S.A. de C.V.	Laboratorio de Control. Pruebas de Concreto	Isabel La Católica No. 504, Col. Algarín, C.P. 06880 México, D.F. Teléfono: 01 55 55 30 70 68 Fax: 01 55 55 30 73 48
Proyectos, Laboratorios y Supervisión, S.C.	Proyectos, Laboratorios y Supervisión, S.C. Pruebas de Concreto, Pruebas de Agregados, Pruebas de Geotecnia.	Av. Potam No. 1316, Col. Camino Real, C.P. 83178 Hermosillo, Sonora. Teléfono: 01 662 219 55 74 Fax: 01 662 219 74 17
Inspectec, Supervisión y Laboratorios, S.A. de C.V.	Inspectec, Supervisión y Laboratorios, S.A. de C.V. Pruebas de Concreto	Viaducto Miguel Alemán No. 22, Col. Nápoles, C.P. 03810 México. F.

LABORATORIOS		
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
		<p>Teléfono: 01 55 55 36 68 24</p> <p>Fax: 01 55 55 36 68 24, 01 55 55 36 61 57</p>
Cemex Concretos, S.A. de C.V.	Laboratorio Central México, D.F. Pruebas de Concreto	<p>Tercera Cerrada de Minas No. 42, Col. Francisco Villa, C.P. 01280 México, D.F.</p> <p>Teléfono: 01 55 56 26 83 26</p> <p>Fax: 01 55 56 26 83 76</p>
Laboratorio Nacional de la Construcción, S. A.	Laboratorio Nacional de la Construcción Pruebas de Concreto, Pruebas de Geotecnia.	<p>Calle 23 No. 23, Col. San Pedro de los Pinos, C.P. 03800 México, D. F.</p> <p>Teléfono: 01 55 55 98 86 55, 01 55 55 98 89 46, 01 55 55 98 8123</p> <p>Fax: 01 55 55 98 85 94</p>
ETA Consultores, S.A.	ETA Consultores Pruebas de Concreto	<p>Franz Halss No. 139, Col. Alfonso XIII, C.P. 01460 México, D. F.</p> <p>Teléfono: 01 55 55 63 99 93</p> <p>Fax: 01 55 55 63 54 79</p>
Concretos Apasco, S.A. de C.V.	Laboratorio Región Norte. Pruebas de Concreto	<p>Antiguo Camino a Minera del Norte No. 351, Col. Agostadero del Palmar, C.P. 66350 Santa Catarina, Nuevo León</p> <p>Teléfono: 01 818 318 32 61</p> <p>Fax: 01 818 318 32 51</p>

LABORATORIOS		
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
Geogrupo del Centro, S.A. de C.V.	Geogrupo León. Pruebas de Concreto, Pruebas de Geotecnia	Río Claro No. 213, Col. Villanueva, C.P. 37460 León, Guanajuato. Teléfono: 01 477 770 53 05 Fax: 01 477 770 53 05
Unidad de Negocios de Soporte Técnico.	Laboratorio División Chihuahua Pruebas de Concreto, Pruebas de Agregados, Pruebas de Prefabricados (bloques, ladrillos y adoquines).	Av. Homero No. 3507, Col. Complejo Industrial Chihuahua, C.P. 31109 Chihuahua, Chihuahua Teléfono: 01 614 442 75 22 Fax: 01 614 442 75 00
Universidad Autónoma de Nuevo León. Instituto de Ingeniería Civil.	Laboratorio de Tecnología del Concreto. Pruebas de Concretó, Pruebas de Geotecnia	Cd. Universitaria, s/n, Col. (s/col), C.P. 66450 San Nicolás de los Garza, Nuevo León Teléfono: 01 818 352 98 71 Fax: 01 818 376 04 77
Cemex Concretos, S.A. de C.V.	Centro de Tecnología Cemento y Concreto (CTCC). Pruebas de Concreto, Pruebas de Agregados, Pruebas de Cementos.	Tercera Cerrada de Minas No. 42, Col. Francisco Villa, C.P. 01280 México, D. F. Teléfono: 01 55 56 26 83 26 Fax: 01 55 56 26 83 76
Geotecnia y Supervisión Técnica, S.A. de C.V.	Geotecnia y Supervisión Técnica, S.A. de C.V. Pruebas de Concreto, Pruebas de Geotecnia	Villahermosa No. 334, Col. Progreso Macuiltepetl, C.P. 91130 Xalapa de Enríquez, Veracruz Teléfono: 01 228 815 27 84 Fax: 01 228 890 40 73

LABORATORIOS		
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
Impulsora Tlaxcalteca de Industrias, S.A. de C.V.	Laboratorio de ITISA. Pruebas de Concreto	Reforma Sur No. 25, Col. (s/col), C.P. 90796 Panzacola , Tlaxcala Teléfono: 01 222 281 01 26 Fax: 01 222 281 02 47
PEP Ingeniería de Suelos, S.A. de C.V.	PEP Ingeniería de Suelos, S.A. de C.V. Pruebas de Concreto	Adolfo Duclos Salinas No. 81, Col. Ampliación Santa Martha Acatitla, C.P. 09510 México, D. F. Teléfono: 01 55 57 33 27 66 Fax: 01 55 57 33 55 21
Cementos Apasco, S.A. de C.V.	Planta Macuspana Pruebas de Cemento (Petrolero)	Carretera Villahermosa, Col. (s/col), C.P. 86700 Macuspana, Tabasco Teléfono: 01 993 310 54 00 Fax: 01 993 310 54 83
Laboratorio Hidrocálido de la Construcción, S.A. de C.V.	Pruebas de Concreto	: Prolongación Zaragoza No. 1753-A, Col. Circunvalación Norte, C.P. 20020 Aguascalientes, Aguascalientes Teléfono: 01 449 996 02 22 Fax: 01 449 996 02 22
INSET, S.A. de C.V.	Pruebas de Concreto, Pruebas de Geotecnia.	Calle 48 Norte s/n Lotes 21 y 22, Col. Región 230, C.P: (s/c.p.) Cancún, Quintana Roo

LABORATORIOS		
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
		Teléfono: 01 998 888 44 31 Fax: 01 998 888 54 59
Compañía mexicana de Concreto Pretensado, COMECOP, S.A. de C.V.	Laboratorio de Pruebas COMECOP Pruebas de Prefabricados (tubos de concreto)	Lotes 7 y 8 Manzana 8 Eje Oriente Poniente, Col. Zona Industrial. C.P. 43800, Tizayuca, Hidalgo Teléfono: 01 799 796 95 00 Fax: 01 799 796 21 65
Laboratorio de Control de Calidad y Supervisión, S. A. de C. V.	LACOCS Pruebas de Concreto	35 Norte No. 3023, Col. Unidad Habitacional Aquiles Serdán, C.P. 72070 Puebla, Puebla Teléfono: 01 222 868 69 73 Fax: 01 222 231 58 36
Pretencreto, S.A. de C.V.	Laboratorio de Control de Calidad, Concreto y Agregados Pruebas de Concreto	km 21,5 Carretera Teoloyocan - Huehuetoca, Col. Bo. Santa María Caliacac, C.P. 54470 Teoloyucan, Estado de México Teléfono: 01 593 914 18 00, 01 593 914 18 01 Fax: 01 593 914 17 99
Concretos Cruz Azul, S.A. de C.V.	Planta 19-Guadalajara Pruebas de Concreto	Periférico Poniente No. 2377, Col. San Juan de Ocotlán, C.P. 45110 Zapopan, Jalisco Teléfono: 01 333 110 03 66 Fax: 01 33 31 10 17 02
Laboratorio PLASARI,	Laboratorio PLASARI.	Huerta No. 202, Col. Rancho La

LABORATORIOS		
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
S.A. de C.V.	Pruebas de Concreto	Florida, C.P. 37120 León, Guanajuato Teléfono: 01 477 781 11 00, 01 477 781 07 60 Fax: 01 477 781 07 63, 01 477 781 04 15
Laboratorio de Ingeniería Experimental y de Control, S. de R.L de C.V.	Laboratorio de Ingeniería Experimental y de Control Pruebas de Concreto	Prolongación Morelos No. 14, Col. Tulyehualco, C.P. 16700 México, D.F. Teléfono: 01 55 25 94 28 15 Fax: 01 55 21 61 47 72
Latinoamericana de Concretos, S.A. de C.V.	Laboratorio de Control de Calidad. Pruebas de Concreto, Pruebas de Agregados.	Av. Prolongación San Antonio No. 705, Col. Lomas de Becerra, C.P. 01280 México, D. F. Teléfono: 54 82 31 00 Fax: 54 82 31 02
Compañía Mexicana de Servicios Técnicos y Laboratorios de Materiales, S.A. de C.V.	Laboratorio de Geotecnia Pruebas de Geotecnia	Mariano Azuela No. 29, Col. Santa María La Ribera, C.P. 06400 México. F. Teléfono: 55 41 60 40 Fax: 55 41 60 40

CONCLUSIONES:

De acuerdo al estudio realizado, se puede concluir que la industria del cemento nacional se caracteriza por ser una de las plantas industriales más eficientes del país, pues el 99% tiene hornos de vía seca, además por ser tan competitiva como las mejores del mundo. Teniendo que el total del cemento que consumimos en México es producido por seis empresas con 30 plantas distribuidas a lo largo del territorio nacional.

Además el cemento contribuye en forma directa con su producción y en forma indirecta como insumo de diversas actividades económicas, se considera que la industria del cemento representa el 5.1% del Producto Interno Bruto de México y es el segundo productor de cemento en Latinoamérica. El sector de la construcción contribuye con el 6.8% PIB. La demanda del cemento nos dio un indicio en el crecimiento de la economía, ya que las economías que aumentan su producción requieren desarrollar infraestructura para continuar con el crecimiento.

Considerando todos los factores antes mencionados, podemos decir que el cemento mexicano es altamente competitivo con otros países, el hecho de que sea competitivo nos garantiza su calidad y por ello es que la aplicación de la normatividad es el factor primordial para asegurar cada uno de sus procesos, métodos y productos. Esto permite que las industrias estén basadas en un estándar, y garantizar que todos aquellos productos que nos puedan ofrecer las diversas empresas nos de la confianza de que el fin para el cual lo adquirimos cubrirá nuestras necesidades.

Adicionado a esto el desarrollo que se ha realizado en los últimos años en esta industria, es gracias a la tecnología e investigaciones que llevan a cabo cada una de las empresas logrando así un avance en cada uno de los materiales que se utilizan para la fabricación del cemento, ya que el proceso y etapas para lograr la obtención del cemento es complicado y sobre todo el dar constantemente un seguimiento arduo que permita controlar todos aquellos factores que podrían afectar el desempeño del proceso y con ello el producto final. Por ello en este trabajo se habló de todas aquellos factores que intervienen en la fabricación del cemento y que no solo contempla el proceso de obtención del cemento, sino también desde el lugar de donde se extraen las materias primas hasta donde se almacena y transporta.

BIBLIOGRAFÍA:

Sonja S. Singer. Enciclopedia De La Química Industrial- Tomo 9- Cerámica Industrial 9° Edición, URMO, México. 2005

H.F. W Taylor. Enciclopedia De La Química Industrial Vol. 1 La Química De Los Cementos. 1° Edición, URMO, México 2004.

NMX-C-414-ONNCCE-2004 “Industria De La Construcción-Cementos Hidráulicos-Especificaciones Y Métodos De Prueba”

NMX-C-021-ONNCCE-2004 “Industria De La Construcción –Cemento Para Albañilería (Mortero)-Especificaciones Y Métodos De Prueba”

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SCFI-1993, Productos Preenvasados-Contenido Neto Tolerancias Y Métodos De Verificación

NMX-C-059-ONNCCE-2006 “Industria De La Construcción-Cementos Hidráulicos-Determinación Del Tiempo De Fraguado De Cementantes Hidráulicos (Método De Vicat)”

NMX-C-273-ONNCCE-2001 “Industria De La Construcción-Cemento-Determinación De La Actividad Hidráulica De Las Adiciones Con Cemento Portland Ordinario”

Bailey H., Hancock D.W, **Curso Básico De Construcción, Volumen: 1** 4ª. Edición, Limusa, México, D.F. 2005.

D.K Ching Francis, Adams Cassandra, **Guía De Construcción Ilustrada**, 1ª Edición Limusa, México, D.F. 2006.

Mayor González Gerardo, **Teoría Y Problemas De Los Materiales Para Construcción**, Mac Graw Hill, México, D.F. 1994.

Arq. Barbará Z. Fernando, **Materiales Y Procedimientos De Construcción, Tomo: 2**, Herrero S.A. De C.V., México, D.F. 1986.

Ben C. Gewick Jr., **Construcción De Estructuras De Concreto Reforzado**, Limusa, México, D.F. 1978.

Witold Brostow, Introducción **a la ciencia de los materiales**, 3ª edición, Limusa. México 1981.

Pitman A, Neville AM, **Properties of Concrete**, International Text, London 1977.

Brant AM **Cement Based, Composites, Materials, Mechanical, Properties And Performance**, Spoon, London 1995.

Addleson, Lyall, Rodríguez Cano, Vega González, Materiales Para Construcción Volumen 1, **Reverte, Barcelona 1991**.

Addleson Lyall, Dr. Fuerster M, **Materiales De Construcción**, Nacional, México D.F. 1996.

Keyser Carl A., Ciencias **De Materiales Para Ingenieros**, Limusa, México D.F. 1982.

Czernin, Wolf Gang, La **Química Del Cemento**, Limusa, México, D.F. 1982.

Piña Pérez Cira **Panorama de la cerámica** Cuadernos de Posgrado, 35, Facultad de Química. UNAM. 1995.

[Http://www.canacem.org.mx](http://www.canacem.org.mx), Cámara Nacional del Cemento, 2007.

[Http://www.economia.gob.mx](http://www.economia.gob.mx), Secretaria de Economía, 2006.

[Http://www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx), Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2009.

[Http://www.cemexmexico.com](http://www.cemexmexico.com), Cementos De México. 2010.

[Http://www.holcim.com.mx](http://www.holcim.com.mx), Holcim Apasco, 2008.

[Http://www.cmoctezuma.com.mx](http://www.cmoctezuma.com.mx), Cementos Moctezuma, 2010.

[Http://www.cruzazul.com.mx](http://www.cruzazul.com.mx), Cooperativa Cruz Azul 2010.

<http://www.gcc.com>, Grupo Cementos Chihuahua, 2010.

GLOSARIO:

ACABADOS: Conceptos finales de la obra; como aplanados de pasta o yeso, pisos, pintura, colocación de azulejos y revestimientos.

ADITIVOS: Es un producto químico que se dosifica en baja proporción en el concreto, para modificar alguna de sus propiedades y adecuarlo a el fin que se destine.

AGREGADO: Material pétreo granulado, tal como la arena natural o la grava. Representa aproximadamente del 60 al 75% del volumen total del concreto.

ARCILLA: Tierra natural relativamente suave, que por su abundante cantidad de silicatos, es la segunda materia prima en importancia para la elaboración del cemento.

BLAINE: Parámetro que define la finura del cemento en términos de cm^2 para cada gramo de muestra que tiene relación directa con el desarrollo de su resistencia. Ejemplo: Un Blaine de 3000 cm^2/g significa que la suma de las superficies de todas las partículas de un gramo de esta muestra puede cubrir un área de 3000 cm^2 .

CAL LIBRE: Se presenta en el clinker cuando no se ha tenido una calcinación completa o se tuvo una molienda insuficiente de la arena cruda, provoca expansión.

CALCINACIÓN: Proceso al que se somete la materia prima del cemento exponiéndola a temperaturas de hasta 1,400 grados centígrados de donde se obtiene el material al que se denomina clinker.

CALIZA: Piedra dura, muy abundante en la naturaleza, es rica en calcio y es la materia prima más importante para la fabricación del cemento.

CEMENTO: Conglomerante hidráulico que mezclado con agregados pétreos y agua crean una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al mezclar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo.

CEMENTANTE: Cualquier producto que tenga la capacidad de unir piezas entre sí mismas, por ejemplo, el cemento portland, el asfalto, las resinas, etc.

CEMENTO BLANCO: Es un cemento portland de alta calidad que difiere del cemento gris exclusivamente por su color, es fabricado con cantidades mínimas de oxido de hierro y magnesio, sustancias que dan color al cemento gris.

CEMENTO PORTLAND: Cemento hidráulico producido con clinker portland y yeso natural.

CENIZAS VOLANTES: Puzolana artificial, similar al polvo de cemento, que resulta de la combustión del carbón mineral pulverizado, en las plantas generadoras de electricidad.

CIMBRA: Molde temporal para el concreto fresco, que se retira una vez que el concreto logra la resistencia suficiente para sostenerse a sí mismo.

CLINKER: Piedra oscura y densa que se obtiene de la calcinación, y a alta temperatura, de la caliza y la arcilla finamente molida e íntimamente mezcladas.

CONCRETO: Es una mezcla de cemento como un medio aglutinador y agregados finos (arenas) y gruesos (gravas) y agua. Normalmente contiene aire atrapado, se usa para trabajos estructurales.

CONCRETO ARMADO: Concreto con acero de refuerzo destinado para elementos estructurales (trabes, losas, columnas, etc.).

CONCRETO PREMEZCLADO: Este concreto se dosifica y se mezcla, fuera del sitio de la obra y se entrega en el área de construcción en estado fresco y sin endurecer.

CORRECTORES: Minerales naturales que se adicionan en cantidades pequeñas en la elaboración del cemento para lograr conseguir alguna meta específica que no se podría lograr con las materias primas normales.

CURADO: Tratamiento posterior al colado, vibrado y acabado del concreto fresco, para asegurar la disponibilidad de agua que permita el progreso de las reacciones entre el cemento y el agua.

DURABILIDAD: Capacidad que tiene la obra para resistir la acción del clima, el ataque químico, abrasión y otras condiciones de servicio, a que está expuesta.

FINURA DEL CEMENTO: Tamaño de las partículas del cemento, las cuales pueden ser desde 60 hasta 1 micra (MICRA: Milésima de milímetro).

FRAGUADO: Periodo en el cual se genera un cambio de un estado plástico, trabajable de la mezcla, a un estado de reagudización.

MOLINO: Equipo cilíndrico, giratorio, de acero en cuyo interior se aloja una carga de bolas metálicas de diferentes diámetros que muelen las materias primas ya dosificadas.

PASTA DE CEMENTO: Constituyente del concreto que está formado por cemento y agua.

PLASTICIDAD: Propiedad de la pasta de cemento, concreto o mortero recién mezclados que determina su facilidad de moldeado.

PUZOLANAS: Material natural o artificial amorfo, silicoso capaz de reaccionar con la cal que libera el cemento durante su hidratación para mejorar las propiedades del concreto, la puzolana más popular es la piedra poma.

SANIDAD: Capacidad de la mezcla de conservar su volumen original, durante su paso del estado fresco al endurecido, sin que se contraiga o expanda.

SULFATOS: Sales de azufre, abundantes en los suelos y aguas naturales, así como en los desechos industriales, domésticos o municipales. Estos compuestos químicos pueden dañar considerablemente la durabilidad del concreto.

TRABAJABILIDAD: La propiedad de la mezcla de concreto que determina su facilidad de ser moldeada, colada y acabada.

YESO: Piedra natural muy suave, de color blanco y rica en sulfatos de calcio que, en pequeña proporción, se adiciona en la fabricación del cemento; actúa como retardador del fraguado.

ANEXOS

De acuerdo a la norma NMX-C-021-ONNCCE-2004 que habla sobre INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA; Este producto es llamado también cemento para albañilería desde sus inicios se ha conocido también con el nombre de mortero, esta denominación ha permanecido más por tradición que por tratarse de alguna palabra con origen técnico.

Aprovechando el proceso de modernización que está viviendo México en el tema de normalización, se ha querido corregir el nombre de este producto, por el nombre que se le da internacionalmente el cual es "cemento para albañilería".

Tomando en cuenta la norma NMX-C-021-ONNCCE-2004, de INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA; tenemos las siguientes definiciones:

Cemento para albañilería (mortero): Piedra caliza, arcilla, puzolana, escoria granulada de alto horno, ceniza volante y yeso. A criterio del productor puede incorporarse además, como auxiliares de la molienda o para impartir determinadas propiedades, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto.

El cemento para albañilería al mezclarse con arena y agua, produce morteros con características especiales que son utilizados para el pegado de tabiques, enjarres, repellados, aplanados, trabajos decorativos, etc.

Mortero: Es el material formado por un cemento hidráulico finalmente pulverizado, que agregar agua y arena, tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida que adquiere resistencia mecánica con el paso del tiempo hasta un punto máximo.

Tomando en cuenta la NORMA MEXICANA NMX-C-021-ONNCCE-2004 QUE HABLA SOBRE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA; El cemento que se mantiene seco conserva todas sus características, almacenado en latas estancas o en ambientes de temperatura y humedad controlada, su duración será indefinida. En las obras se requieren disposiciones para que el cemento se mantenga en buenas condiciones por un espacio de tiempo determinado, lo esencial

es conservar el cemento seco, para lo cual debe cuidarse no sólo la acción de la humedad directa sino además tener en cuenta la acción del aire húmedo.

En obras grandes o en aquellos casos en que el cemento deba mantenerse por un tiempo considerable se deberá proveer una bodega, de tamaño adecuado Sin aberturas ni grietas, que pueda mantener el ambiente lo más seco que sea posible.

Marcado y etiquetado de envasado: Cuando el cemento para albañilería se entrega en sacos debe indicarse en forma clara e indeleble los datos siguientes:

- Nombre o denominación genérica del producto
- Denominación o razón social
- Domicilio fiscal
- Leyenda "HECHO EN MÉXICO" o el nombre del país de origen
- Marca registrada
- Indicación de cantidad en kilogramos o en toneladas
- Nombre y/o ubicación de la planta productora
- Cumplimiento con esta norma

Cemento a Granel

Cuando el cemento para albañilería se entrega en un envase de cualquier naturaleza y cuyo contenido puede ser variable, se debe incorporar en la factura o remisión la siguiente información:

- Nombre o denominación genérica del producto
- Denominación razón social
- Domicilio fiscal
- Leyenda "HECHO EN MÉXICO" o el nombre del país de origen
- Marca registrada
- Indicación de cantidad en kilogramos o en toneladas
- Nombre y/o ubicación de la planta productora
- Cumplimiento de esta norma

De acuerdo a la NORMA MEXICANA NMX-C-021-ONNCCE-2004 que habla sobre INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA-ESPECIFICACIONES Y

MÉTODOS DE PRUEBA, Tenemos algunas descripciones generales de las pruebas físicas del cemento.

Determinación de las características Físicas del Cemento:

Preparación de la muestra de cemento: La muestra que se quiere estudiar es en general una muestra media. Debe ser representativa del lote al cual pertenece; debe ser por ello, extraída de diferentes puntos de este lote. Las tomas, cuya masa total no debe pasar de algunos kilogramos son juntadas y homogenizadas.

Se recomienda hacerlas pasar, previamente, por un tamiz cuya abertura de malla es de 1 mm a fin de eliminar los grumos, causados por la humedad y los residuos accidentales del machaqueo (trozos de bolas etc.).

La cantidad total de cemento se pasa a continuación por un homogeneizador de paletas o bien se mezcla sobre una mesa con una paleta. Es necesario tener cuidado en ambos casos de no perder los elementos más finos que tienden a escaparse.

Determinación de la densidad del cemento

Existen dos métodos corrientes para medir la densidad del cemento el primero emplea el volumenometro de LE CHATELIER, el segundo el picnómetro

De acuerdo con la norma NOM-002-SCFI establece las tolerancias y los métodos para la verificación de los contenidos netos de productos pre envasados y los planes de muestreo usados en la verificación de productos que declaran su contenido neto en unidades de masa o volumen.

Se aplica tanto a productos de Fabricación Nacional como de Importación que se comercialicen en Territorio Nacional. Las tolerancias para fines de la comprobación del contenido neto de los productos pre envasados, se fijan las tolerancias.

La verificación del contenido neto de productos pre envasados indica que se debe efectuar mediante muestreo aleatorio, tomando muestras por duplicado. Cada muestra estará compuesta por el número de unidades que se establece. En el caso de que el lote de productos que se

verifique sea mayor de 500 000 unidades, las cantidades excedentes se considerarán como integrantes de otro lote, al cual se le aplicarán las mismas reglas.

Estos son de acuerdo a la NORMA MEXICANA NMX-C-273-ONNCCE-2001 que nos habla de LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CEMENTO-DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD HIDRÁULICA DE LAS ADICIONES CON CEMENTO PORTLAND ORDINARIO materiales a ensayar y materiales auxiliares para la construcción y su resistencia a la compresión.

Cemento Portland Ordinario.: Es el cemento producido a base de clinker Portland y usualmente contiene sulfato de calcio.

Cemento Portland puzolánico.: Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, materiales puzolánicos y usualmente contiene sulfato de calcio.

Cemento Portland con escoria granulada de alto horno: Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, escoria granulada de alto horno y usualmente contiene sulfato de calcio.

Cemento Portland con humo de sílice: Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, humo sílice y usualmente sulfato de calcio.

Cemento con escoria granulada de alto horno: Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, escoria granulada de alto horno y usualmente sulfato de calcio.

Cemento resistentes a sulfatos: Se consideran cemento con una alta resistencia al ataque de sulfatos aquellos que por su comportamiento cumplen con el requisito de expansión limitada, de acuerdo con el método de prueba establecido.

Cementos de baja reactividad álcali-agregado: Se consideran cementos de baja reactividad álcali-agregado, de acuerdo con el método de prueba establecido.

Cementos de bajo calor de hidratación: Se consideran cementos de bajo calor de hidratación aquellos que desarrollan un calor de hidratación igual o inferior al especificado en la norma oficial mexicana.

Cementos blancos: Se consideran cementos blancos todos aquellos cuyo índice de blancura es igual o inferior al especificado en la norma oficial mexicana.

- Tipo I: Se usa para proyectos de construcción en general.
- Tipo II: Para un concreto que estará expuesto a un suelo o aguas cuyo contenido de sulfatos pueda potencialmente dañar al proyecto.
- Tipo III: Se usa para proyectos como carreteras, que requieren de un endurecimiento rápido debido a su uso frecuente o por sus características especiales de construcción.
- Tipo IV: Se usa en climas cálidos o para proyectos masivos de concreto que requieren un endurecido uniforme.
- Tipo V: Se usa para proyectos tales como cortinas de presas que están expuestos a altos niveles de sulfatos.

En México la clasificación de los tipos de cemento está regida por la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999 (INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN- CEMENTOS HIDRÁULICOS-ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA", misma que entró en vigor a partir del 19 de Octubre de 1999), Tablas 9,10 y 11.

Cemento Hidráulico: Es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua (ya sea solo o mezclado con arena, grava o asbesto u otros materiales similares), tienen la propiedad de fraguar y endurecer incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad

De acuerdo a su resistencia el cemento puede ser: La resistencia normal de un cemento es la resistencia mínima mecánica a la compresión cierto número de días (Newton/mm²)

Clase resistente: Dado que la resistencia a la compresión es en términos generales la propiedad más importante para la mayoría de los usuarios, esta nueva norma hace énfasis sobre los valores que en este sentido debe cumplir los cementos producidos en México, definiendo cinco clases resistentes. La clase resistente de un cemento se indica con los valores 20, 30 y 40. Si alcanza una resistencia rápida se añadirá la letra "R" en las clases 30R y 40R. A continuación se da una clasificación de los tipos de cemento de acuerdo a lo establecido en la norma NMX-C-414-

ONNCCE-2004 "Industria de la Construcción-Cementos Hidráulicos-Especificaciones y Métodos de Prueba" en cuenta sus características principales y para qué son recomendados tomando en cuenta sus principales componentes y sus propiedades específicas.

- Clases resistentes: Los cementos se clasifican por su resistencia a la compresión, en cinco clases.
- Características Especiales: Los cementos se clasifican por sus características especiales, de acuerdo a lo especificado.
- Designación normalizada: Los cementos se deben identificar por el tipo y la clase resistente. Si el cemento tiene especificada una resistencia a 3 días se añadirá la letra R (resistencia rápida). En el caso de que un cemento tenga alguna de las características especiales, su designación se completa de acuerdo con la nomenclatura; de presentar dos o más características especiales, la designación se hace siguiendo el orden descendente, separándolas con una diagonal.

Ejemplo 1: Un cemento Portland Ordinario de clase 30 con resistencia especificada a 3 días; se identifica como: Cemento CPO 3 R

Ejemplo 2: Un cemento Portland Compuesto, de clase 30, con resistencia especificada a 3 días y resistencia a los sulfatos, se identifica como: Cemento CPC 30 R RS

Ejemplo 3: Un cemento Portland puzolánico de clase 30, de baja reactividad álcali agregado y bajo calor de hidratación, se identifica como: Cemento CPP 30 BRA/BCH

Ejemplo 4: Un cemento Portland ordinario de clase 30, con resistencia especificada a 3 días y blanco, se identifica como: Cemento CPO 30 R B

De acuerdo a lo establecido en la norma NMX-C-414-ONNCCE-2004, los cementos se van a diferenciar por su clase resistente y la característica en especial que nos puede proporcionar, no obstante en el mercado existen diversos tipos de cementos los cuales detallamos en la siguiente tabla 14, las características principales y el uso de estos.

Tabla 14. Tipos de cemento.

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
Cemento Portland Ordinario	Componente principal, el clinker, y que puede llevar alguna adición o mezcla de ellas.	Excelente para construcciones en general, zapatas, columnas, travesaños, castillos, dalas, muros, losas, pisos, pavimentos, guarniciones, banquetas, etc. Ideal para la elaboración de productos prefabricados (Tabicones, adoquines, bloques, postes de luz, lavaderos, balaustradas, piletas etc.
Cemento Portland Compuesto	Presenta excelente durabilidad en prefabricados para alcantarillados y a los concretos les proporciona una mayor resistencia química y menor desprendimiento de calor. Compatible con todos los materiales de construcción.	Se recomienda especialmente para prefabricados como: bloques, viguetas, bovedilla, tabicones y adoquines. edificios., pisos, pavimentos, carreteras., aeropistas, postes.
Cemento Portland Puzolánico	Diseñado para la construcción sobre suelos salinos. El mejor para obras expuestas a ambientes químicamente agresivos. Alta durabilidad en prefabricados para alcantarillados.	Construcción de zapatas, pisos, columnas, castillos, dalas, muros, losas, pavimentos, guarniciones, banquetas, muebles municipales (Bancas, mesas, fuentes, escaleras), etc.
Cemento Portland con escoria	Componentes principales, clinker en proporción comprendida entre 80% y 94% y escoria de horno alto en proporción comprendida entre 6% y 10%; o clinker en proporción comprendida entre 65% y 79% y escoria de horno alto en proporción comprendida entre 21% y 35%. Puede llevar hasta un 5 % de otra adición o mezcla de	Puede utilizarse en cualquier tipo de construcción y es especialmente recomendado cuando se tiene un ataque moderado de sulfatos.

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
	ellas.	
Cemento Portland con humo de sílice	Componentes principales, clinker en proporción comprendida entre 90% y 94% y humo de sílice en proporción comprendida entre 6% y 20%. Puede llevar hasta un 5% de otra adición o mezcla de ellas.	Obras de concreto en masa y armado. Pavimentaciones y cimentaciones. Morteros en general. Prefabricación con tratamientos higrotérmicos. Obras en las que se requiera impermeabilidad, a condición de que la dosificación sea la adecuada.
Cemento Portland Ordinario Blanco	Alta resistencia a la compresión tiene los mismos usos estructurales que el cemento gris. Este producto puede pigmentarse con facilidad.	Excelente para obras ornamentales o arquitectónicas como fachadas, monumentos, lápidas, barandales, escaleras, etc. Gran rendimiento en la producción de mosaicos, terrazos, balaustradas, lavaderos, W.C. rurales, tirolés, pegazulejos, junteadores, etc.
Cemento Portland Ordinario Resistente a los Sulfatos	Proporciona mayor resistencia química para concretos en contacto con aguas o suelos agresivos (aguas marinas, suelos con alto contenido de sulfatos o sales)	Recomendable para la construcción de presas, drenajes municipales y todo tipo de obras subterráneas.
Cemento de endurecimiento rápido	Está molido más finamente. Adquiere resistencia con mayor rapidez.	El uso de este cemento en el concreto permite descimbrar más pronto, y su mayor calor de hidratación lo hace muy adecuado cuando se cuela el concreto en tiempo frío.
Cemento de endurecimiento ultra rápido	Está molido con mayor finura, lo que le confiere una tasa excepcional de desarrollo de resistencia.	Para la obturación de fuertes filtraciones o vías de agua previamente a un tratamiento de impermeabilización, localizadas en: hormigón, albañilería, roca, etc.
Cemento con alto contenido de alúmina	Altamente resistente a la acción de los sulfatos.	Lo hace adecuado para usarse en lugar del cemento resistente a los sulfatos y del cemento súper sulfatado, no es recomendable

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
		utilizarlo en concretos en donde la humedad y las altas temperaturas ocurran simultáneamente.
Cemento resistente a los sulfatos	El cemento resistente a los sulfatos contiene menos aluminato tricalcio (C3A),	Puede ser utilizado con seguridad en los lugares donde existan concentraciones de sulfatos
Cemento súper sulfatado	Este cemento contiene menor cantidad de aluminato tricalcio C3A	Se utiliza en concreto para cimientos donde estén presentes altas concentraciones de sulfatos solubles.
Cementos blancos	Tienen un módulo de fundentes muy alto, aproximadamente 10. Contienen un porcentaje bajísimo de Fe ₂ O ₃ . La reducción del Fe ₂ O ₃ es compensada con el agregado de fluorita (CaF ₂) y de criolita (Na ₃ AlF ₆), necesarios en la fase de fabricación en el horno.	Se emplean en prefabricados de hormigón y a veces en edificios de "hormigón visto" (esto es: que no tienen posteriores revestimientos de acabado).se utilizan para sellar las juntas de azulejos o de baldosas de suelo.
Cementos de mezclas	Los cementos de mezclas se obtienen agregando al cemento Portland normal otros componentes como la puzolana.	
Cemento puzolánico	Contiene aproximadamente: 55-70% de clinker Portland ,30-45% de puzolana y 2-4% de yeso	Adecuado para ser usado en climas particularmente calurosos o para coladas de grandes dimensiones.
Cemento siderúrgico	Tiene alta resistencia química, de ácidos y sulfatos, y una alta temperatura al fraguar. Cuenta con una elevada alcalinidad natural, que lo rinde particularmente resistente a la	Obras de concreto en masa, incluso de gran volumen, que requieran de un bajo calor de hidratación.

TIPO DE CEMENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	USOS RECOMENDADOS
	corrosión atmosférica causada por los sulfatos.	
Cemento de fraguado rápido	Se caracteriza por iniciar el fraguado a los pocos minutos de su preparación con agua.	Es apropiado para trabajos menores, de fijaciones y reparaciones, no es apropiado para grandes obras porque no se dispondría del tiempo para efectuar una buena colada.
Cemento aluminoso	Se produce a partir de la bauxita con impurezas de óxido de hierro (Fe ₂ O ₃), óxido de titanio (TiO ₂) y óxido de silicio (SiO ₂). Adicionalmente se agrega calcáreo o bien carbonato de calcio.	Utilizado para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, etc.
Mortero	Fabricado con cemento y puzolana, lo que le da una capacidad reaccionante dando así excelentes propiedades mecánicas, como lo es la resistencia a la compresión, hidráulica, trabajabilidad (por su plasticidad y fraguado), contracciones y expansiones nulas.	

Propiedades físicas y químicas del cemento

De acuerdo a la NORMA MEXICANA NMX-C-021-ONNCCE-2004, sobre INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA-ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA, algunas de las propiedades físicas del cemento son mostradas en la Tabla 15.

Tabla 15. Propiedades físicas del cemento.

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
	Definida como la medida o tamaño de las partículas que componen el cemento; expresada en cm ² /gr. lo cual llamamos

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
FINURA	<p>superficie de contacto o superficie específica. La finura del cemento es su característica física principal, ya que como las reacciones de hidratación se producen en la superficie de los granos, sucede que cuanto más pequeño son éstos, más rápido es el desarrollo de la resistencia así, un cemento de alta resistencia inicial puede obtenerse con sólo moler más fino el mismo clínker de un cemento corriente.</p> <p>La finura de la molienda influye también en el calor de hidratación, que se desarrolla más rápidamente en los cementos más finos. La mayor finura confiere mayor trabajabilidad al hormigón a igual dosis de agua; en esas condiciones los cementos más finos tienen el inconveniente de su mayor retracción, pero ésta queda compensada en la práctica, pues a igual trabajabilidad exigen menos agua, y ésta influye en la retracción.</p> <p>Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días.</p>
EXPANSIÓN AUTOCLAVE	<p>Se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad es provocada por un exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia.</p>
CONSISTENCIA NORMAL	<p>Al agregar agua al cemento se produce una pasta (cemento más agua), contiene fluidez a medida que se le va aumentando el contenido de agua. La consistencia normal es un estado de fluidez alcanzado por la pasta del cemento que tiene una propiedad óptima de hidratación. Se expresa como un porcentaje en peso o volumen de agua con relación al peso seco del cemento.</p> <p>$W \text{ agua} / W \text{ cemento} = \% \text{ Consistencia Normal.}$</p>
	<p>El fraguado se define como el cambio de estado físico que sufre una pasta desde la condición blanda hasta la rigidez. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final tampoco debe ocurrir</p>

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
TIEMPO DE FRAGUADO	demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influyen sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua-cemento, y los aditivos usados. Los tiempos de fraguado de los concretos no están relacionados directamente con los tiempos de fraguado de las pastas debido a la pérdida de agua en el aire (evaporación) o en los lechos y debido a las diferencias de temperatura en la obra en contraste con la temperatura controlada que existe en el laboratorio.
RESISTENCIA MECÁNICA - FLEXIÓN Y COMPRESIÓN	Los cementos deben ser capaces de conferir resistencias iguales o superiores a las determinadas por las normas, en probetas preparadas con un mortero cuyos componentes, fabricación, conservación y ensayos están normalizados.
PÉRDIDA POR CALCINACIÓN	La pérdida por calcinación del cemento se determina calentando una muestra de cemento de peso conocido a 900 °C a 1000 °C hasta que se obtenga un peso constante. Se determina entonces la pérdida en peso de la muestra. Normalmente una pérdida por calcinación elevada indica prehidratación y carbonatación, que pueden ser causadas por un almacenamiento prolongado e inadecuado o por adulteraciones durante el transporte y la descarga.
PESO ESPECÍFICO	El peso específico expresa la relación entre la muestra de cemento y el volumen absoluto. Peso específico = m / V absoluto. Donde; m = muestra del cemento, V absoluto = Volumen de la materia sólida.

Preparación y acondicionamiento de las muestras: Prepare una pasta de cemento de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NMX-C-057-ONNCCE

PROCEDIMIENTO: Determinación de los tiempos de fraguado: Una vez hecha la probeta, se coloca inmediatamente en el gabinete o cuarto húmedo. Después de permanecer 30 min en el

cuarto húmedo, se determina la penetración de la aguja de 1 mm de diámetro del aparato de Vicat y posteriormente cada 15 min, hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menor.

Determinación de la penetración: Para la determinación de la penetración, se baja la barra B hasta que la aguja D quede en contacto con la superficie de la pasta, en este punto fije la barra B con el tornillo E. Luego coloque el indicador F a una lectura cero en la escala, o tome una lectura inicial. Afloje el tornillo E, con lo que la barra queda suelta y cae sobre la superficie de la pasta en la cual penetra, a los 30 s de haber caído se aprieta el tornillo E y se toma la lectura en la escala para determinar la penetración de la aguja. La barra debe soltarse aflojando el tornillo E y caer libremente cuando se efectúen las determinaciones de tiempo de fraguado. Las penetraciones no deben efectuarse a una distancia menor a 5 mm una de otras y ninguna de ellas se hará a una distancia menor a 10 mm de la parte interior del molde.

Precauciones: Durante todo el ensayo el aparato debe estar libre de toda vibración. La aguja de penetración debe siempre estar recta y limpia, ya que el cemento adherido a la aguja causa que las penetraciones no se hagan adecuadamente y las lecturas obtenidas sean erróneas.

El tiempo de fraguado es afectado por el porcentaje y la temperatura del agua empleada, por el grado de amasado que se le dé a la pasta y por la temperatura y humedad del ambiente, por lo tanto el control de estas variables es fundamental en la realización del ensayo.

Cálculo y expresión de resultados: Se registran todas las lecturas de las penetraciones y por interpolación se determina el tiempo correspondiente a la penetración de 25 mm; este es el tiempo de fraguado inicial. El tiempo de fraguado final es aquel en el que la misma aguja no penetra visiblemente en la pasta.

Repetibilidad y reproducibilidad: La desviación estándar entre un mismo operador se ha encontrado que es 12 min para el tiempo de fraguado inicial dentro del rango de 50 min a 200 min para el tiempo de fraguado final dentro del rango de 185 min a 312 min.

El resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por un mismo operador a la misma muestra, el tiempo de fraguado no debe diferir en más de 34 min para el fraguado inicial y no más de 56 min para la determinación del fraguado final. La desviación estándar de ensayos entre diferentes laboratorios se ha encontrado que es de 16 min para el tiempo de fraguado inicial dentro del rango de 50 min a 200 min y 43 min para el tiempo de fraguado final dentro del rango de 185 min a 312 min. El resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por diferentes laboratorios a la misma muestra, el tiempo de fraguado no debe diferir en más de 45 min para el fraguado inicial y no más de 122 min para la determinación del fraguado final.

Informe de resultados: El informe de resultados debe contener como mínimo la siguiente información: El reporte del tiempo de fraguado inicial y fraguado final con aproximación al minuto

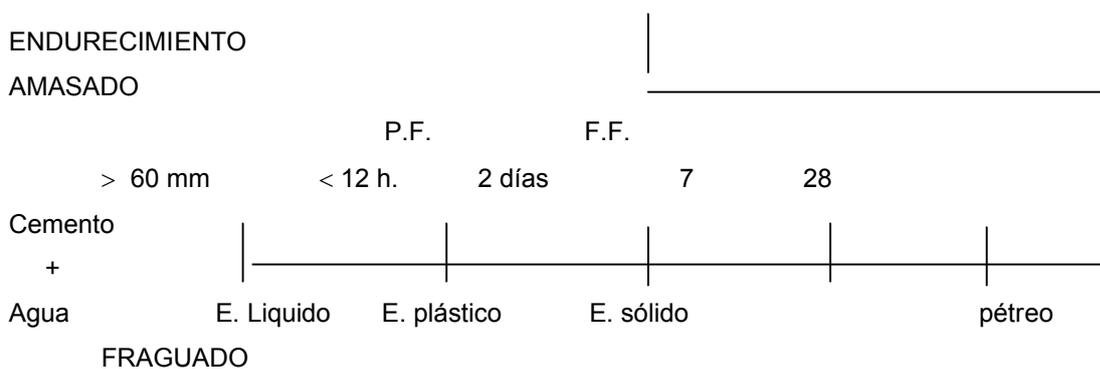
Endurecimiento: Sin solución de continuidad pero separado convencionalmente del fraguado, tiene un tiempo de solape y se define como “la progresiva adquisición de resistencias mecánicas”. Las partículas se aprietan entre sí por interposición de cristales y adherencia coloidal, dependiendo entonces el mayor o menor grado de resistencia de las películas coloidales y el gel microcristalino, es decir, de los silicatos C3S y C2S.

El agua penetra poco a poco hacia el interior de los gránulos minerales hidratándose, produciéndose a la vez el fenómeno de retracción de la pasta y la adherencia del conjunto.

La duración del endurecimiento es indefinida, aunque se considera finalizado a los 28 días en la mayoría de los cementos y en algún caso a los 90 días. Esta duración es más corta en cementos finamente molidos y que han sido cocidos y enfriados adecuadamente.

El endurecimiento se ve perjudicado por el exceso de agua de amasado, la existencia de materias orgánicas e inorgánicas en el agua o el árido y por las condiciones atmosféricas. El frío lo retrasa, llegando a interrumpirse con la helada y el calor lo acelera pero le roba el agua, por lo que se debe curar de forma continua.

El esquema de tiempos de hidratación en su conjunto es el siguiente:



Características Físicas y Mecánicas: Este tema lo planteamos en dos partes diferenciadas, en la primera de ellas trataremos de analizar la estructura del cemento y la pasta que se obtiene al mezclarlo con agua, así como los procesos de hidratación de sus constituyentes. El objetivo final es el de exponer los conceptos básicos que puedan explicar el comportamiento de la pasta de cemento y su fraguado y en consecuencia los efectos oportunos en el hormigón.

Finura de molido: El valor de la finura de un cemento decide la calidad de este en el sentido más amplio, de modo que cuanto más elevado sea el grado de finura del aglomerante acabado corresponderá una mayor superficie de exposición (superficie esférica) a las reacciones de hidrólisis y por tanto a un mayor desarrollo de resistencias y poder hidráulico.

La influencia que el tamaño de grano de las partículas de clinker tiene sobre el valor de las resistencias es de gran interés. La mayoría de los autores admiten que la fracción granulometría de un cemento de 3 a 30 micras es la que da lugar prácticamente al desarrollo de resistencias y que los cementos de altas resistencias iniciales requieren, como mínimo, un 10% entre 0 y 3 micras.

En contrapartida un aumento excesivo de finura exige un mayor control de la utilización para evitar posibles fisuraciones.

La determinación de la finura de un cemento se puede terminar mediante 3 métodos:

- Tamizado seco.
- Tamizado húmedo.
- Permeabilimetro Blaine.

El tamizado seco: consiste en determinar la cantidad de material retenido por el tamiz de 90 micras y expresar en tanto por ciento la muestra sometido a ensayo.