



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

7

Investigación Bibliográfica del Desarrollo y Proyección de la Industria del Cemento en México

M O N O G R A F I A

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

Q U E I M I C O
P R E S E N T A N

J O R G E P A D I L L A C H A V E Z

J O S E A L B E R T O R E Y E S S A N C H E Z

C L A R A T O R R E S C A M P O S

MEXICO, D. F.

1978



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

mt

323

~~321~~



A nuestra maestra con cariño:

Quím. Alicia Benitez de Altamirano
que con su paciencia y conocimientos
hicieron posible concluir este
trabajo.

A nuestra querida:

Facultad de Química por
habernos acogido en su
seno.

A todos los Maestros en reco-
nocimiento a su docencia.

PRESIDENTE PROF. ALICIA BENITEZ DE ALTAMIRANO

V O C A, L " ALBERTO OBREGON PEREZ

SECRETARIO " CIRA PIÑA PEREZ

1er. SUPLENTE " MARTHA RODRIGUEZ PEREZ

2do. SUPLENTE " JOSE VALENZUELA GUILLERMO

Sitio donde se desarrollo el tema

FACULTAD DE QUIMICA

Nombre completo y firma del sustentante

JORGE PADILLA CHAVEZ

JOSE ALBERTO REYES SANCHEZ

CLARA TORRES CAMPOS

Nombre completo y firma del asesor del QUIM. ALICIA BENITEZ DE ALTAMIRANO
tema

I N D I C E

	Pág.
<u>INTRODUCCION</u>	1
<u>CAPITULO I</u> ANTECEDENTES	3
1.1 Descubrimiento del cemen to e influencia en las - culturas.....	4
1.2 Origen de la industria - del cemento en México.....	9
<u>CAPITULO II</u> PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS.....	23
2.1 Composición	24
2.2 Tipos de cemento	41
2.3 Propiedades químicas, fí sicas y físico-químicas.....	55
<u>CAPITULO III</u> FABRICACION DEL CEMENTO	67
3.1 Equipo	68
3.2 Control de calidad de ma terias primas	120
3.3 Control de calidad de - producto terminado	124
<u>CAPITULO IV</u> INDUSTRIA DEL CEMENTO EN MEXI CO	134
4.1 (Localización) de Yaci- mientos de materias pri- mas. Capacidad de pro- ducción	135
4.2 Desarrollo de la indus- tria (Localización)	147
4.3 Tipos de cemento que se- producen. Capacidad de- producción	151
4.4 Tasa de crecimiento de la producción nacional	157
4.5 Proyección de la demanda al año 2000.	161

	Pág.
<u>CAPITULO V</u> INFORMACION DEL CONTENIDO DE- TESIS QUE HAY EN LA FACULTAD- DE QUIMICA	166
CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	174
BIBLIOGRAFIA	178

I N T R O D U C C I O N

La industria del cemento está considerada como básica en la economía de cualquier país, y dado que el cemento es un material indispensable en la construcción, al cual no se le ha podido sustituir sino únicamente en forma parcial, y considerando que México se encuentra en plena etapa de desarrollo, su demanda tiende a crecer. Se considera también, que debido a la abundancia de materias primas con que cuenta el país, para la fabricación del cemento este ocupa un lugar importante dentro de la producción mundial, misma que seguirá mejorando.

Estas razones fueron consideradas por los autores para la elaboración de este estudio bibliográfico aunados al hecho de que al efectuar la revisión de los trabajos presentados por otros compañeros de 1950 a la fecha, en los cuales se encontró valiosa información pero en forma parcial, dado que enfocan su atención a temas parciales, motivo la necesidad de reunir, complementar y actualizar estos datos en un solo trabajo.

Este trabajo contiene información sobre datos históricos, localización y abundancia de materias primas emplea-

das, proceso de fabricación, equipo utilizado, propiedades y control de calidad. Los datos estadísticos sobre producción, consumo, exportación e importación se refieren tanto a nuestro país como a otros países americanos relacionados con esta industria.

Se considero conveniente citar al final de este trabajo las referencias bibliográficas de las tesis que hay en la biblioteca de la Facultad de Química, sobre este tema.

C A P I T U L O I

ANTECEDENTES

A N T E C E D E N T E S

1.1 DESCUBRIMIENTO DEL CEMENTO E INFLUENCIA EN LAS CULTURAS

El nombre de cemento se cree deriva de CAEMENTUS que en latín significa (argamasa) y procede a su vez del verbo CAEDERE (precipitar).

Se desconoce la fecha de la aparición del primer material aglomerante, pero esto sin duda debió haber sucedido cuando el hombre usó el fuego en forma inteligente; encendió su fuego en un agujero rodeado de piedras calizas o yeso; las que con el calor se descarbonataron y deshidrataron desmoronándose en forma de polvo y mezclándose con las cenizas; luego con una ligera lluvia, las piedras quedaron sólidamente unidas entre sí, formándose la primera mampostería.

Este tipo de material se encuentra en algunas construcciones de origen egipcio y hebreo. La cal (piedra caliza) también se conoció en tiempos de Salomón y al parecer en este tiempo no se conocían los morteros, que fraguan por sí mismos, ni las cales hidráulicas (que necesitan del agua).

Los otomíes, toltecas y mayas en México, y los grie-

gos y romanos; en Europa, emplearon morteros hidráulicos en sus construcciones y aún hoy en día puede apreciarse en los restos de sus obras, que han perdurado a través de más de - 20 siglos.

Para la construcción de acueductos y puentes en arco, los romanos se basaban en un conocimiento real de la capacidad de compresión de la mampostería de concreto, y en función de tal capacidad, dimensionaban la estructura. Sin embargo, muy poco hicieron trabajar su concreto a tensión; - la posibilidad de reforzar una pieza de tal material con barras de acero no fue empleada en general, aún cuando, en algunas obras como en el Ponte Cestio en Roma, para aumentar la resistencia de los trozos de roca durante el proceso de construcción los unieron con ganchos y clavijas de hierro. - Para la repartición del agua en las casas-habitación se emplearon en general tubos metálicos, formados por láminas enrolladas en torno a una matriz. En muchos sitios se han encontrado restos de tubería de este tipo; lo más importante de esta forma de trabajo, es sin duda, la posibilidad de sujetar la tubería metálica a elevadas presiones con lo que se formaron eficientes sifones. Entre otros, pueden citarse el sifón del Emperador Domiciano, que soportaba más de - cuatro kilos por centímetro cuadrado de presión de agua, y el sifón construido en las cercanías de Altari, que trabajaba con una diferencia de nivel de 112 metros, resultando entonces su presión máxima de 11.2 kg/cm^2 .

El diámetro de esta última tubería era de unos - 10 cm; el espesor de la lámina empleada en formarla, de 1 - cm.

Sin embargo, más dignas de admiración son las obras-romanas de conducción de agua, acueductos construidos, salvando profundos valles, abriendo tajos en montañas y perfo-

rando túneles, todo lo cual se realizaba para mantener un -
gradiente hidráulico determinado. Las dimensiones medias -
de la sección del ducto pueden señalarse como un metro de -
ancho por dos de profundidad.

El abastecimiento del agua de ciudades se iniciaba -
casi siempre en una pequeña represa; el riego se garantiza -
ba por un eficiente sistema de canales o acueductos.

Son de citarse por estar aún en uso, los acueductos -
de Segovia, de Atenas y Constantinopla; ingenioso en grado -
sumo, fue el acueducto de Lyon, capital de las Galias, y -
construido a la manera romana; se tiene, fuera de Europa, -
el abastecimiento de Cartago.

La ciudad de Roma fue provista de once acueductos -
principales, el primero de ellos construido 321 años A. de -
C., el último, en torno al año 226 de nuestra era.

La gran extensión del Imperio Romano hizo necesaria, -
para administración y defensa, crear obras civiles perdura -
bles, carreteras y puentes principalmente, que permitiesen -
una comunicación ininterrumpida entre la capital y las pro -
vincias más alejadas. Mediante el desarrollo de una técni -
ca depurada, se realizaron construcciones en forma de arco -
de piedra labrada a partir principalmente del año 200 A. de
C. en todo el territorio romano. Entre otros se citan los -
siete puentes sobre el Tíber, fabricados con los caracterís -
ticos arcos semicirculares, de los cuales, si bien con algu -
na reparación posterior, existen seis en la actualidad.

(Los grandes constructores romanos de la antigüedad, -
han dominado de modo seguro, no solo la fabricación de --
obras de albañilería, sino también la de hormigones a par -
tir de cantos rodados o de materiales rocosos para las gran

des obras al aire libre y las hidráulicas; como lo demuestran sus baños, acueductos, puentes y muelles. Distinguían de un hormigón apisonado, moldeado en encofrado, de otro relleno, entre obras de ladrillo también del hormigón muy --blando para obras sumergidas y para fines particulares, en obras al aire libre; por ejemplo, la cúpula del Partenón--subdividida en nichos y resuelta con nervaduras. También --aprendieron a estructurar adecuadamente la granulometría de los áridos y a disminuir el paso del hormigón mediante la --utilización de cuerpos cerámicos huecos.]

En un horno romano de cal, exhumado en Inversheim, --del siglo III A. de C., es posible que se hayan calcinado --trozos de cal dolomítica según informes de W. Solter, en --1969. Idorn ha afirmado que los silicatos de calcio hidr--tados, presentes en forma agrupaciones submicroscópicas, ha--llados en los trozos de ladrillo que formaban parte de un --antiguo hormigón romano, eran los mismos que los que se pro--ducen en el tratamiento del hormigón al auto clave; conclu--ye que hace 1700 años ya se realizaban algo como el endure--cimiento por el vapor y que los hormigones antiguos de los--romanos debían su resistencia mecánica a aquellas formacio--nes cristalinas.

Yacimientos naturales. El conglomerado propiamente--dicho, en todos los hormigones y morteros de los romanos pa--ra las obras hidráulicas era un mortero de cal con adición--de tierra puzolánica (partiendo del conocimiento de los he--breos del tiempo de Salomón).

Las puzolanas eran, ante todo, las cenizas volcáni--cas de la isla griega de Santorín, del grupo de las Cícla--das, y las de Puzzuoli en el viejo puerto de Nápoles, del --que se deriva su nombre. En tierra alemana los romanos uti--lizaron, como puzolana, el polvo de ladrillo y quizás tam--

bién el trass. Este se forma en el grupo de las cenizas, - volcánicas y que en el caso del trass del Rin en la cuenca de Neuwied, es lava del volcán del lago Laach (Eiffel), el trass de Baviera probablemente es el producto resultante de un meteorito proyectado en la falla de Nordlingen. La palabra trass se deriva de terras, tierra, vocablo al que también hay que referir terrazo.

El mortero puede ser considerado como un hormigón de grano fino, por que solo se diferencia de éste en que sus - áridos presentan 7 mm como dimensión máxima.

Alrededor de 1750, las puzolanas eran el "cemento" - para la cal blanca, única conocida en aquel tiempo, lo mismo ocurría con el carbono en la metalurgia del hierro, que también se consideraba como un "cemento", porque con él, era cementada la superficie del hierro, es decir eran mejoradas - sus características, hecho que recuerda el nombre de cementita dado al carburo de hierro FeC_3 . En aquel tiempo se - llamaba caement o cementa toda sustancia que podía ennoblecer a otra. Cementación significaba la interpretación de - cuerpos sólidos con la tendencia a mejorar su aptitud resistente. La palabra cemento, inicialmente se derivó de caedere = abatir, talar; caedimuntum, inicialmente significó - canto, morrillo y baldosa. Solo Parker aplicó el vocablo - cemento en su sentido actual. El trayecto de caementum a - cemento ha sido descrito con profundidad, por Haegerman en 1964 y completado en 1970. Cementación y cementar son sinónimos de carburación y penetración en la industria del acero, también se emplean ocasionalmente ambas palabras en la - técnica de la inyección del cemento a presión, para reforzar las montañas.

Hasta el hallazgo del cemento Portland con auto-enduo

recimiento, el mortero hidráulico era preparado según la -
vieja receta romana en un mortarium (sartén para mortero) -
y no como hoy, por mezcla, sino por percusión y rotura, co-
mo lo hacen los químicos y los farmacéuticos. Por semejan-
za formal, los cañones de gran calibre del siglo XV recibie-
ron igual nombre morser (alemán), mortar (inglés), mortier-
(francés), mortero (español).

[El primero que empleó la palabra hormigón (betón, en
alemán), fue Belidor, que viene de bitumen y significó, ini-
cialmente, lodo que se iba espesando hasta solidificación.-
La designación inglesa de concrete, es de origen latino, co-
mo el significado de denso, compacto. Con betún (bitumen)-
se designa al conglomerante del asfalto natural o al resi-
duo de la destilación del petróleo bruto. En la construc-
ción de las carreteras se llama hormigón de asfalto u hormi-
gón de alquitrán a una mezcla de grava y arena que se pone-
en caliente y se utiliza como capa de cubrimiento. Se de-
signa, además de modo dominante con la palabra hormigón, a-
las rocas artificiales conglomeradas por cemento. Los ele-
mentos constructivos endurecidos al vapor, preparados a par-
tir de cal y arena son frecuentemente llamados hormigones -
silico-calcáreos.]

1.2. ORIGEN DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO EN MEXICO

La evolución de la producción de cemento que consti-
tuye uno de los principales indicadores del grado y el rit-
mo de desarrollo de un país, muestra claramente que en el -
caso de México, el crecimiento económico ha sido rápido y -
sostenido. La industria del cemento constituye una de las-
ramas más importantes y dinámicas del país.

México no fabricaba cemento a principio del siglo, -
únicamente algunas fábricas de mosaico y de piedra artifi -

cial labrada, utilizaban el cemento como materia prima, el progreso de esta industria debido al dinamismo de los ingenieros-químicos y de los arquitectos, ha sido asombroso en los últimos 70 años, puesto que la capacidad instalada ascendió a 8.03 y la producción a 7.18 millones de toneladas en 1970. Se inició esta industria con dos intentos fallidos, uno en Santiago Tlatelolco y otro en Dublan Hidalgo. Equipadas estas precursoras fábricas de cemento con hornos verticales, que pronto desaparecieron por ineficientes y las pequeñas necesidades del país se abastecieron con importaciones de Inglaterra, Bélgica y Alemania.

La instalación de las tres primeras fábricas montadas con hornos rotatorios, que coincide con la introducción del hormigón en las obras públicas importantes, señaló el punto de partida definitivo en la industria del cemento en México. Estas fábricas se instalaron en el orden siguiente:

La primera fue la de Cementos Hidalgo, S.A. creada en 1906, cuyo principal promotor fue el señor Juan F. Brittingham, americano radicado en la ciudad de Gómez Palacio, Durango. La Tolteca, en el estado de Hidalgo, fue la segunda, montada originalmente con capital norteamericano y en 1911- con motivo de la revolución, vendió sus acciones a un grupo de cementeros ingleses representados por el señor Douglas H. Gibbs, quien hasta entonces había estado a cargo de fomentar las importaciones en México de cementos procedentes de la gran Bretaña, y por último la Cruz Azul, también en el estado de Hidalgo, establecida en Jasso por los señores Enrique Gibbons y Jorge Watson, a la sazón dedicados a la manufactura de cal y que empezó a operar en 1910.

Coincide la fundación de estas fábricas de cemento con la introducción del concreto en obras de importancia co

mo las de aprovisionamiento de agua en el Distrito Federal, entre ellas, el acueducto de Xochimilco, los tanques de Dolores y el edificio de bombas de la Condesa y el monumento de la Independencia en el Paseo de la Reforma en la ciudad de México.

Cuando renuncia el Presidente Díaz en 1911, la demanda de cemento se había elevado a 75000 toneladas por año, - impulsada por el abaratamiento de este material, así como - por la actividad de los ingenieros mexicanos. Cuando la - cruenta guerra civil provocó el asesinato del Presidente Madero, esta demanda se vino abajo. Cementos Hidalgo hubo - de suspender sus trabajos por ocho años consecutivos. Las - pérdidas de Cruz Azul se acumulan y la empresa pasa a manos del Banco Nacional de México, que en muchos años pierde dinero. La Tolteca hubiera quebrado, si sus nuevos dueños no la refaccionan constantemente durante aquella época aciaga.

Cuando nace la confederación de cámaras industriales - en 1918 siendo Don Venustiano Carraza, Presidente de la República, existían en México las fábricas mencionadas, anteriormente con 9 hornos rotatorios y una capacidad conjunta - de 177,000 toneladas anuales.

Reanudados los trabajos en cementos Hidalgo, establecida Cementos Portland Monterrey, S.A., y Cementos Landa en la ciudad de Puebla, en 1923 se fundó un comité para propagar el uso del Cemento Portland, con aportaciones de cuatro de las cinco empresas existentes. Dicho comité realizó una labor fructífera y preparó el terreno para lograr con los - años la creación de la Cámara Nacional del Cemento y posteriormente la fundación del Instituto Mexicano del Cemento - y del Concreto A.C.

En 1924 el Comité asiste al Centenario de la invención del cemento en Inglaterra por Aspidin; convocándose en México a un concurso para los mejores trabajos sobre propiedades de los esqueletos de concreto reforzado, sobre ventajas y condiciones de aplicación de los morteros a base de cemento y sobre los recursos decorativos de este material en construcciones y artefactos. El comité publicó durante 6 años consecutivos la revista Cemento, con un tiro mensual de 10,000 ejemplares.

Cuando en 1924 funda el Presidente Calles las comisiones Nacionales de Irrigación y de Caminos, el concreto invadido el campo para realizar proyectos de gran envergadura, tales como grandes sistemas de riego.

Multitud de obras de arte en carreteras, sobresaliendo entre éstas algunos grandes puentes de concreto.

Toman originalmente la dirección de estas construcciones ingenieros norteamericanos de primera categoría; pronto se capacita a los ingenieros mexicanos y asumen tal dirección. Bajo la influencia de estos prominentes profesionistas, surge la necesidad de montar laboratorios, cuyo auxilio hace mejorar la eficiencia de la construcción de carreteras y obras hidráulicas.

Estos laboratorios, en 1927, implantan por primera vez en México, el control de la calidad del concreto por la ley de la razón agua-cemento, recientemente descubierta en los Estados Unidos por el profesor Abrams, y del cual han hecho eco las cámaras de publicidad de la industria del cemento.

De los laboratorios de caminos nace el que ahora sos-

tiene la Secretaría de Obras Públicas. Un laboratorio de primera clase, con una larga y encomiable hoja de servicios.

El laboratorio de campo, montado en la presa Rodríguez, en 1928, efectúa un control detallado, fundándose en la razón agua-cemento, con ahorro de este material y máxima eficiencia en la confección del concreto, e inicia investigaciones encaminadas a evitar los agrietamientos que el calor de hidratación de cemento puede causar en grandes volúmenes de concreto.

En la citada presa se utilizó, a fines de 1932, también por primera vez, cemento de bajo calor de hidratación con el cual se elimina o reduce mucho la tendencia del concreto al agrietamiento. Posteriormente este tipo de cemento se utilizó en la presa de la Angostura, en Sonora y en la de Francisco I. Madero, en Chihuahua. En la primera se emplearon serpentines colocados dentro del concreto para hacer circular agua enfriada, como auxiliares del cemento de bajo calor. En la segunda, el ingenio de los constructores mexicanos ideó un sistema de machones de cabeza redonda que hizo innecesario el acero de refuerzo.

Los laboratorios de campo, de la comisión Nacional de Irrigación dieron a la postre nacimiento al que actualmente tiene instalados la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en las lomas de Tecamachalco. Es un modelo para la investigación de materia de hidráulica, mecánica de suelos, ingeniería estructural y concreto.

De las investigaciones en materia de concreto y cemento, han emanado los adelantos tecnológicos más importantes en la fabricación del cemento, entre ellos; las primeras especificaciones para cemento, bajo calor; la estipulación de un requisito que limita el contenido de los álcalis en -

el cemento, para ciertos tipos de obras; la supresión del-
fraguado falso mediante el enfriamiento de los molinos de -
acabado; el control de la cantidad de yeso que especifica-
mente requiere cada cemento para que en él se alcance la má-
xima resistencia, asegurándose así mayor durabilidad a la -
par que menor tendencia a los cambios volumétricos.

Es de mencionar la introducción de los primeros cursos
de concreto reforzado en la Facultad de Ingeniería de la -
Universidad Nacional implantados en 1920; ésta labor educa-
tiva dió origen a la organización de empresas contratistas-
e industriales conexas.

El Departamento del Distrito Federal inició en 1930 -
la construcción de pavimento de concreto, hecho que marca -
una nueva significativa jornada en la historia del cemento-
y el concreto en México. No solo se pavimentan importantes
calles y avenidas en la ciudad de México, sino que se cons-
truye la primera carretera, la que comunica Villa Obregón -
con el Desierto de los Leones, la cual después de más de 30
años se conserva en perfectas condiciones. Hasta 1941 los-
pavimentos se construyen con varilla de refuerzo a razón de
cuatro kilos por metro cuadrado. Con motivo de la guerra -
y la inflación, se encarecen a tal grado los costos del re-
fuerzo, que suspende la construcción de pavimentos de con -
creto; pero habiendo ideado los ingenieros mexicanos apoya-
dos en pruebas prácticas, un sistema de juntas debidamente-
diseñadas, con el cual los esfuerzos por contracción resul-
tan mínimos, se suprime el refuerzo y desde 1944 se reanuda
la construcción de este tipo de pavimentos en el Distrito -
Federal, sin emplear acero de refuerzo. Con ello la pavi -
mentación a base de cemento alcanza un auge sin precedente-
en nuestra historia, quedando demostrado que a los costos -
actuales y tomando en cuenta su durabilidad, es el material

más económico.

Los arquitectos en México, entran a representar un pa pel creador en el escenario del concreto en 1925. Si los ingenieros y los químicos han sobresalido en el aspecto tec nológico, tanto en la escuela y en el laboratorio como en los procesos de construcción, los arquitectos en su esfera de acción no se han quedado a la zaga, dominados por la mis ma inquietud: colaboran con la adopción de los procesos de construcción más eficiente, aprovechando el bajo costo del cemento en México y poniendo especial empeño y entusiasmo en la concepción de obras a base de concreto.

Todavía sería perfectamente factible hacer alguna -- obra sin emplear un gramo de cemento; pero desde 1925 los arquitectos recogieron el reto lanzado por sus colegas euro peos y se dieron a la tarea de demostrar en México que la fealdad del concreto así como de otros materiales modernos, tales como el acero y el vidrio, no es inherente a ellos si no al uso que de ellos se haga arquitectónicamente.

La labor de los arquitectos en materia tan vasta y - tan rica, en México es enorme, la proporción de obras moder nas ha traído a nuestra patria la atención del mundo, tal - como ha sucedido en el caso de la labor de los ingenieros - y químicos mexicanos.

En 1937, el ARchitectural Forum de Nueva York dedica a la arquitectura moderna mexicana toda su edición, la cual se publica en forma de libro en Londres, y el Real Instituto de Arquitectura de Inglaterra reconoce y da plena expresión arquitectónica a los procedimientos constructivos de - la época.

Se tratará ahora el tema de la industria de artefac -

tos o productos de concreto. Esta industria ha recibido - un impulso tal de la industria del cemento, que actualmente se puede calcular que sus compras ascienden al 15% de la - producción total de cemento.

La industria del cemento ha puesto siempre mucho interés en la de los productos de cemento, pues necesita crear una demanda continua que no la obligue a paralizar hornos - por falta de consumo y eliminar así una de las tres causas - por las cuales se puede afectar seriamente su estabilidad - financiera.

De semejante o aún mayor importancia, aunque compues- ta de menor número de unidades son otras diversas indus- trias: la de los tubos de concreto; la del asbesto-cemen- to, que además de tubos de alta presión, manufactura lámⁱ - nas, tinacos y tanques lavadores, habiendo actualmente gran- des fábricas; la del tabique ligero y el bloque hueco; la industria arbotantes y postes de todos tamaños, incluso pa- ra la transmisión de energía eléctrica; la industria de ca- sa precoladas; la industria del concreto premezclado; la- del concreto seco, que entrega este material encostalado y- adecuadamente dosificado para obtener diferentes resisten- cias; la de celosías y elementos prefabricados de concreto de diversos tipos como losas y vigas; la del curacreto, - una membrana impermeable que sirve para curar el concreto - sin necesidad de regarlo; la de las placas de viruta-cemen- to; la de los pilotes para cimentación, cada día más impor- tante, la de muebles de baño; la que manufactura agentes - inclusores de aire y adicionantes para concreto; la del - concreto precomprimido; la de durmientes de concreto pre- tensado y por último, la de granito artificial, tan antigua como la del mosaico y las más diversificadas de todas.

Lo mismo en la colocación de una orilla de acera que-

en la construcción de toda una carretera, lo mismo en la fabricación de un simple monumento sepulcral que en la erección de un enorme puente, el cemento a cada paso, en todas sus variadas aplicaciones tiene un sinnúmero de competidores, unos tan antiguos como la piedra, el mármol, la madera, el barro y la cal en sus múltiples formas, calidades y combinaciones; otros contemporáneos, como el acero y el asfalto; otros modernísimos, como son el sinnúmero de productos sintéticos que manufacturan y proclaman las nuevas e inesperadas industrias.

Hasta la tierra virgen es un competidor del cemento, así es y no tan solo para hacer zanjas y regar las milpas, sino para levantar grandes presas. En efecto, este material tan primitivo ha servido en México para construir muchas cortinas en los últimos años; puesto que rinden un servicio satisfactorio, aunque no tenga la seguridad, eficiencia y hermosura que una cortina de concreto.

Si hay una industria que no se puede dormir jamás en sus laureles esa es la del cemento, puesto que en general su demanda depende de hombres ingeniosos y avesados, además en el cálculo como los arquitectos, los químicos, los ingenieros, los mismos maestros de obras y albañiles y también los industriales de otras ramas, no dados a utilizar nada por hábito o por capricho, sino que se basan en presupuestos y comparaciones del costo real de un material de un proceso o de todo un sistema con el de otros; su objetivo es sacar el más bajo costo, pero al mismo tiempo mejorar y diversificar su producción al máximo.

Semejante diversidad de productos se elaboran en las fábricas que operan las máquinas en movimiento más grande del mundo, los hornos rotatorios. En estas fábricas donde

químicos y físicos, amén de muchos técnicos y obreros especializados, trabajan de día y noche, resquebrajan y transforman montañas enteras de materia prima.

El cemento es una de las manufacturas más mecanizadas que existen; proceso que se divide en no menos de 80 diferentes operaciones y por tanto unas de las que demandan más dinero para que realice en condiciones de competir, no tan solo con unidades del mismo ramo, sino también con el sinnúmero de sustitutos que tiene el cemento.

El cemento no será un artículo de consumo necesario, ni una mercancía con demanda general indispensable, pero si es un material de construcción útil que contribuye al progreso de las naciones cuando éstas, como México, se adentran en la era industrial.

Este material no solo es impulsor de industrias como los de los productos de cemento, sino también fuente de una demanda continua para los servicios y productos de otras industrias como son las empresas de transporte, las suministradoras de combustible y de energía eléctrica, las proveedoras de envases, de maquinaria, de refacciones fuera y dentro del país, así como la diversidad de talleres independientes para las reparaciones de dichas fábricas de cemento.

La importancia económica de la industria mexicana del cemento puede medirse no solo porque representa una fuente de ocupación que actualmente da empleo directamente a más de 5,740 obreros especializados y 1711 empleados, y porque el valor de su producción es superior a 1,400 millones de pesos, sino que ha dado origen al establecimiento de innumerables industrias conexas, con más de 50,000 trabajadores y que representan un renglón muy importante en nuestro desenvolvimiento económico.

La ubicación de las 28 fábricas de cemento en la República Mexicana es a tal grado estratégica, que aún en los casos más desfavorables, ningún punto del país se encuentra a más de 400 kilómetros de una fábrica de cemento, lo que resulta muy satisfactorio, si se considera que aún en países altamente industrializados, en muchas ocasiones el transporte de cemento cubre distancias de unos 1,000 kilómetros.

Únicamente estados tales como Coahuila y Zacatecas cuya demanda de cemento es pequeña no poseen cementeras; el precio del cemento en estas zonas es elevado a causa de la ausencia de vías férreas que permitan transportar a bajo costo el cemento por largas distancias, lo cual determina que los utilizadores reduzcan su empleo y lo remplacen con otros materiales, (madera, lodo, palma, etc.).

Tal como puede verse en el cuadro 1 son sobre todo las regiones Norte y Pacífico Norte las que se beneficiaron del incremento del número de cementera durante los últimos años. El resultado ha sido que, aunque el mayor número de cementeras sigue estando localizado en la región "centro", la participación de esta última en la capacidad total de producción declinó de 63.2% en 1964 a 55.1% en 1970.

C U A D R O 1

Regiones	No. de fábricas		CAPACIDAD DE PRODUCCION			
			Miles de Tons.		Porcentajes	
			1964	1970	1964	1970
Pacífico Septentrio- nal	3	6	249.5	1579.5	5.4	19.3
Norte	4	6	960	1590.0	20.8	19.4
Centro	11	11	2911.5	4515.0	63.2	55.1
Golfo	2	2	271.5	271.5	5.9	3.3
Pacífico Meridional	2	2	219.0	240.0	4.7	2.9
T o t a l	22	27	4609.5	8196.0	100.0	100.0

En 1970 había 27 cementeras que disponían de 74 hornos, de los cuales 65 funcionaban por vía seca y 9 por vía húmeda, a causa del precio relativamente elevado del com-bustible y sobre todo, de la falta de agua en las regiones donde las cementeras se hallan instaladas. Los hornos tie-nen un diámetro de 2 a 4.80 m y una longitud que puede - fluctuar de 25 a 140 m, en tanto que su capacidad de pro-ducción es escalonada de 80 a 1,750 toneladas de cemento por día. Mientras que la capacidad de producción del país apenas llegaba a 513,000 toneladas en 1940, para 1950 as-cendía ya a 1,82 millones de toneladas y a partir de esa fecha, se ha duplicado cada diez años para llegar a 3,55 millones en 1960 y a 8,19 millones en 1970. En consecuencia, la producción se ha multiplicado por 15 entre 1940 y 1970 y en este último año ascendió a 7.19 millones de tone-ladas, lo que sitúa a México en decimosexto lugar mundial y en segundo lugar en América Latina.

Según estimaciones del Banco Nacional de México, la-

producción de cemento gris del año 1971 apenas pasó de 7,38 millones de toneladas, lo que constituye según la misma fuente, un progreso de 3.6% con respecto a 1970; esta evolución debe atribuirse a una baja de la construcción privada en 1971, a pesar de una recuperación en el tercer trimestre y en general, al hecho de que el aumento del producto interno bruto fue al parecer inferior al 5,4% en 1971, en tanto que había llegado a 7,7% en 1970 y a 7,2% en promedio durante la década transcurrida.

A partir de 1950, la progresión de la rama cemento ha sido más rápida que la del sector industrial en conjunto. En lo que concierne a los últimos diez años y si se exceptúan en 1961 y 1965, las tasas anuales de crecimiento de la producción de cemento han sido muy elevadas a causa tanto de las obras de infraestructura como de la construcción de viviendas. Así en 1968, aunque el sector privado de la construcción no experimentó rápido progreso a causa de la escasez de créditos hipotecarios, un factor ocasional contribuyó a dar el impulso necesario; la preparación de los XIX Juegos Olímpicos; en 1969 la industria del cemento se ha visto particularmente estimulada por distintos proyectos: Metro de México, construcción de hoteles y obras de infraestructura.

Como lo hacía notar el presidente de la Cámara Nacional del Cemento, la importancia económica de la industria del cemento en México, que constituye una de las ramas industriales más avanzadas, puede medirse de diversas maneras: en efecto, el capital invertido es elevado (más de 5,000 millones de pesos); esta industria proporciona directamente trabajo a 6,000 obreros especializados y 2,000 empleados; el valor de su producción es superior a 1,800 millones de pesos (lo que suministra al Estado ingresos fiscales por 190 millones de pesos), así mismo, ha dado naci

miento a industrias conexas.

Estimulados por la competencia, los empresarios se han visto en la necesidad de modernizar de manera continua su equipo para reducir su costo y mejorar la calidad de los productos. En consecuencia, el precio del cemento se ha reducido apreciablemente en el curso de estos últimos años y en tanto que durante el período de 1910 - 1930 el precio del cemento portland común fluctuaba a precios constantes, en torno de los 45 pesos la tonelada entregada en México.

México fabrica todos los tipos de cemento requeridos por la industria de la construcción y por lo tanto, desde 1950 ha dejado prácticamente de depender de los mercados extranjeros para su abastecimiento. Únicamente compra algunos millares de toneladas de cemento aluminoso. La mayor parte del cemento se entrega en sacos (90% en 1968).

C A P I T U L O I I

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS

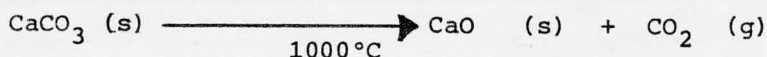
2.1 COMPOSICION

→ [Los cementos pertenecen a la clase de materiales denominados aglomerantes; esta denominación comprende aquellos aglomerados que se endurecen una vez mezclados con agua o bien resisten a ella. El cemento portland, el cemento aluminoso, los cementos metalúrgicos, son típicos representantes de los aglomerantes hidráulicos, a diferencia del yéso, el cual aunque se endurezca con el agua, no resiste a una acción prolongada de este líquido, siendo soluble en ella. La cal viva endurecida es resistente al agua; pero dado que su endurecimiento es debido, no a la absorción del agua, sino del anhídrido carbónico, no pertenece al grupo de los aglomerantes hidráulicos.

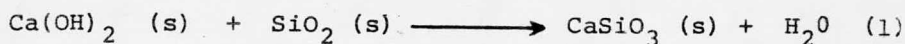
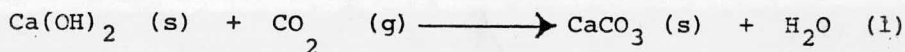
→ [Los principales componentes de los cementos hidráulicos son: cal, la sílice y la alúmina.]

Cal. Esta sustancia se obtiene por calcinación en enormes hornos giratorios de toneladas de piedra caliza que arrancan de la tierra y también de muchas toneladas de conchas que cada año se dragan del mar. La calcinación de estas sustancias portadoras de carbonato de calcio (CaCO_3)

proporciona una de las materias principales de la industria química, la cal:



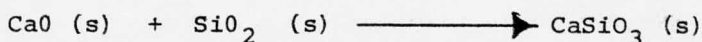
Una gran cantidad de este material es utilizado en la industria de la construcción. La cal pura, en virtud de su alto punto de fusión ($2,580^\circ\text{C}$), se usa como ladrillo refractario para el revestimiento de los hornos. Cuando se usa como mortero, estuco y yeso, la cal se encuentra presente, por lo general, como cal apagada. La cal apagada seca, se transforma en una durísima masa en presencia de agua, y otros materiales que forman al correr del tiempo, mezclas complejas de carbonato de calcio y silicato de calcio.



→ [Cuando se produce la cal en combinación con alúmina, sílice y óxido de hierro, la mezcla resultante, una vez seca y pulverizada, constituye el cemento portland.]

→ [El hormigón o concreto, principal material no metálico estructural de los tiempos modernos, es una suspensión de arena, grava o piedra quebrada, en cemento portland.]

Grandes cantidades de cal se usan en metalurgia para combinarla, como una base, con las impurezas ácidas de sílice presentes en los minerales:



Cuando se usa en esta forma, la cal se denomina fundente.

Se puede resumir para el caso del componente cal en los aglomerantes hidráulicos las siguientes reacciones:

1. $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} \text{CaO} + \text{CO}_2$ (cocción de la cal).
2. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2$ (apagado de la cal)
3. $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (carbonatación o endurecimiento)

Expresadas en palabras, estas fórmulas indican que en un principio la roca caliza al calentarse se disocia en cal viva y anhídrido carbónico. Este proceso se efectúa rápidamente a 1000°C o sea cuando el material incandescente adquiere un color rojo vivo. Debido a que un kilogramo de roca caliza contiene aproximadamente 0.44 kilogramos de anhídrido carbónico; la cantidad que se desprende de este gas es enorme, la cal viva remanente no difiere mucho de su aspecto inicial, no obstante la importante pérdida de peso que ha sufrido. Su color dependerá de su contenido de impurezas (tierra, polvos) según esto; será más clara o ligeramente amarillenta. En relación con la piedra caliza original, la porosidad de la cal aumenta enormemente, pues el espacio que antes ocupaba el anhídrido carbónico queda vacío en la última. Los pequeños poros capilares existentes en la cal viva absorben ávidamente el agua de apagado, y así la reacción del óxido de calcio con el agua, transformándose en hidróxido se efectúa en todo su interior.

El químico y el técnico, dan a este proceso, respectivamente la denominación de hidratación y apagado.

Esta transformación química produce simultáneamente un resquebrajamiento extremadamente eficaz.

Dado que el hidróxido cálcico que se forma ocupa un volumen mayor que el correspondiente al de la cal original, se produce un efecto expansivo cuya fuerza afecta a todas las moléculas, debido a este efecto en unos minutos un trozo de cal viva se transforma de acuerdo con la cantidad de agua empleada en su apagado en un polvo blanco impalpable, o bien en una suspensión dividida llamada lechada de cal.

El proceso de apagado se acompaña de un desarrollo notable de calor. El calor de hidratación del óxido de calcio se ha calculado aproximadamente en 280 cal/g. Un gramo de este material es suficiente para elevar un grado centígrado la temperatura de 280 gramos del agua de apagado. No debe extrañarse pues que durante el apagado de la cal se produzcan elevadas temperaturas y que, de no tomar las precauciones debidas al manejar la cal viva almacenada, pueden producirse incendios.

El verdadero endurecimiento que corresponde al propio mortero de cal, es el producido por la acción del anhídrido carbónico contenido en el aire; al secarse el mortero, el gas carbónico penetra draudalmente a través de sus poros, transformando el hidróxido cálcico en carbonato de calcio petrificado. Este proceso se verifica tanto más rápidamente cuanto más poroso es el mortero y cuando mayor es el contenido de anhídrido carbónico en el ambiente. -- Por ejemplo secando artificialmente una construcción, mediante una estufa de carbón se produce la expulsión más rápida del exceso de agua contenido en el mortero y se favorece así la formación de un mayor volumen de huecos; además, por otra parte, el gas de combustión del carbón favorece el endurecimiento.

Al considerar las combinaciones de la cal con la sílice se presentan condiciones bien distintas, pues se ha entrado en el campo de las dimensiones coloidales, a las cuales se deben la extraordinaria resistencia del cemento.

La sílice. Contenida en la mayor parte de las rocas, (dióxido de silicio SiO_2) se presenta en forma más o menos pura: como cuarcita, arena de cuarzo, arenisca, etc.

En esta forma la sílice es un material muy resistente completamente insoluble en agua, resistente al ataque de los ácidos con excepción del ácido fluorhídrico. Bajo la acción del calor, sufre diversas transformaciones en su forma cristalina, proceso que va acompañado en parte, de una notable variación en volumen. Sin embargo, químicamente no sufre alteración alguna. Al alcanzar unos 1900°C se funde, y al enfriarse endurece constituyendo una masa vítrea, conocida como vidrio de cuarzo. Este material permite fácilmente el paso de los rayos ultravioleta, por lo cual se le emplea en los aparatos clínicos de (radiaciones solares artificiales). El vidrio de cuarzo es además extremadamente resistente a las variaciones de temperatura. Un crisol de vidrio de cuarzo que se encuentra a elevada temperatura (incandescencia) puede enfriarse bruscamente con agua sin que sufra daño alguno, pues su dilatación al calentarse y su contracción al enfriarse son mínimas.

En forma de cuarzo la sílice puede considerarse como una substancia inerte, poco reactiva, pero cuando se encuentra en otras de sus formas (variedades en forma y color, por ejemplo el cuarzo ahumado de color pardo, el cuarzo de siderita de color azul, se encuentran en forma cristalina romboidal o piramidal) no puede aplicársele esta misma calificación, sobre todo cuando se trata de partículas de pequeñísimas dimensiones, hidratadas las más de las

veces, como calcedonia, ópalo, y especialmente en el caso de la tierra de diatomeas constituida por los residuos de la descomposición de minúsculas algas cuyos delicados caparazones silíceos conservan bien su forma original y cuya reactividad es muy superior a la que cuarzo presenta.

Sin embargo, también la sílice en forma de cuarzo deja de ser inerte y reacciona químicamente cuando se le somete a temperatura elevada. Por ejemplo, las soluciones fuertemente básicas, como la potasa o la sosa caústica, a temperatura elevada pueden combinarse con la sílice para integrar compuestos que son solubles en agua. Este proceso se aplica a la escala industrial en la fabricación del vidrio soluble, líquido viscoso y transparente que emplean las amas de casa para la conservación de los huevos y que tiene en la industria múltiples empleos, por ejemplo: para producir adhesivos, o bien revestimientos protectores - ignífugos para los materiales combustibles, aglutinantes - o mastiques de alta resistencia al ataque químico, etc.

El vidrio soluble, silicato de sodio considerado como solución acuosa que contiene sílice, es particularmente apropiado para describir los procesos que se verifican cuando la cal reacciona con la sílice y que presentan una gran importancia en el estudio del endurecimiento hidráulico.

Dado que los compuestos de cal y de sílice son difícilmente solubles, debe producirse un precipitado cuando se mezcla una solución que contiene sílice con otra que contiene cal. En la mayor parte de las reacciones por precipitación, aun en aquellas en que se emplean fuertes concentraciones, el producto de la precipitación se separa más o menos rápidamente y se deposita en el fondo del recipiente.

La precipitación de los silicatos cálcicos presenta en cambio condiciones diferentes, en este caso al mezclarse las dos soluciones se forma un cuerpo sólido. Naturalmente la resistencia no es elevada, sino que se trata de una masa gelatinosa que posee, sin embargo, cierta resistencia a la atracción y cierta adherencia, de tal modo que se puede levantar el vaso de precipitado con todo su contenido, simplemente mediante la varilla de vidrio sujeta con las manos.

Se trata de un proceso que el químico llama formación de gel, entendiéndose por tal denominación una masa compacta integrada por partículas coloidales. La palabra gel se deriva de gelatina, sustancia que se obtiene de la oséina (procedente de los huesos). La palabra coloide se deriva del griego kola (que en castellano traducimos como cola).

Los coloides son sustancias similares a la cola; y dado que el endurecimiento hidráulico se basa en la formación de una cola mineral, es oportuno estudiar el estado coloidal en forma más extensa.

Se entiende por sustancia coloidal aquella cuyos componentes tienen dimensiones comprendidas entre el tamaño molecular y aquel que, puede ser aún visible mediante el microscopio; se trata pues de partículas extremadamente pequeñas hasta el punto que pueden permanecer en suspensión líquida durante un tiempo casi ilimitado. Esta característica se debe a que su superficie específica es extraordinariamente grande.

Como es sabido, una cantidad determinada de materia que se subdivide en partículas cada vez más pequeñas adquiere proporcionalmente una superficie cada vez mayor.

La precipitación de los silicatos cálcicos presenta en cambio condiciones diferentes, en este caso al mezclarse las dos soluciones se forma un cuerpo sólido. Naturalmente la resistencia no es elevada, sino que se trata de una masa gelatinosa que posee, sin embargo, cierta resistencia a la atracción y cierta adherencia, de tal modo que se puede levantar el vaso de precipitado con todo su contenido, simplemente mediante la varilla de vidrio sujeta con las manos.

Se trata de un proceso que el químico llama formación de gel, entendiéndose por tal denominación una masa compacta integrada por partículas coloidales. La palabra gel se deriva de gelatina, sustancia que se obtiene de la oséina (procedente de los huesos). La palabra coloide se deriva del griego kola (que en castellano traducimos como cola).

Los coloides son sustancias similares a la cola; y dado que el endurecimiento hidráulico se basa en la formación de una cola mineral, es oportuno estudiar el estado coloidal en forma más extensa.

Se entiende por sustancia coloidal aquella cuyos componentes tienen dimensiones comprendidas entre el tamaño molecular y aquel que, puede ser aún visible mediante el microscopio; se trata pues de partículas extremadamente pequeñas hasta el punto que pueden permanecer en suspensión líquida durante un tiempo casi ilimitado. Esta característica se debe a que su superficie específica es extraordinariamente grande.

Como es sabido, una cantidad determinada de materia que se subdivide en partículas cada vez más pequeñas adquiere proporcionalmente una superficie cada vez mayor.

Por ejemplo, si 1 gramo de arena con diámetro de 2 mm presenta una superficie de aproximadamente 10 cm. a la misma cantidad de arena molida en partículas cuyo tamaño sea de una micra, le corresponderá una superficie unas dos mil veces mayor.

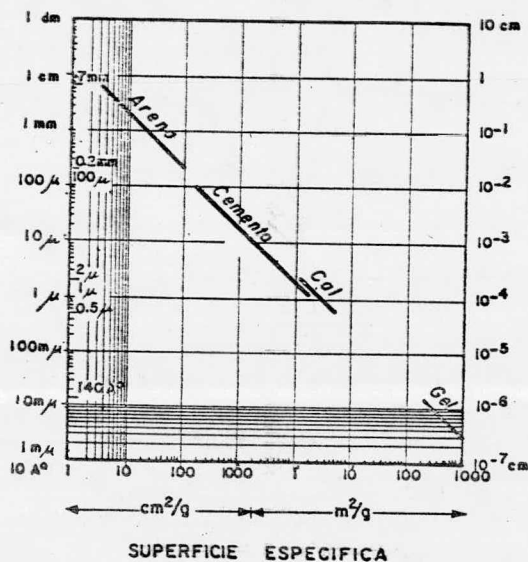


FIGURA No. 2 Granulometría específica de los sinte -
grantes del mortero. Para el cálculo -
se ha supuesto que los granos son esfé -
ricos. Densidad de la arena, 2,7; --
del cemento, 3,1, y de la cal hidrata -
da y del gel, 2,2.

En la figura No. 2 se presenta la relación entre la -
superficie específica (superficie por gramo de substancia)
y las dimensiones de las partículas, suponiendo que son de

forma esférica. para poder abarcar todo el intervalo de los tamaños granulométricos que se encuentran por ejemplo en un mortero hidráulico endurecido (y que incluye desde arena cuya superficie es aproximadamente de $10 \text{ cm}^2/\text{g}$ hasta el gel con 2 a 3 millones de cm^2/g ; en tanto el tamaño de los granos abarca desde 10 cm hasta $1,000 \text{ \AA}$; $1 \text{ Angström} = 1/10 \text{ milimicra}$; $1 \text{ milimicra} = 1/1,000 \text{ de micra}$) se debe emplear un sistema de coordenados a escala logarítmica.

Sobre dichas coordinadas se registran las superficies correspondientes a las partículas de las arenas, de los cementos, de la cal apagada y finalmente de los geles coloidales. Los trazos correspondientes a cada tipo de material son rectilíneos, desfasados el uno con relación al otro. Este último se debe a las densidades diferentes. La suposición teórica de que la forma de las partículas es esférica, no corresponde exactamente a lo que en realidad se tiene, sino que representa valores teóricos mínimos que los que se tendrían si las partículas fuesen exactamente esféricas.

No obstante su enorme magnitud, los valores de superficie específica que los coloides presentan no explican a qué se debe el endurecimiento de la solución de vidrio soluble al añadirse una sal cálcica. Sólo el estudio de la fuerza que se produce en una superficie-límite aproxima a la solución del problema. Todo cuerpo sólido debe su compacidad a la fuerza de atracción recíproca de las moléculas que lo integran. En el interior del propio cuerpo estas fuerzas se conservan en equilibrio, en cambio sobre la superficie necesariamente se ejerce una fuerza de atracción no neutralizada, y que por lo tanto tiende a atraer y a sujetar otras sustancias.

En casos como el del experimento con las soluciones-

de silicato sódico y del CaCl_2 , cuando dentro de un líquido se forma una sustancia sólida coloidal, su enorme superficie específica ejerce una acción correspondientemente - energética. Las moléculas de agua son atraídas y retenidas- (absorbidas) y pierden su movilidad en grado considerable. Se puede producir ahora mediante enlaces y nudos de los - elementos sólidos coloidales, una estructura que proporciona rigidez ulterior a la masa de gel. Esta fuerza de ab- sorción se manifiesta sobre las capas de agua adherida, no sólo con un endurecimiento aparente (agua "seudosólida") - sino también como una alteración en sus constantes físicas, como por ejemplo, las temperaturas de ebullición y congela- miento.

El punto de ebullición se incrementa de tal modo que el agua absorbida no puede ser separada del gel por deseca- ción a 100°C , sino que requiere temperaturas más elevadas. El punto de congelación se reduce, o sea que la transforma- ción en hielo del agua del gel no se produce a 0°C , sino a temperaturas inferiores. Es difícil proporcionar valores - sobre estas variaciones de las constantes físicas, ya que el agua absorbida no puede-considerarse como un cuerpo ho- mogéneo.

Debe pensarse que el agua de absorción se subdivide- por capas. La más cercana a la superficie sólida es la - que se absorbe más fuertemente, por lo cual el valor de su- presión de vapor es mínima y su temperatura de ebullición- es más elevada. Su mayor absorción motiva también que su- punto de congelación sea muy bajo. Por lo contrario, en - las capas de agua que aun pueden considerarse como absorbi- das (pero que se encuentran más alejadas de las partícu- las sólidas, debido a la distancia relativamente grande en- tre dichas capas y la fuerza adherente que actúa en la su- perficie de las partículas sólidas, las propiedades del lí-

quido poco se diferencian del agua libre.

La alúmina. Por alúmina se entiende el óxido de alumino (Al_2O_3). Esta sustancia se relaciona con la arcilla que contiene dicho óxido en cantidad considerable. En su forma más pura la arcilla se encuentra por ejemplo como caolinita compuesto que contiene alúmina, sílice y agua, y cuya fórmula química es: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Tomando en cuenta los pesos moleculares respectivos se pueden calcular los porcentajes correspondientes a cada uno de los componentes:

Sílice	(SiO_2)	46.5%
Alúmina	(Al_2O_3)	39.5%
Agua	(H_2O)	14.0%

La caolinita es el constituyente principal del caolín, producto de la disgregación de las rocas (feldespatos principalmente) atacadas por los agentes atmosféricos bajo determinadas condiciones geológicas.

Si a causa de otros fenómenos geológicos se desplaza éste del lugar que ocupa en la formación o yacimiento primario y finalmente se deposita en el agua, se encontrará mezclada con otros materiales, frecuentemente con arena de cuarzo, óxido férrico, productos de la descomposición de materias orgánicas, etc.

De particular interés para la industria de los cementos hidráulicos son las margas, productos de sedimentación geológica, formadas por una mezcla íntima de carbonato cálcico y arcilla. Según que prevalezcan los compuestos calcareos o los arcillosos, se denomina marga caliza o marga arcillosa. Esta mezcla natural tiene una importancia fundamental tanto en la fabricación de cales hidráulicas como

en la de cemento. Puede decirse que en la composición normal de la arcilla, el porcentaje de sílice es aproximadamente el doble del correspondiente a la suma de la alúmina y del óxido férrico, y que a su vez el porcentaje de alúmina es el doble del óxido férrico.

La arcilla normal no es muy apropiada para la fabricación económica de la alúmina pura. Para este objeto se recurre a la bauxita, constituida principalmente por alúmina hidratada. La alúmina pura se emplea principalmente como materia prima para la fabricación del aluminio, del alúndum (corindón producido en el horno eléctrico), de materiales altamente refractarios, etc.

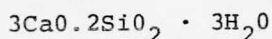
Para el químico del cemento, la alúmina tiene mucha importancia, pues como la sílice puede unirse en combinación geliforme con la alúmina y el agua.

El óxido férrico. El óxido férrico es el integrante más importante de los minerales férricos. La mayor parte de los minerales, inclusive la arcilla, contiene cantidades más o menos elevadas de este óxido; el cual, dada su gran difusión en las materias primas, se presenta como compuesto "inseparable" en los cementos hidráulicos, excepto en el cemento blanco que debe estar prácticamente exento de óxido férrico. El precio elevado de este producto muestra claramente la rara existencia de las materias primas respectivas, la manufactura misma de los cementos exentos de hierro, presenta dificultad especial ya que el óxido férrico actúa como fundente, es decir, permite que las combinaciones químicas indispensables para la elaboración del cemento, se efectúen a temperaturas muy inferiores a aquellas que de otro modo serían necesarias.

Las cales Hidráulicas

Hablando de los componentes más importantes de los cementos hidráulicos se ha tratado de la formación de los compuestos coloidales de la cal, la sílice y agua. Estos hidrosilicatos cálcicos o silicatos cálcicos hidratados, son los exponentes más importantes del fenómeno del endurecimiento hidráulico. En comparación, los compuestos coloidales hidratados de cal y alúmina, los hidratos del aluminato cálcico, presentan una importancia menor, excepto en el caso del cemento aluminoso el cual se tratará en capítulo especial.

La composición química de los hidrosilicatos cálcicos depende hasta cierto grado de las condiciones de su formación. No se comete un gran error al suponer que en los cementos hidráulicos industriales, ricos en calcio, los hidrosilicatos cálcicos después de la reacción (que motiva el endurecimiento) se convierten en un compuesto que corresponde a la fórmula:



Se puede decir que el producto resultante del endurecimiento de los cementos hidráulicos, es siempre sustancialmente el mismo, cualquiera que sea el proceso empleado en su fabricación.

Este proceso puede ejecutarse en dos formas: haciendo reaccionar recíprocamente y en presencia del agua, el hidrato cálcico con una preparación apropiada de sílice, lo cual corresponde a la vía según la cual endurecen las "cales puzolánicas"; o bien mediante cocción a elevada temperatura y formación de silicatos cálcicos.

Este último procedimiento es el que se emplea en la manufactura de cales hidráulicas calcinadas y en la del cemento portland.

Las cales puzolánicas. En el caso de que la obtención de los hidrosilicatos cálcicos deba hacerse por "vía fría" a partir del hidrato cálcico y de la sílice, ésta debe estar presente en forma activa. Su actividad será máxima cuando se trate de sílice soluble, como por ejemplo en el silicato sódico. La técnica de la construcción sólo dispone de experiencia escasa de la fabricación de cemento a base de silicato sódico. Afortunadamente la sílice reacciona con el hidrato cálcico aún en el caso de que se encuentre en forma insoluble en el agua. La muy breve expresión sílice en forma activa demuestra claramente lo reducido de los conocimientos sobre dicha forma o estado.

En general la sílice activa es soluble en los ácidos hasta cierto grado, pero lo es más aún en las lejías. Frecuentemente -aún cuando no siempre- la sílice activa se encuentra en forma hidratada, como en el caso del "trass". En otros casos en su estado activo es consecuencia de la subdivisión extremadamente fina de sus partículas, como por ejemplo en la tierra de diatomáceas o bien en ciertas substancias que se obtienen en la separación de la sílice para el aprovechamiento industrial de la bauxita.

El estado activo de la sílice puede obtenerse artificialmente cuando se le pone en libertad a partir de sus compuestos, en que figuran otros elementos. Por ejemplo, en la caolinita (compuesto de sílice, alúmina y agua que se ha mencionado ya como el componente específico de la mayor parte de la arcilla) se puede transformar la sílice en activa, mediante la designación de la molécula de caolinita sometiénola a una temperatura aproximadamente de 650°C

se separa el agua combinada químicamente en dicho mineral, la sílice se libera y se capacita para formar nuevas combinaciones, es decir, se transforma en activa.

Los antiguos romanos sabían ya como aplicar esta técnica. Gran parte de sus construcciones se ejecutaron con morteros constituidos por cal con adición de arcilla calcinada en forma de polvo de ladrillo, finamente desmenuzado mediante apisonado.

Obtenían de este modo un cemento resistente al agua que endurecía lentamente, pero que alcanzaba gran resistencia, y que además resultó sumamente apropiado para las construcciones marítimas. De acuerdo con las condiciones que se presentaban, los romanos emplearon también sustancias naturales con sílice activa, principalmente de origen volcánico.

Al mezclar la cal apagada con puzolanas naturales o artificiales, cal puzolánica, se obtiene el tipo más simple de cemento hidráulico. En los tiempos de los romanos se elaboró el mortero, empleando la cal bien amasada, añadiendo después cenizas volcánicas de Pozzuolli, o trass de Eifel, o bien ladrillo finamente pulverizado, junto con una adición ulterior de agua, más la cantidad de arena necesaria, y procediendo enseguida al mezclado. Las cales puzolánicas conservan aún cierta demanda, se producen cales puzolánicas, por ejemplo, mediante molienda conjunta de trass con cal hidratada y desecada, envasada en sacos para su remisión a la obra, donde puede ser prontamente utilizada; basta con añadirle agua y arena.

Las cales hidráulicas calcinadas. Recurriendo a una manufactura a temperatura elevada, se elimina el tener que depender de la actividad de la sílice a fin de lograr su -

combinación con la cal. Por ejemplo, una mezcla de un 48% de CaO y un 52% de SiO₂ se funde aproximadamente a 1450°C, con producción de silicato monocálcico (CaO·SiO₂); esto puede lograrse incluso empleando arena de cuarzo considerada como inactiva.

El silicato monocálcico es soluble en los ácidos, pero prácticamente resistente al agua, lo cual se demuestra por la existencia en la naturaleza de un mineral -wollastónita- cuya composición corresponde a la fórmula indicada. Más cuando se trata de compuestos de mayor contenido de cal, los resultados son distintos. El silicato dicálcico (2CaO·SiO₂) constituido aproximadamente por un 65% de cal y un 35% de sílice, es capaz de absorber agua, de hidratarse y de transformarse en hidrosilicato cálcico coloidal, según la fórmula:



Se produce así un disilicato tricálcio hidratado, o "cola mineral" mientras simultáneamente se libera una pequeña cantidad de hidrato cálcico.

El proceso de hidratación del silicato dicálcico se desarrolla con lentitud, en el transcurso de semanas y meses; sin embargo, después de un largo período de endurecimiento produce resistencias excelentes. La manufactura del silicato dicálcico a partir de los componentes puros; cal y sílice, por ejemplo arena de cuarzo, se efectúa rápidamente en el laboratorio mediante la fusión del conjunto crudo íntimamente mezclado. La temperatura de fusión es muy elevada (2,130°C) y se requiere el empleo del soplete oxhídrico, o acetilénico. Por lo tanto, el proceso de fusión no puede emplearse en la manufactura industrial. Sin embargo a las "reacciones en fase sólida", se forma el si-

licato dicálcico a temperatura muy inferior a la de fusión; pero en estas condiciones la velocidad de formación es mucho menor que la que se tiene en el caso de las sustancias fundidas, ya que por "fase sólida" el efecto recíproco se obtiene sólo en los puntos de contacto inmediato entre la cal y la sílice. En dichas condiciones la finura y la mezcla íntima de las materias crudas son de importancia fundamental determinante en relación con el grado de reacción, algunas mezclas crudas muy adecuadas, en las cuales los materiales reactivos frecuentemente presentan partículas de tamaño aún menor que el obtenido mediante los equipos industriales de molienda, se encuentran en la misma naturaleza, como las margas calcáreas, mezclas naturales de caliza y arcillas, a las cuales ya se hizo referencia.

Si estas mezclas se calientan cerca de $1,200^{\circ}\text{C}$, primeramente se expulsa el anhídrido carbónico de los componentes calcáreos, y la cal viva así obtenida se combina con la sílice contenida en la arcilla formando silicato dicálcico; sin embargo, no sólo la sílice, sino también la alúmina y el óxido férrico (que solo en proporción muy pequeña aparece en la mezcla), en el curso de este proceso de calcinación, se transforman en compuestos cálcicos capaces de endurecimiento hidráulico.

Debido a las dificultades que se encuentran para que se verifique la reacción en fase sólida, en el proceso industrial de cocción los compuestos deseados no alcanzan el grado hasta el cual podrían llegar teóricamente. Por lo tanto en el producto calcinado permanecen sin formar compuestos, elementos de los componentes ácidos tales como: sílice, alúmina y óxido férrico (designados como "factores hidráulicos" por el químico del cemento), así como también cantidades correspondientes a los componentes básicos, o -

sea cal, como CaO libre. Si a lo anterior se agrega la marga, tal como se emplea en la fabricación de las cales hidráulicas, contiene ya de por sí una mayor cantidad de cal que la que se puede combinar con los factores hidráulicos, aún en las condiciones más propicias de reacción, resulta que los porcentajes de cal viva finamente subdividida son importantes en la mayor parte de las cales hidráulicas calcinadas, por lo cual al agregarles una cantidad de agua exactamente determinada, se convierten gradualmente en polvo blanco, aunque de manera mucho menos enérgica que con la cal viva. Si la cantidad de cal viva libre no es suficiente para producir la finura necesaria mediante el apagado, se debe proceder a la molienda y tamizado del producto calcinado, sobre todo cuando se emplea marga pobre en cal que después de la calcinación carecerá de cal viva y no podrá, naturalmente, ni siquiera ser apagada. Estos productos denominados inicialmente cementos romanos y en la actualidad conocidos más precisamente como cales romanas, requieren en todo caso molienda a finura industrial.

2.2 TIPOS DE CEMENTO

Los cementos en general se conocieron también con el nombre de morteros y en algunos libros se encuentran con tal nombre.

Estas sustancias utilizadas como material de construcción son aglomerantes minerales que sirven para unir los elementos de construcción, puesto que aplicados entre piedras y ladrillos se endurecen espontáneamente hasta adquirir la consistencia pétreo.

El número de cementos y sustancias con las cuales se

preparan es grande y su división es difícil por la falta de líneas definidas de separación. → *Los cementos* Se pueden clasificar:

- a) por su procedencia
- b) por su proceso de fabricación
- c) por su manera de comportarse estando endurecidos.

Por necesidades prácticas es aplicable esta propiedad debido a su comportamiento de resistencia al agua y se pueden distinguir principalmente:

- a) cementos aéreos que no resisten el ataque del agua
- b) cementos hidráulicos que después de endurecidos no son atacados por el agua.

Algunos cementos aéreos son: mortero de barro, mortero de yeso, mortero de cal, (conocido también como argamasa).

Algunos cementos hidráulicos son: las cales de magnesio, el cemento romano, cemento portland, los cementos de escorias de altos hornos y los cementos mixtos de cal y adiciones hidráulicas, de los cuales estos últimos no endurecen o fraguan por si solos.] ←

Entre todos estos morteros y cementos existen numerosas clases de transición.

Primer grupo de morteros aéreos.

En la industria se dice que son las sustancias que sirven para material en las construcciones aéreas y por ser atacadas por el agua son inapropiadas para construcciones hidráulicas.

1. Mortero de barro.

Es el mortero de construcción de épocas pasadas y actualmente solo se usa en construcciones sencillas en el campo y también únicamente en el caso de no poder utilizar otra cosa, su aplicación se debe, desde el punto de vista químico a que el barro ya seco adquiere cierta compactabilidad y cierta resistencia debida a la arcilla pura, que en realidad, constituye la sustancia fundamental de todas las clases de barro; no se puede formar un mortero de construcción, porque al secar se contrae, es por esto que se mejoran con sustancias fibrosas y generalmente se utilizan para pisos; pero se deben proteger de la humedad.

2. Mortero de yeso.

Este se funda en las transformaciones que la piedra de yeso natural $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ experimenta bajo la acción del calor, esto es a 65°C , pasando del hidrato, por separación de una y media moléculas, de agua al hemihidrato $(\text{CaSO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y hasta los 190°C pierde el resto del agua, y se forma el yeso de estucos anhidro; si se sigue calentando forma diferentes productos sin poderse utilizar como mortero y finalmente a 1400°C se separa parte de SO_3 y desacidificado se transforma en un material que fragua bien mediante adición de cal viva; en Alemania se usan como morteros corrientes de construcción, así como en el norte de Francia.

3. Mortero de cal o argamasa.

Exceptuando las sustancias para mortero que se acaban de tratar, el barro y el yeso, casi todas las sustancias para morteros que se conocen son morteros de cal en el sentido amplio de la palabra, pues tiene como componente la cal (óxido de calcio). Aquí en cambio el concepto de morte

ro de cal se debe restringir y referirse tan solo al mortero común de cal aéreo, mientras que todos los morteros hidráulicos, es decir, donde predomine por completo la cal, no deben contarse en este sentido como argamasas.

El empleo de piedras calizas naturales para preparar morteros de cal se funda en el hecho químico generalmente conocido de que el carbonato de calcio se descompone por calor en óxido de calcio y bióxido de carbono, y que el óxido de calcio se combina con el agua originando hidróxido de calcio y que este por absorción de bióxido carbono, se transforma de nuevo en carbonato de calcio, con lo cual la masa, bajo las condiciones en que se encuentra el mortero, toma la dureza de una piedra.

La materia prima para la preparación del mortero de cal la ofrecen los yacimientos naturales de piedra caliza que se presentan en numerosas formaciones geológicas con una multiplicidad extraordinaria. El carbonato de calcio completamente puro se encuentra con bastante rareza; por ejemplo el espato de Islandia y en algunas clases de mármoles muy puros. Generalmente el carbonato de calcio natural contiene ciertas cantidades de carbonato de magnesio en mezclas isomorfas, en las cuales en el contenido de magnesio no pasa de centésimas; la mayor parte de los yacimientos de carbonato de calcio naturales contienen, silicato de hierro y silicato de aluminio y a veces ácido silícico libre, es decir, los componentes de la arcilla.

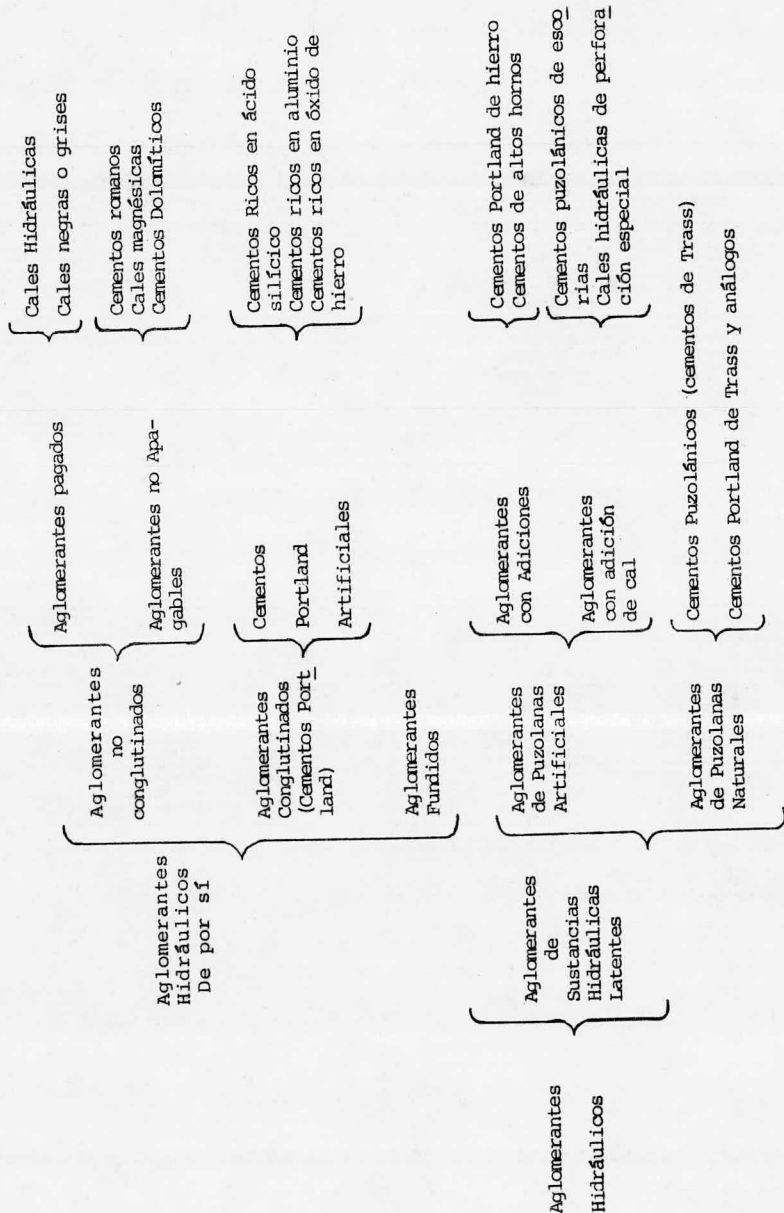
Dependiendo del contenido de arcilla reciben el nombre de "margas".

La preparación del mortero aéreo, tiene solo aplicación de piedra caliza en un elevado tanto por ciento, y los

yacimientos ricos en cal de piedra caliza margasa. Los demás yacimientos, con un contenido inferior de cal no son buenos para la producción del mortero hidráulico.

Segundo grupo morteros hidráulicos.

El concepto mortero o cemento hidráulico, abarca una serie de materiales para mortero, que según el modo de su fabricación, sus propiedades y los procesos que se desarrollan en su fraguado son muy distintos y cuya división no puede, por lo tanto, hacerse sin dificultades. Todos ellos tienen en común que se forman por la combinación de cal y el magnesio, con ácido silícico, alúmina y óxido de hierro, de los cuales los tres últimos componentes citados se designan con el nombre de factores hidráulicos, pues -- son los que vuelven hidráulica a la cal, que en sí no lo es.



TIPOS DE CEMENTOS EN GENERAL

En México se fabrican los siguientes tipos de cemento portland:

Tipo I Común o normal

Tipo II modificado

Tipo III de resistencia rápida

Tipo IV de bajo calor

Tipo V de alta resistencia a los sulfatos

Cemento blanco

Portland-puzolana

Portland - escoria de alto horno (Alto-horno portland)

Cemento de alañilería

Todos estos cementos, con características especialmente adecuadas para satisfacer las necesidades peculiares de las distintas clases de construcción, se fabrican bajo especificaciones de diversas normas oficiales de calidad.

Tipo I - Cemento portland común - Para usos generales en donde no se requieren las propiedades especiales de los otros tipos. Se caracteriza por tener altas resistencias mecánicas y altas generaciones de calor durante su hidratación. No apto para concreto en masa. Se emplea en construcciones de pavimentos y banquetas, edificios de concreto reforzado, puentes, tanques, productos prefabricados, trabajos de mamposterías, y para todos los usos del cemento o concreto no sujetos al ataque de suelos o aguas sulfatadas o donde el calor generado por la hidratación del cemento no cause una elevación de temperatura objetable.

Tipo II - Cemento portland modificado. Este cemento presenta características intermedias entre el común por una parte, y el de bajo calor y el resistente a los sulfatos, -

por la otra. Con características de resistencias similares a las del cemento común, presenta menor calor de hidratación, mayor resistencia a aguas y suelos sulfatados y en general adecuado para obras hidráulicas. En México se emplea con éxito en la construcción de grandes presas. Se emplea también en otras estructuras de tamaño considerable como en grandes muelles, contrafuertes de gran espesor y grandes muros de contención en los cuales es necesario reducir la elevación de la temperatura, especialmente cuando el concreto se coloca en ambiente caluroso. En tiempo de frío cuando el calor generado es ventajoso, puede ser preferible el cemento tipo I o el tipo III. El cemento tipo II también es adecuado para colocarse en lugares en donde deba tomarse precaución adicional contra el ataque moderado de sulfatos, como en estructuras para drenaje donde las concentraciones de sulfatos en las aguas subterráneas son más altas que las normales, pero no muy severas.

Tipo III - Cemento portland de resistencia rápida. - Es el que desarrolla mayor resistencia a primeras edades, y así, su resistencia a 7 días es comparable con la del tipo I a 28 días.

Por sus altas resistencias tempranas se emplea cuando se requiere descimbrar pronto, para poner rápidamente el concreto en servicio, en clima frío para reducir el período de protección contra la baja temperatura, y cuando se deseen altas resistencias a edades cortas, puede ser más satisfactorio o más económico su empleo que el uso de mezclas ricas con cemento tipo I. Genera mucho calor al hidratarse y a velocidad mayor que el tipo I; al igual que éste tampoco resiste el ataque de los sulfatos. No es apto para concreto en masa, sino para estructuras en donde pueda disiparse rápidamente el calor. Es recomendable para inyecciones-

por su elevada finura, la cual es bastante más alta que la de los otros tipos de cemento.

Tipo IV - Cemento portland de bajo calor. Genera al hidratarse menos calor que los otros cementos y, a menos velocidad reduce el agrietamiento que resulta de las grandes elevaciones de temperatura y la contracción consiguiente - con la caída de la misma. Posee buena resistencia a los sulfatos. El desarrollo de la resistencia mecánica es lento - a edades tempranas, pero de igual resistencia a la de los demás cementos a edades avanzadas (6-12 meses). Es especial para usarse en grandes masas de concreto como en presas en donde la elevación de temperatura resultante del calor generado durante su endurecimiento, es un factor crítico.

Tipo V - Cemento portland de alta resistencia a los sulfatos - Es especial para usarse en construcciones expuestas a la acción severa de los sulfatos. El grado de desarrollo de resistencia puede ser algo más lento en las primeras edades que el del cemento portland común pero igual - o mayor resistencia a edades avanzadas (6-12 meses). Es beneficioso en revestimiento de canales, alcantarillas, tuneles, sifones y en general en todo tipo de estructuras que con están en contacto con suelos y aguas subterráneas que contengan sulfatos en concentraciones tales que pudieran causar deterioro del concreto si se empleara otro tipo de cemento. La generación de calor también es baja.

Cemento Portland blanco. La diferencia de este respecto a los otros cementos portland radica en su bajo o nulo contenido de óxido férrico, de ahí su color blanco. Su proceso de fabricación es semejante al de los demás cementos, la diferencia estriba en que las calizas que se emplean como materia prima son nulas en óxido férrico y las arci -

llosas se sustituyen por caolín que es un material blanco - a base de sílice y óxido de aluminio y muy bajo en óxido férrico. Una variante en la fabricación consiste en que los forros y bolas de los molinos de crudo y acabado están hechos a base de cuarzo y no de acero, con el fin de no contaminar el cemento con rebabas de fierro que podrían proporcionarle color gris. Este cemento tiene mayor aceptación - mientras menor sea su contenido de óxido férrico. La norma mexicana lo considera clasificado en el tipo I (común). En general a igual finura desarrolla resistencias más bajas - que el tipo I. Este cemento se emplea generalmente para - usos decorativos o arquitectónicos, terrazos, mosaicos, estucos, esculturas, etc., pudiéndose usar también para ciertos tipos de estructuras.

Cemento Portland - puzolana. Este consiste en una - mezcla íntima y uniforme de cemento portland y puzolana, la cual se obtiene a través de la molienda simultánea de clínker portland, puzolana y yeso. La puzolana forma del 15 al 30% de la mezcla total.

Las puzolanas son materiales silíceos y silíceo -- aluminosos, que en presencia de humedad reaccionan químicamente con la cal que se libera durante la hidratación del - cemento portland para formar compuestos con propiedades cementantes. Es decir, en esta forma se aprovecha benéfica - mente la cal que queda como "desperdicio" de los cementos - portland y que bajo algunas condiciones de exposición puede llegar a ser perjudicial.

Las puzolanas que pueden emplearse en la manufactura de cementos portland-puzolana, incluyen materiales naturales del tipo de las cenizas volcánicas, pómez, tierra de - diatomáceas, esquistos, pizarras, etc.; ciertos materiales

activados por calentamiento y algunos subproductos industriales como las cenizas volantes algunos tipos de escoria, etc..

Las puzolanas se emplean en los cementos para mejorar su resistencia química, pudiendo producir también algunos efectos benéficos en el concreto como son mejorar la trabajabilidad, reducir la generación de calor y contracción térmica, aumentar la impermeabilidad, mejorar la resistencia al ataque de los sulfatos, reducir la reacción alcali-agregado y reducir la segregación y sangrado.

El cemento portland-puzolana se emplea principalmente en concreto para obras hidráulicas y marítimas.

Cemento portland - escoria de alto horno. Es el producto que se obtiene por la molienda simultánea de clinker portland, escoria granulada de alto horno y yeso. En la elaboración de este cemento se emplea de 30 a 70% de escoria.

La escoria básica granulada es el producto no metálico compuesto esencialmente de silicatos y aluminatos cálcicos, procedente del alto horno empleando en la metalurgia del hierro. Esta escoria se obtiene por enfriamiento rápido de la masa fundida en agua. La escoria básica granulada no debe considerarse solamente como una puzolana sino como un verdadero cemento hidráulico, latente o potencial, para cuya hidratación se requiere la presencia de cal hidratada, y yeso, al igual que las puzolanas, la escoria de alto horno se adiciona al cemento portland para mejorar ciertas propiedades del mismo.

La actividad de la escoria no sólo depende de su com

posición, sino también de su enfriamiento rápido, que inhibe su cristalización y permite obtener un elevado contenido de material vítreo. La escoria cristalizada a diferencia de la vítrea, no presenta propiedades hidráulicas. En el enfriamiento con aire que es suficiente para el tratamiento de clinker portland a su salida del horno rotatorio, no basta en general para la escoria fundida que sale del alto horno, sino que se requiere enfriarla mediante chorro de agua, o bien dejándola caer a un tanque con agua, o combinando ambos procesos de enfriamiento. El agua de enfriamiento presenta además la ventaja de que permite eliminar de un 5 a un 10% del azufre contenido en la escoria. Dicho azufre se desprende en parte como gas (hidrógeno sulfurado) y en parte se transforma en sulfuro de calcio que se disuelve en el agua.

Obtenidas las escorias en la forma indicada, deben molerse finalmente junto con el cemento, el cual proporciona la cal que reaccionará con la escoria. Estos cementos generalmente alcanzan mayores finuras que los cementos portland por ser la escoria más frágil.

El cemento alto horno portland es especialmente útil en concretos para obras hidráulicas o marítimas, pudiéndose emplear además en cualquier tipo de estructura.

Cemento de albañilería. Es el material clásico para ser mezclado con arena fina y agua y producir un mortero plástico y cohesivo para pegar unidades de mampostería como tabiques de arcilla o concreto, bloques de concreto y piedras artificiales o naturales.

Este cemento se obtiene por la molienda conjunta de clinker, portland, caliza y yeso, pudiéndose emplear además-

algún inclusor de aire. En vez de caliza pueden utilizarse también los polvos de chimeneas recolectados durante la fabricación del cemento portland.

El cemento de albañilería es un cemento de tipo hidráulico que cumple con mucha amplitud las más altas especificaciones requeridas en los trabajos de albañilería. La ventaja de este cemento respecto a otros tipos de cementos recomendados para el mismo fin, consiste en su mayor plasticidad, cohesividad, mayor resistencia, menores cambios volumétricos y mayor poder de retención de agua, lo que evita que el bloque o tabique seco absorba el agua del mortero y le reste dicho elemento, indispensable para que desarrolle toda su resistencia y además se evita el resecamiento de la mezcla de mortero que de otro modo provocaría contracción y agrietamiento tendiendo a separarse la junta entre tabique y mortero.

Además de los usos mencionados, el cemento de albañilería se utiliza para toda clase de aplanados y para firmes de concreto.

Cemento para grandes profundidades

Además de la manufactura del cemento especial hidrorrepelente, se debe sobre todo recordar los importantes cementos empleados en los pozos profundos (para petróleo). En la cementación de dichos pozos, a unos cuantos kilómetros de profundidad, los cementos tienen que soportar temperaturas hasta de unos 1500°C y presiones hasta de unas 1,000 atmósferas. Para manufacturar estos cementos se requiere añadir un porcentaje suficiente de mineral férrico, que elimine el aluminato tricálcico y en la molienda del clinker agregar adiciones retardadoras de fraguado. En dichas condicio

nes es posible obtener un fraguado perfecto aún bajo las -
circunstancias extremas precipitadas.

Cementos (Aereantes)

Aún cuando los cementos que contienen adiciones ae -
reantes no se venden en otros países fuera de los U.S.A., -
es de observar que para quienes elaboran mezclas cuya pro -
porción a través de largos meses se conserva en condiciones
bastante uniforme, como, por ejemplo, en las fábricas de -
productos prefabricados de hormigón, puede ser una ventaja -
disponer de dichos cementos. En las obras frecuentemente -
se presentan variaciones en la granulometría de los agrega -
dos, en las proporciones, tipo de hormigonera, temperatura,
etc., de tal modo que la proporción de adición aereante ne -
cesita irse variando -adaptando- de acuerdo con las condi -
ciones del caso.

Cemento blanco.

De importancia creciente es el desarrollo en la ma -
nufactura del cemento portland blanco, que viene empleándose
sobre todo en la industria de prefabricado de hormigón, ya -
sea con su propio color o bien mezclado con pigmentos ade -
cuados (cemento coloreado).

El cemento blanco se manufactura con caliza exenta -
de óxido férrico, combinándolo con arena de cuarzo y con -
caolín. Hoy en día este producto, satisface prácticamente
todas las exigencias de la norma y sus características de -
resistencia, fraguado, etc. no se distingue prácticamente -
de las de un cemento portland normal.

Cemento expansivo.

Se menciona para concluir, aún cuando sólo se emplee en casos completamente excepcionales, el "cemento expansivo". Se trata de una mezcla de cemento portland, con un componente rico en aluminio, calcio, yeso y escoria de altos hornos. El componente a base de aluminio y calcio, en contacto con el agua reacciona con el yeso y produce la expansión correspondiente al sulfato-aluminato cálcico.

La escoria de altos hornos actúa como moderadora, reguladora de la expansión, pues se combina con sulfo-aluminato cálcico excedente y detiene así oportunamente un incremento exagerado en el efecto expansivo.

Para contrarrestar la contracción por resecamiento, el grado de expansión puede variarse a voluntad dentro de determinados límites que equivalen exactamente al grado de contracción por resecamiento correspondiente a la mezcla respectiva. Se obtiene así un cemento de contracción nula. Si en vez de equilibrar exactamente ambos factores, se aumenta en la mezcla de hormigón el contenido de cemento expansivo, se podrá entonces aprovechar esta circunstancia para producir una auto-pre-compresión en las estructuras respectivas. Dado que el control del proceso de expansión es difícil de dominar y que la magnitud de la fuerza precompresiva es bastante limitada, el empleo de este interesante cemento especial hasta ahora no ha podido extenderse.

2.3 PROPIEDADES QUIMICAS, FISICAS Y FISICO-QUIMICAS

→ [La propiedad esencial de los cementos hidráulicos, con vistas a su empleo en hormigones, es la de dar, mezclados con agua, una pasta que fragua y endurece, tanto al aire como bajo el agua.]

El cemento se empezó a emplear antes de conocer las reglas que rigen el mecanismo de su fraguado y endurecimiento, como resultado de las reacciones de sus constituyentes con el agua, provocando su hidratación.

Los trabajos de Le Chatelier, a finales del siglo pasado, produjeron valiosas aportaciones al conocimiento del proceso del fraguado y endurecimiento, que han sido continuados por numerosos investigadores.

En principio, según Le Chatelier, los constituyentes del cemento en presencia de agua, entran en solución en el orden de su grado de solubilidad. Siendo más solubles los constituyentes anhidros que los hidratados, la solución se hace sobresaturada con relación a estos últimos; entonces, dichos constituyentes hidratados se separan por cristalización, permitiendo la disolución de nuevos constituyentes anhidros y, en consecuencia, llegan a sobresaturarse la solución de constituyentes hidratados que cristalizan, y así sucesivamente. Esta explicación es la base de la llamada teoría "cristaloide".

Por otro lado, Michaelis presenta una segunda teoría, llamada teoría "coloide", según la cual, aunque admite la formación de cristales de aluminato tricálcico y cal, considera que los silicatos hidratados se precipitan en forma de gel que rellene los huecos de aquellos cristales, endureciendo y cediendo, progresivamente, su agua, para continuar la hidratación del resto de los componentes anhidros.

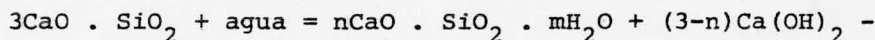
La razón por la que un cemento hidráulico desarrolla sus propiedades aglomerantes, al mezclarse con el agua, sigue siendo materia de discusión, a pesar de que se han hecho grandes progresos en los conocimientos sobre las reac -

ciones de hidratación y la naturaleza de los constituyentes hidratados de los cementos endurecidos, con el empleo de modernas técnicas físico-químicas, tales como análisis térmico-diferencial, rayos X, microscopio electrónico, etc.

Hidratación de los constituyentes mineralógicos

El estudio separado de la hidratación de cada uno de los constituyentes del clinker, conduce a las siguientes conclusiones, generalmente aceptadas, aunque algunas de ellas continúan en parte en discusión.

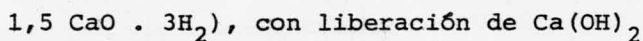
El silicato tricálcico reacciona rápidamente con el agua, según la fórmula:



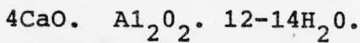
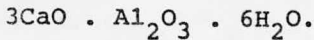
El silicato dicálcico reacciona lentamente, según una fórmula análoga, liberando una cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ inferior.



En ambos casos, queda en libertad hidróxido cálcico: el valor de n varía según los investigadores, entre 1 y 2, pudiendo establecerse que los productos de hidratación del C_2S y C_2S tienen una composición media próxima a:

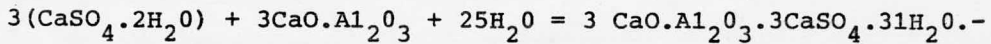


El aluminato tricálcico reacciona con gran rapidez con el agua; en presencia del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ producido en la hidratación de los silicatos se forman aluminatos hidratados que cristalizan en el sistema hexagonal:



La formación de uno u otro dependerá de la riqueza - en cal de la fase líquida de la pasta de cemento. En cementos ricos en cal, es probable que sólo se forme el segundo.

En presencia de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (adición al clinker). - se disminuye la solubilidad de los aluminatos anhidros, la - formación de aluminatos hidratados se sustituye por una combinación más estable, sin formación previa de aquellos: el sulfoaluminato cálcico (sal de Candlot):



Se ha confirmado la existencia de una variedad de - sulfoaluminato pobre.

Estas precipitaciones reducen la movilidad de los - granos de la pasta y por tanto, aumentan su viscosidad, o - sea el fraguado más tarde, las partículas se aprietan entre sí por interposición de cristales y adherencia coloidal, - dando a la pasta cohesión y dureza o sea el endurecimiento.

→ [Fraguado

El fraguado se caracteriza por el paso de la pasta - al estado sólido; este cambio puede observarse, a grosso - modo, por simple presión con un dedo, o bien determinarse - un principio y un final de fraguado mediante ensayos norma - lizados, más o menos convencionales.]

Los primeros constituyentes en reaccionar con el a - gua son los aluminatos y después los silicatos. Si no se -

añade un retardador de fraguado al cemento, los aluminatos se hidratarán tan rápidamente que la pasta se "agarrotará"- como consecuencia, de un fraguado inmediato. La presencia de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ impide este inconveniente, por su reacción con los aluminatos para formar el sulfoaluminato, poco soluble; la concentración en aluminatos se mantiene por debajo de la saturación, impidiendo la precipitación de los aluminatos hidratados.

Esta nomenclatura usada en cemento se especifica en la página que se refiere al capítulo de la Composición del Cemento.

Esta situación subsiste en tanto existen CaSO_4 , progresando simultáneamente la hidratación del C_3S y reduciendo, en conjunto, el agua libre de la pasta, insuficiente ya para mantener su fluidez. El fraguado continúa, por hidratación del C_3A que subsiste y por progresiva hidratación del C_3S .

En la práctica, el hecho de que pueda regularizarse la velocidad con que el cemento amasado pierde su plasticidad hace que sea un producto útil en construcción; una reacción rápida dificultaría un transporte y moldeo cómodo del hormigón; una reacción lenta aplazaría excesivamente, el desarrollo de resistencias mecánicas.

En la fábrica, esta regulación se consigue controlando la cantidad de yeso añadida al molino junto con el clínker. Existen productos, tales como el ácido bórico y sus sales, los cloruros, etc., que también retardan el fraguado, pero éstos no pueden competir económicamente con la piedra de yeso.

Se llama falso fraguado a un prematuro "apelotamiento"

to" de la pasta que tiene lugar de 1 a 5 minutos después de comenzar el amasado. La causa más común es la deshidratación parcial del yeso a yeso hemihidratado provocado por exceso de temperatura en la molienda de cemento; el yeso en su hidratación desarrolla un rápido endurecimiento de la masa. Un remedio normal es enfriar el molino o bien el clínker antes de su entrada a aquél.

→ [Endurecimiento]

En realidad, fraguado y endurecimiento no son más que dos estados, separados convencionalmente, de las reacciones de hidratación en continuo progreso, extensibles a todos los constituyentes del cemento.

[El endurecimiento se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas, del cual son responsables los constituyentes del clínker,] en curso de hidratación, en el siguiente orden:

1. Aluminato tricálcico, de rápida y corta duración (7-28 días), función del contenido de yeso.
2. Silicato tricálcico, con una aportación inicialmente importante, y continuada por bastante tiempo.
3. Silicato dicálcico, con aportación débil al principio, pero notable a partir de los 28 días asemejándose al C_3S .
4. Ferritoaluminato tetracálcico, de acción débil y mal definida.

En realidad, el fenómeno físico real no tiene fases-

definidas a lo largo del endurecimiento; las partículas de cemento se hidratan por contacto del agua formándose progresivamente, algunos compuestos microcristalinos y una gran parte de compuestos microcristalinos asimilables o coloides. El endurecimiento queda, entonces, gobernado por la naturaleza y estructura de estas películas coloidales que recubren los granos, a través de las cuales progresará la hidratación hacia el núcleo del grano.

Según Boque, la velocidad de penetración de la hidratación en los granos del cemento es del siguiente orden:

0,5 en 24 horas
 1,7 en 7 días
 3,5 en 28 días
 5,0 en 90 días

Esto demuestra que la hidratación es un proceso lento, y que el grado de molienda es de mucha importancia para el desarrollo del endurecimiento de los cementos.

→ [^{Las} Otras variables de importancia en el desarrollo del endurecimiento son la temperatura, el agua de amasado, las condiciones atmosféricas, consecuencia de las anteriores, - la existencia de materias inorgánicas, etc.]

→ [Finura de molienda.

La finura del cemento juega un papel importante, por su notoria influencia en el desarrollo de las principales propiedades físicas y mecánicas de las pastas e, indirectamente de motores y hormigones estas propiedades son: velocidad de fraguado y endurecimiento, estabilidad, retracción, calor de hidratación y resistencias mecánicas.]

Como en todo proceso químico, la cinética de las -- reacciones se favorece al aumentar la superficie de contacto, la que por otro lado, crece en razón inversa del tamaño de grano producido durante la molienda. Otra variable que se ve favorecida es la velocidad de difusión de los productos a reaccionar a través de los de reacción, con el consi-

quiente aumento en la velocidad de desarrollo de sus propiedades; por desgracia, la difusión entre sólidos es siempre lenta.

→ [PROPIEDADES FISICOQUIMICAS]
 [Calor de Hidratación]

Las reacciones del cemento portland con el agua son exotérmicas, es decir, desprenden calor, con la consecuente elevación de la temperatura de la pasta. El desarrollo de calor es rápido durante el fraguado y parte del endurecimiento, disminuyendo progresivamente, al hacerse la hidratación más lenta y desprender menos calor los últimos constituyentes que entran en reacción.]

El grado de intervención de cada constituyente del clinker, en el calor desprendido y después de su hidratación total, es el siguiente:

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

En cemento portland corriente, el desarrollo de calor con el tiempo es del siguiente orden:

50%	de 1 a 3 días
65-80%	a 7 días
85-95%	a 6 meses

El estado de vitrificación de alguno de los componentes del clinker proporciona además un calor latente de cristalización, calor que se suma al de hidratación. En la práctica oscila de 36 a 50 cal/g, según Lerch, definiéndose

por el módulo de fundentes.

En resumen el calor desarrollado es función de las - proporciones de sus diversos constituyentes, y es una pro - piedad de interés en ciertas aplicaciones.

→ [Estabilidad de Volumen

Para que un cemento sea estable, es preciso que nin - guno de sus constituyentes sufra, una vez puesto en obra, - una expansión destructiva. Es probablemente la propiedad - tecnológica más importante de un cemento.]

Los cuatro constituyentes básicos no pueden provocar inestabilidad, ya que su volumen después de la hidratación, aunque mayor que el de los constituyentes anhídridos y el - agua necesaria para su hidratación; es de objetar el esta - do físico del aluminato tricálcico-vítreo o cristalino, se - gún el grado de enfriamiento, por su velocidad de reacción - variable, mayor en el primer caso. Por el contrario, la - magnesia libre y cristalizada se hidrata sin disolución pre - via y con esta "extinción" pasa a un estado pulverulento - con marcada expansión; la segunda es de extinción más len - ta y en consecuencia, más peligrosa, siendo muy importante - en los efectos, la velocidad de enfriamiento del clínker, - (si es rápido se encuentra disuelta en la fase vítrea; si - es lento en forma de periclasa cristalizada).

[Las variaciones de volumen de un cemento son relati - vamente débiles y se deben a dos causas esencialmente dife - rentes:

A la expansión, producida por las reacciones de hi - dratación del cemento y a la retracción, motivada por las -]

→ [condiciones higrométricas de conservación, es decir, por una causa física; surge por consiguiente, cuando se expone al aire y se reseca el material, durante y después del endurecimiento.]

Ensayos de la estabilidad de volumen

Con el fin de descubrir la presencia nociva de compuestos expansivos en los cementos y prevenir su comportamiento a largo plazo, los investigadores han ideado un cierto número de ensayos, que se pueden clasificar en dos categorías:

1. Ensayos en condiciones normales. Entre ellos se encuentra el ensayo sobre galleta de pasta pura bajo agua a 18°C, durante 28 días. Es un ensayo cualitativo.
2. Ensayos en condiciones aceleradas. Entre ellos se encuentran:
 - a) Ensayo de galleta de pasta pura, por tratamiento en agua hirviendo varias horas.
 - b) Ensayo de galleta de pasta pura, por tratamiento en vapor de agua a 100°C.
 - c) Ensayos de cilindros de pasta pura con las agujas de Le Chatelier, en las condiciones de los apartados a) y b).
 - d) Ensayo de anillos de pasta y tratamiento en agua hirviendo.
 - e) Ensayo de primas de pasta pura, por tratamiento al vapor sobrecalentado y saturado, en autoclave.

Los dos primeros son ensayos cualitativos y los de más cuantitativos.

Resistencia a los agentes físicos y químicos

Como se sabe, la resistencia mecánica de un cemento es de capital importancia en la mayor parte de las obras, - en ciertos casos estas obras están expuestas a algunos agentes externos cuyo comportamiento frente a ellos adquiere una gran importancia también.

[Agentes Físicos

Entre ellos los más destacados son el hielo y la -- cristalización de sales.

La causa de la acción destructiva es la misma en ambos casos: fuerza de expansión desarrolladas en la cristalización del agua o las sales.

Para combatir estos fenómenos se recomienda hacer - hormigones compactos y suficientemente ricos en cemento, o bien dar "flexibilidad" al mortero mediante adiciones en el cemento.]

[Agentes Químicos

Las destrucciones de orden químico, en la parte de cemento endurecida puede deberse a tres grupos de causas - principales:

- a) Gases contenidos en la atmósfera o en humos (CO_2 , SO_2)
- b) Aguas puras, turbias, ácidas, seleniosas y marinas.
- c) Compuestos fluidos o sólidos de naturaleza orgánica- (aceites, grasas, combustibles, etc.).]

En principio, las aguas puras destruyen por su gran poder de disolución; y las ácidas y salinas, o por trans -

formación de los constituyentes del cemento en sales solubles que se eliminan por lavado, o bien por la formación de nuevos compuestos incoherentes o expansivos (como la sal de Candlot, por ejemplo).

Se puede decir que los constituyentes más ricos en cal (C_3S , p.e.) son los que resisten peor a los ácidos, incluso débiles, comenzando por el $Ca(OH)_2$ liberado en el curso del endurecimiento. Igualmente ocurre en presencia de soluciones salinas, las cuales sustituyen sus bases por cal para formar sales cálcicas menos solubles; a veces estas sales cálcicas forman nuevos compuestos, de naturaleza perniciosa, con los demás componentes del cemento (caso de las aguas sulfatadas y agua de mar).

Un compuesto muy débil frente a las aguas sulfatadas es el aluminato tricálcico; el sulfato cálcico contenido en las aguas seleniosas es el enemigo número uno de los cementos con cierto contenido de C_3A , por formar con él, el trisulfo-aluminato-cálcico: $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$, de carácter expansivo. Igualmente se puede decir de las sales tipo sulfato disueltas en el agua de mar. El resto de sales forman cloruro cálcico, solubilizando la cal de la pasta fraguada.

Resumiendo, se dice que hoy en día se ha conseguido una mejora en la resistencia de los cementos portland a las aguas puras y ligeramente ácidas, aumentando su contenido en SiO_2 , en detrimento del C_3S . Por otro lado, se han conseguido resultados análogos en relación con la resistencia a aguas sulfatadas y al agua de mar, reduciendo el contenido de C_3A bien reduciendo el porcentaje de Al_2O_3 o bien elevando la proporción de Fe_2O_3 (o sea, de C_4AF).

C A P I T U L O I I I

FABRICACION DEL CEMENTO

FABRICACION DEL CEMENTO

3.1 EQUIPO

→ [Al diseñar una planta de trituración, de cualquier capacidad, es importante una buena elección del triturador primario, ya que es una máquina grande y cara.] Hay un gran número de factores a tener en cuenta, que no sólo influyen en el tipo de máquina a elegir, sino también en los detalles de su construcción.

Entre ellos se citan los siguientes:

Naturaleza y Consistencia de los Materiales a tratar

Las rocas y los materiales en general, pueden clasificarse en blandos, medios, duros y muy duros.

Entre los materiales blandos: el yeso, el carbón, la pizarra y la caliza blanda.

Entre los de dureza media: la caliza, la dolomita, el clínker y la arenisca.

Entre los duros: el granito, la cuarcita, el mineral de hierro y la grava.

Y entre los muy duros: algunos del grupo anterior y otros.

En realidad, no puede hacerse una clasificación precisa y los grupos se solapan, siendo difícil definir numéricamente su grado de resistencia a la trituración. Hay rocas que se consideran muy duras y sin embargo, son frágiles y fáciles de triturar; otras, por el contrario, más blandas (la caliza por ejemplo) pueden ser muy tenaces y ofrecer gran resistencia al desmenuzamiento. En todo caso, lo más seguro es realizar, previamente, ensayos de trituración por compresión e impacto, bien sobre probetas-testigo, o bien sobre muestras tomadas de la superficie externa, una vez eliminada la capa vegetal y expuesta al ambiente.

→ [Al pensar en un triturador, han de tenerse en cuenta el poder abrasivo y la dureza de los materiales; las aleaciones de las piezas que han de trabajar, en contacto directo con aquellos, deben reunir condiciones de acuerdo a cada caso.]

Situación de Cantera

El estado en que se encuentran los materiales, una vez abatidos en cantera, es el segundo factor a considerar en la selección de máquinas.

El yacimiento, en forma de estratos delgados, suele producir durante la voladura, material suficiente y reducirlo a tamaños pequeños. Entonces entran en consideración, bien los trituradores giratorios (para rocas duras) o bien molinos de martillos (si la roca es blanda y no abrasiva).

Si las rocas en el yacimiento se encuentran en masas compactas, es más probable que se produzcan grandes blo --

ques; estos exigirán o un triturador de mandíbulas o un triturador giratorio de grandes dimensiones.

→ [Capacidad del Triturador Primario

En ningún caso debe tomarse como única base de capacidad la de producción de la fábrica.

En primer término, debe considerarse el tanto por ciento de tiempo que trabaja la máquina y la uniformidad con que se produce la alimentación.

Esto, a su vez depende del número y tamaño de palas-cargadoras y de la capacidad y número de unidades en el sistema de acarreo.

También pueden producirse retrasos por desplazamientos de palas (especialmente cuando sólo se usa una), por taqueo de grandes bloques o porque condiciones atmosféricas interrumpen los trabajos en cantera.

Por tratarse de un trabajo en cantera, también conviene realizar la tarea diaria durante las horas de luz natural.

Con el objeto de preveer las consideraciones hechas, el triturador primario tendrá una capacidad valorada de 30-50% por encima del resto de las instalaciones de fábrica.

En ocasiones, la elección se hace cuidando futuras ampliaciones, o bien puede disminuirse el ritmo de trabajo para reducir la carga de las máquinas y alargar su vida.]

→ [Tamaño Máximo de Alimentación]

La tendencia creciente hacia la mecanización en las operaciones de cantera, lleva consigo el manejo de materiales de mayor tamaño y requiere la instalación de máquinas adecuadas.

[El tamaño máximo de alimentación debe ser del 70% al 75% de las dimensiones de la boca de entrada que, hoy en día alcanzan valores de hasta 2 x 2 metros.

Simultáneamente, este tamaño máximo debe relacionarse con la capacidad máxima de las palas, dependiendo el número y tamaño de éstas, de la longitud del frente de cantera.

Finalmente, el tamaño de alimentación máximo regula la necesidad de realizar o no, sucesivas etapas de trituración antes de llegar a la fase de molienda.]

[Grado de reducción]

Fijados la capacidad y el tamaño máximo de alimentación, se plantea el problema de establecer el tamaño máximo en la descarga para que el triturador pueda trabajar con pleno rendimiento.

[Ciertas máquinas como los trituradores de mandíbulas y giratorios, tienen pocas posibilidades de ajuste, teniendo en cuenta el desgaste producido en sus elementos por la abrasión. Entonces el material de salida crece de tamaño, y esto debe preverse para elegir el triturador secundario y los elementos de clasificación previos, si existen.]

[Grado de reducción es la relación de los diámetros -]

[medios del material a la entrada y a la salida de la máquina.]

[Máquinas trituradoras

La variación considerable en las condiciones y necesidades de cada fábrica ha hecho que se hayan desarrollado un gran número de tipos de trituradoras, cada una de aplicación a un número de misiones y capacidades limitadas. El trabajo bien aprovechado de estas máquinas, ya sea en una o varias fases, economiza considerablemente el proceso posterior de molienda que hoy en día es el más caro de la fabricación a causa de su bajo rendimiento.]

Entre varias máquinas de trituración pueden considerarse como principales las siguientes:

Trituradora de mandíbula

Probablemente es la máquina de trituración más antigua en su empleo. Es muy adecuada para grandes bloques y materiales duros, secos y cristalinos: produce un tamaño de salida muy uniforme.

Trituradora giratoria de cono

De creación más reciente que la anterior. Como máquina de trituración primaria es menos indicada que la anterior y su trabajo es muy similar a aquella, pero en escala de tamaño de alimentación inferior; es una mandíbula continua, de forma de cono con gran potencia de trituración.

Trituradora de martillo

Puede aplicarse como máquina de primera y segunda --

fase en la trituración y se construyen con uno o dos juegos de martillos. Produce más finos a su salida que las anteriores y es muy indicada para preparar la alimentación de los molinos. Se fabrican hasta capacidades de producción muy próxima a las de mandíbulas.

→ [En este caso se utilizan
Trituradora de rodillos

Son máquinas indicadas para la trituración de arcilla, grava o materiales similares blandos. Se fabrican de varios tipos: superficie lisa o superficie corrugada, velocidad de rodillos igual o distinta, etc.] De todas las mencionadas [es la máquina que presenta menor factor de reducción.]

Además existen otras máquinas de trituración que combinan elementos de algunas de las ya mencionadas (mandíbula-rodillo, mandíbula-martillos, etc.).

[La trituración se hace, normalmente en dos etapas según el grado de reducción obtenido a la salida de la machacadora:

Trituración primaria hasta 6 - 9 cms.

Trituración secundarias hasta 1,5 cms.]

Transportes de cantera

Para el transporte del material triturado se usan distintos elementos, adaptados y combinados para las circunstancias de cada instalación, unos simplemente para transportes y otros de elevación. Entre los principales se pueden citar los transportadores de sacudidas, transportadores de cinta (de goma o metálica), transportadores de cadena, elevador de cangilones, etc.

→ [Transportes a la fábrica]

Los métodos de transporte de las materias primas a la fábrica dependen principalmente de las condiciones topográficas.

Si el terreno de cantera a fábrica está nivelado y no hay curvas pronunciadas, el método más económico es el de vagones de ferrocarril con locomotora eléctrica o de aceite.

En ciertos casos y si la distancia a salvar es pequeña, pueden emplearse cintas transportadoras.

Hoy en día en muchas instalaciones modernas y para distancias no muy grandes, se emplea el transporte en autocamiones especiales con gran capacidad de carga; es un método de mucha flexibilidad en el trabajo, pero muy subordinado a las condiciones del país.

En plantas por vía húmeda se adopta, en algunos casos el bombeo directo de cantera, principalmente de la arcilla.]

Pueden darse circunstancias especiales para justificar un transporte por el mar, ríos, etc.

→ [Procedimientos de fabricación]

El cemento artificial acapara la mayor parte de la producción mundial de conglomerantes; de aquí que todos los trabajos para perfeccionar la fabricación y ampliar su empleo en las distintas ramas de la construcción, se centren principalmente sobre el Portland.

Todos los pasos en su fabricación han sufrido profun

das modificaciones en las últimas décadas; la preparación de materias primas es más cuidadosa; la molienda, más profunda; la homogeneización, más perfecta; la cocción, a más temperatura; y el control de laboratorio y fábrica, muy severos en todas las fases de su preparación.

→ [La fabricación puede realizarse, bien por vía seca o bien por vía húmeda.

Los dos tipos de proceso se diferencian sólo en la primera fase de la fabricación.

Para este caso se utiliza el proceso por "vía húmeda"]

En ambos casos, los argumentos en pro y en contra son muy numerosos y afectan principalmente, a los siguientes aspectos.

[Naturaleza de las materias primas]

[La vía húmeda es recomendable cuando se trata de materias primas que contienen gran cantidad de guijarros o piedras difíciles de romper, pero fácilmente separables por desgregación con agua.]

Finalmente, también puede convenir en la explotación de materiales duros, relativamente secos y no absorben, que presenten composición irregular, ya que tienden a producir pastas con bajo contenido de agua (30-32%) y de viscosidad similar a la de los materiales blandos con más agua (40% por ejemplo).

Pueden presentarse objeciones para explotación por vía húmeda de aquellos materiales, componentes de un futuro crudo, que presenten composiciones extremas y durezas incompatibles. Lo mismo se puede decir de ciertas margas, finas estructuralmente y con tendencia a la formación de co

loides, que exigen proporciones de agua prohibitivas (hasta 60%), para preparar una pasta de viscosidad normal, sin obedecer sensiblemente al poder fluidificador de los electrolitos habituales.

→ [Condiciones climatológicas]

En conexión con el apartado anterior, el clima influye notoriamente en las condiciones de explotación de canteras y en los departamentos de preparación.

Parece clara la posición de la vía seca, donde además de materiales propicios, se presenta un clima seco y cálido, en climas húmedos, sin embargo, limitará sus pretensiones a materiales de naturaleza compacta y resistentes a lluvias continuas (tomando sólo humedad superficial) o a yacimientos de explotación subterránea obligada por otras razones de tipo local (caso muy raro). Un clima húmedo constituye una amenaza constante para los trabajos exteriores de cantera, a pesar de la mecanización que se emplea hoy en día; influye mucho la naturaleza de las materias primas y en todo caso es necesaria la existencia de un "stock" importante en fábrica.

[La vía húmeda,] por el contrario, [se defiende con facilidad en todos los climas y conserva su cadencia de producción sin que el coeficiente de utilización de sus máquinas y en consecuencia la rentabilidad se debiliten.]

Control de fabricación en la planta

Además del control de los materiales, que se verá más adelante, es necesario el control del proceso en sí, es decir, la marcha perfecta de las máquinas de acuerdo con su cometido.

La evolución moderna en el diseño y mejora de instalaciones tiende, no sólo a reducir movimientos y mano de obra, sino también a simplificar y a automatizar el control del proceso de fabricación. Por ello, las tendencias generales son: mejorar los métodos de alimentación en los molinos de crudo, aumentar los aparatos de control en el trabajo del horno, instalar trituradoras de clínker como preparación a la molienda de cemento, aplicar nuevos métodos en la recuperación de polvo, extender las aplicaciones del circuito cerrado en grandes unidades de molienda, mejorar los sistemas de recuperación de calor, centrar el sistema de control en todas las secciones de fabricación, etc., etc.

Preparación y molienda

Recientemente, se ha hecho aplicación de la televisión en el movimiento de materiales desde la trituración secundaria hasta la alimentación de los molinos. Estos, a su vez, disponen de métodos de alimentación muy precisos, así como de control de grado de llenado por métodos acústicos. El movimiento y control de crudos y pastas ya dispone de métodos físicos de control automático y continuo.

Silos de crudo y cemento

El movimiento diario de materiales exige una medida de nivel en todos los depósitos, que en muchas ocasiones se hace a mano, pero que actualmente se lleva a cabo mediante señales luminosas y acústicas para distintos niveles, previamente fijados.

Horno

El horno es, sin duda, la máquina que ha sufrido mayor evolución con el tiempo, llegándose a la automatiza -

ción de todos los factores que influyen en su marcha.

La marcha uniforme de esta máquina es el punto al que se dedica mayor atención en toda la fabricación, debido a su gran repercusión en la economía y en la calidad del producto acabado.

[Dentro de un horno se pueden distinguir cuatro puntos básicos que interesan en su buena marcha: alimentación, horno en sí, combustibles y enfriamiento.]

[Alimentación de crudos]

[La alimentación debe ser uniforme en finura, composición, humedad y cantidad; ésta última puede automatizarse con las revoluciones del horno o marchar independiente.]

[En vía húmeda, tienen mucha importancia las fluctuaciones de agua en el crudo; su alimentación es sencilla y fácil de comprobar.] Los hornos rotatorios de vía seca se alimentan, directamente en polvo a través de dosificadores de hélice, principalmente con gránulos procedentes de un granulador. Los hornos verticales disponen de pesada automática de crudo y combustible, en proporciones variables y perfectamente controladas.

Horno propiamente dicho

Debe procurarse mantener fija la distribución de zonas en el horno, empleándose, como criterio general, para juzgar la marcha de la cocción, la situación y temperatura en la zona de sinterización. En algunos hornos se mide también la temperatura en la zona de precalentamiento donde, incluso se toman a veces muestras y en la entrada al horno.

Combustibles y Combustión

En combustibles sólidos, debe cuidarse mucho la homo



geneización en su composición, naturaleza y grado de finura, cosa que no ocurre con los combustibles líquidos.

En general, debe conocerse la cantidad de combustible alimentado, bien por peso o bien por el número de evoluciones del aparato alimentador. Si el combustible es fluido, interesa el gasto, la presión y la temperatura de alimentación.

El combustible se inyecta al horno por ventilador o compresor, debiendo conocerse la temperatura, cantidad y presión; sus variaciones alteran la posición de la llama. Simultáneamente, el tiro natural o forzado tiene las misiones de colaborar en la cantidad de aire complementario, necesario para la combustión completa del aire secundario o extraer del horno los gases resultantes; cuando hay instalado enfriador de parrilla, en el que se evitan todas las entradas de aire frío, debe regularse el aire admitido por medio de una chimenea secundaria y compaginarse la depresión en el horno para conseguir la totalidad del aire secundario.

La regularización del tiro puede hacerse en el de chimenea o, si lo hay, en el exhaustor o bien en ambos. Sus variaciones influyen en la posición y magnitud de la llama (posición de la zona) en la temperatura la zona de sinterización (exceso o defecto de O_2) y en la producción de polvo.

El tiro se mide por la pérdida de carga en la cámara colectora del polvo y la combustión por el análisis de los gases (O_2 , SO_3 y CO_2). Suele ser muy conveniente conocer la cantidad en g/m o % de producción y composición química y granulométrica del polvo arrastrado por los humos, para lo que ya existen también aparatos indicadores.

Enfriamiento y descarga

Al hablar de combustión ya se señaló que el enfriador proporciona el aire secundario caliente, a la vez que se refrigera el clínker. De éste debe conocerse la temperatura a la salida, su densidad aparente y a veces, la producción. En el enfriador puede modificarse la velocidad de paso del material y su refrigeración.

Todo el control del proceso del horno se reúne en un cuadro junto al horno. Simultáneamente, se representan esquemas iluminando los distintos elementos del horno para poder observar cualquier anomalía en su marcha.

Moderadamente, para mejorar el rendimiento de los hornos, se ha llegado a la automatización de las variables fundamentales que admiten regulación.

En resumen, el triángulo clave en la marcha del horno es crudo-combustible-aire, colaborando las demás variables a sostener su continuidad.

PROCESO SECO

Este proceso es el que generalmente se sigue en la República Mexicana y consta de las siguientes etapas.

Trituración

Las materias primas que llegan a la fábrica se trituran en varias etapas en una serie de máquinas que están adaptadas al tamaño descendente de las partículas en proceso. La reducción de tamaño va desde las grandes piezas de

cantera de 1 m a 1.5 m de tamaño, hasta polvo impalpable.

La primera etapa de trituración se efectúa en quebradoras grandes del tipo de quijada o rotatoria. La trituración secundaria, que reduce el tamaño a unos 13 mm., se efectúa generalmente en quebradoras de cono rotatorio o de martillos.

Secado

Una vez triturados y antes de entrar a los molinos, los materiales se introducen a los secadores rotatorios por la parte superior.

Estos secadores consisten de largos tubos de acero, ligeramente inclinados, de unos 2 a 3 m. de diámetro y unos 18 a 30 m. de largo, en cuya parte inferior entran gases calientes, que proceden de la combustión del horno, o la flama de un quemador.

Molienda

Una vez quebrados y secos, la caliza y el barro se dosifican adecuadamente con básculas automáticas pasando esa mezcla a los molinos tubulares que son grandes cilindros horizontales de 2 a 3 m. de diámetro y de 7 a 14 m. de largo, revestidos con placas de acero; además, tienen motores desde 200 hasta 1 400 HP y están divididos en su interior en 2 ó 3 compartimientos por medio de diafragmas.

Para aumentar la eficiencia en la molienda, suele recurrirse a la clasificación por tamaño del material que sale del molino de tal modo que la parte fina pueda pasar a la siguiente etapa del proceso, y en cambio la que aún está demasiado gruesa, regrese al molino.

Los clasificadores de tamaño se basan en general en los principios de la decantación (ley de Stokes), según la cual, si se tienen partículas sólidas dentro de un fluido (ya sea agua o aire) las de mayor tamaño se sedimentan con mayor rapidez, separándose en esta forma para regresarlas al molino. En la industria del cemento los clasificadores de tamaño trabajan con aire y se llaman "separadores de aire".

Al material que sale de los molinos secadores los cuales simultáneamente muelen y secan.

Con este equipo se eliminan los secadores de tubos rotatorios mencionados.

Calcinación

Cuando el material crudo sale de los molinos, se envía a los silos de crudo en donde se homogeneiza y se mezclan entre sí para obtener una composición siempre uniforme; de esta forma la mezcla que entra a los hornos será siempre de la misma calidad.

De los silos de crudo el material entra a los hornos de calcinación. El horno es la parte fundamental de la fábrica, pues en él se realizan las reacciones químicas que forman los compuestos constituyentes del cemento.

La industria mexicana del cemento emplea exclusivamente hornos rotatorios, constituidos por grandes cilindros de acero, forrados en su interior con material refractario (de unos 15 cm. de espesor) para resistir las elevadas temperaturas (hasta de 1500°C) que se requieren en la producción del cemento. Los hornos existentes en el país, miden desde 1.80 hasta 6.0 m. de diámetro y desde 50 hasta

120 m. de longitud, con capacidad diaria desde 100 hasta - 1,500 ton. de material calcinado.

Algunos de estos hornos cuentan además con cambiadores de calor que aprovechan los gases calientes del propio horno para precalentar el material crudo que entra a ellos.

Los hornos presentan una inclinación en relación - con la horizontal de aproximadamente 4%; los materiales - crudos se alimentan por la parte superior y conforme van - descendiendo se encuentran con temperaturas más elevadas, - hasta llegar al extremo inferior donde se tiene el quemador que, en nuestro país, generalmente trabaja con gas natural.

El largo cilindro que constituye la estructura del - horno, esta provisto de llantas metálicas que se apoyan so bre rodillos, y cuenta además con una corona conectada al piñón del motor que lo hace girar.

En el horno de cemento no se funden completamente - los materiales, sino que sólo se llega a una semifusión o estado pastoso sobre el cual se forman aglomerados cuya - forma se aproxima a la esférica. Estos aglomerados que in cluyen los cuatro compuestos principales que forman el cemento Portland se designan con el nombre de "clínker".

La calcinación de las materias primas en el horno de be ser muy perfecta para que prácticamente toda la cal libre, óxido de calcio, producida por la descomposición de - la caliza, alcance a combinarse con los óxidos de fierro, - aluminio y silicio de la arcilla. Si esta operación no - fuese tan perfecta, quedaría un residuo de cal libre mayor del 2% que motivaría una expansión detrimental en la pasta de cemento o concreto. Los hornos bien controlados produ-

cen clínker con un contenido de cal libre que no excede - de 1.5 por ciento.

Enfriamiento

Antiguamente casi todos los enfriadores de clínker - estaban constituidos por cilindros de acero inclinados de 2 m. de diámetro por 20 m. de longitud aproximadamente, en cuyo extremo superior se introducía el clínker caliente y - se enfriaba al ponerse en contacto con el aire que entraba por el extremo inferior.

En la técnica moderna, el tipo indicado ha sido desplazado por enfriadores de parrilla inclinada, con barras - oscilantes sobre las cuales se forma un manto de clínker - caliente que va descendiendo, enfriándose al contacto con - el aire que entra por la parte inferior.

Este aire caliente que sale de los enfriadores, se - aprovecha para la combustión en los hornos, recuperándose - parcialmente el calor del clínker.

En seguida se almacena el clínker producido en el pa - tío de almacenamiento de materiales, para posteriormente - ser molido.

Molienda del Cemento

Del patio de materiales el clínker pasa a los de ce - mento o molinos de acabado, junto con una cantidad de yeso - previamente dosificado (5 por ciento aproximadamente) en - donde se muele a finura muy elevada de 3 000 a 3 300 cm^2/g Blaine en cementos de finura normal hasta 5 000 cm^2/g Blai - ne, en cementos de resistencia rápida.

Para lograr las finuras indicadas, la molienda con -



The diagram illustrates the dry cement production process in a vertical sequence. At the top left, a crane is shown lifting material from a quarry. The process then moves through several stages: breaking up material, storage, desulfurization, grinding and drying, preheating, raw material homogenization, calcination in a rotary kiln, clinker cooling, clinker storage, dosing, air classification, storage, and finally packaging. Each stage is represented by a cylindrical or rectangular unit, with arrows indicating the downward flow of material. The units are numbered 1 through 7, corresponding to the labels on the right. The background consists of diagonal hatching lines.

1 FABRICACION DE CEMENTO (PROCESO SECO)

CANTERA DE MATERIA PRIMA.

QUEBRADORAS.

DEPOSITO DE MATERIAL
QUEBRADO.

DESULFURACION DE MATERIAS
PRIMAS.

MOLIENDA - SECADO.

PRECALENTADOR Y RECUPERADOR
DE POLVOS.

SILOS DE HOMOGENIZACION DE
CRUDO

HORNO ROTATORIO DE CALCINACION
DE MATERIAL CRUDO A 1400 °C.

ENFRIADOR DE CLINKER.

DEPOSITO DE CLINKER Y YESO.

DOSIFICACION DE CLINKER Y YESO.

MOLINO DE CEMENTO CLASIFICADOR
DE AIRE.

SILOS DE CEMENTO.

ENVASE.

junta de clínker y yeso, se realiza en general en molinos-tubulares a los descritos en la molienda de crudos. Para lograr mayor eficiencia en la molienda, conviene clasificar mediante separadores de aire a los materiales; los de mayor tamaño se sedimentan con mayor rapidez y regresan al molino para ser molidos; los granos finos que no se sedimentan son transportados a los silos de almacenamiento.

No obstante que el proceso de transformación termina cuando el cemento sale de los molinos de acabado, quedan aún ciertas maniobras por realizar, como son la conducción del cemento a los silos de almacenamiento, la cual se realiza a través de bandas de aire tipo Fuller que trabajan a alta velocidad o por medio de bandas de hule, y finalmente su envasado en bolsas de papel, su carga directa a los carros o camiones tolva cuando se entrega a granel.

PROCESO HUMEDO

Existe otro procedimiento de fabricación por vía húmeda, el cual difiere del anterior en algunos aspectos. Este procedimiento es utilizado en tres de las fábricas actualmente instaladas en México.

La arcilla no se tritura sino que se descarga en un molino de rastrillos que la desmenuza y la mezcla con agua para producir una lechada antefluída (65 por ciento de agua) que se bombea a través de un tubo de 15 cm. de diámetro aproximadamente hasta descargarla en uno de concreto provisto de agitadores. Esta lechada se dosifica junto con la caliza previamente triturada, se alimenta a molinos de crudo donde se añade agua para facilitar la molienda, con mayor control y mezclado de los materiales, en cambio-

representa una mayor parte de consumo de combustible para evaporar el agua en el horno.

De los molinos el crudo pasa a unos tanques correctores y de ahí a mezcladores, de donde a su vez pasa al horno. En este proceso el secado se realiza en el horno: para hacerlo más eficiente y desmenuzar debidamente los aglomerados de polvo crudo, se cuenta con uno de cadenas que se mueven lentamente conforme gira el horno (1 revolución por minuto aproximadamente).

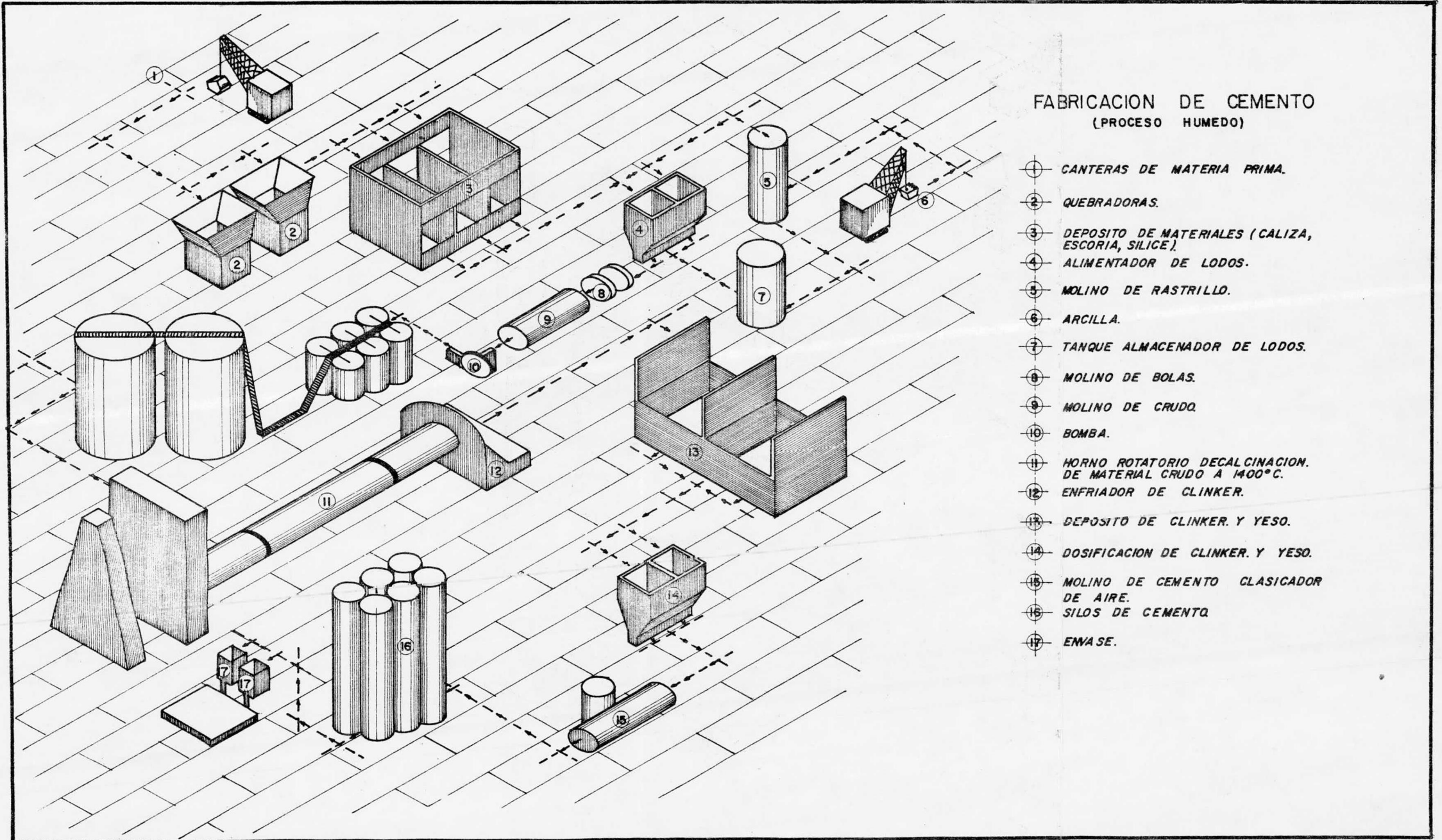
Los siguientes pasos de la fabricación son iguales a los que se siguen en el proceso por vía seca.

En cada caso y según las condiciones existentes, materias primas, etc., el fabricante debe apreciar y comparar debidamente las ventajas e inconvenientes de ambos procesos y optar por el que más le convenga.

Siendo la calcinación en los hornos la parte medular de la fabricación del cemento, conviene conocer aunque sea en forma breve, las reacciones que se llevan a cabo dentro de él para formar los distintos compuestos que forman al clinker.

En el primer tramo del horno, es decir, el más cercano a la entrada del material crudo, éste se calienta a unos 700°C aproximadamente (zona de calentamiento); en seguida se descompone la caliza a una temperatura de unos 900°C , desprendiéndose gas carbónico que es arrastrado hacia la chimenea, de donde sale junto con los gases de combustión, quedando óxido de calcio (cal) libre:





FABRICACION DE CEMENTO (PROCESO HUMEDO)

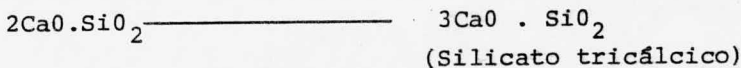
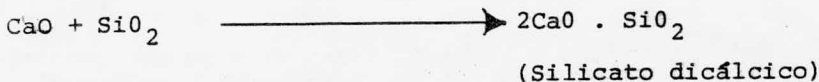
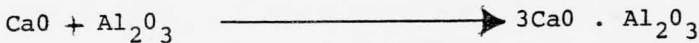
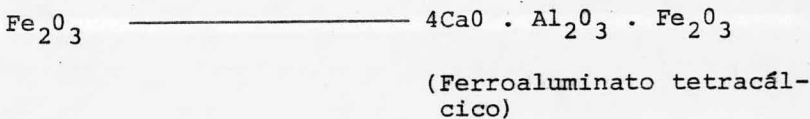
- ① CANTERAS DE MATERIA PRIMA.
- ② QUEBRADORAS.
- ③ DEPOSITO DE MATERIALES (CALIZA, ESCORIA, SILICE).
- ④ ALIMENTADOR DE LODOS.
- ⑤ MOLINO DE RASTRILLO.
- ⑥ ARCILLA.
- ⑦ TANQUE ALMACENADOR DE LODOS.
- ⑧ MOLINO DE BOLAS.
- ⑨ MOLINO DE CRUDO.
- ⑩ BOMBA.
- ⑪ HORNO ROTATORIO DECALCINACION. DE MATERIAL CRUDO A 1400°C.
- ⑫ ENFRIADOR DE CLINKER.
- ⑬ DEPOSITO DE CLINKER. Y YESO.
- ⑭ DOSIFICACION DE CLINKER. Y YESO.
- ⑮ MOLINO DE CEMENTO CLASICADOR DE AIRE.
- ⑯ SILOS DE CEMENTO.
- ⑰ ENVASE.

En la siguiente zona del horno se efectúa la descomposición de la arcilla en sus óxidos principales: sílice, alumina y óxido férrico, desprendiéndose también su agua de hidratación:



comenzando la combinación la cal (CaO) proveniente de la caliza con los óxidos de fierro (Fe_2O_3) y alumnio (Al_2O_3) para formar primero el ferroaluminato tetracálcico; esto se efectúa al 1 250°C aproximadamente.

Posteriormente se efectúa la combinación de la cal (CaO) con la sílice (SiO_2) formándose el silicato dicálcico, el cual en presencia de más cal, forma el silicato tricálcico:



entre los 1 250° se efectúa la semifusión. En este punto se funde aproximadamente de 20 a 30 por ciento de la masa.

En el horno no se alcanza una fusión completa, sino solo una semifusión o estado pastoso, durante el cual se forman aglomerados de cristales y vidrios cálcicos, de for

ma aproximadamente esférica y con un diámetro que varía de 0.5 hasta unos 4 cm. que se conocen con el nombre de clínker. Este clínker se muele finamente con una cierta cantidad de yeso (5% aproximadamente) para producir el cemento.

COMPOSICION DEL CEMENTO

El cemento Portland es una mezcla de varios compuestos, los cuales se forman por combinación química de las materias durante el proceso de calcinación en los hornos. Cuatro de estos compuestos se consideran los principales y constituyen alrededor de 90% en peso del cemento. Estos son: silicato tricálcico ($3CaO \cdot SiO_2$), silicato dicálcico ($2CaO \cdot SiO_2$), aluminato tricálcico ($3CaO \cdot Al_2O_3$), y ferroaluminato tetracálcico ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$). En la industria cementera, con objeto de no utilizar fórmulas químicas complejas, a estos compuestos se les representa con las siguientes fórmulas sencillas:

Silicato tricálcico	=	Ca_3S
Silicato dicálcico	=	Ca_2S
Aluminato tricálcico	=	Ca_3A
Ferroaluminato tetracálcico	=	Ca_4AF

El 10% restante del peso del cemento lo forman otros constituyentes como el yeso que se agrega al clínker durante la molienda final y otros que quedan libres durante la calcinación de las materias primas, es decir, elementos que no alcanzan a combinar en los hornos. Entre éstos se encuentran la cal libre, la magnesia, los alcalis, etc.

Los silicatos son responsables del desarrollo de resistencias a todas las edades, principalmente a las resistencias a edades tempranas hasta los 29 días de curado. A edades mayores el silicato dicálcico (C_2S) contribuye

ga el papel más importante, siendo responsable de las resistencias a períodos de un año y aún más. El aluminato tricálcico (C_3A) contribuye muy poco en la resistencia, en cambio genera mucho más calor que una cantidad igual de otros componentes y es responsable de la variación del volumen del cemento, de la formación de grietas y es el más vulnerable del ataque de los sulfatos cuando el cemento encuentra en contacto con aguas o suelos sulfatados.

El yeso (sulfato de calcio) se emplea para regular la acción química del cemento con el agua y controlar el tiempo fraguado. Si el yeso no se añadiera al cemento, éste fraguaría demasiado rápido haciendo imposible su manejo, o bien, fraguaría muy lento, retardando por tanto el endurecimiento del mismo.

Es muy importante dosificar adecuadamente el yeso para lograr un óptimo, ya que su carencia o exceso podría provocar, además de los problemas mencionados, cambios volumétricos en el concreto (contracciones o dilataciones).

La cal libre u óxido de calcio (CaO), que queda porción insuficiente de clínker, cuando se encuentra en exceso, puede dar lugar a dilatación y quebrantamiento de la pasta de cemento o concreto. No se pueden precisar límites exactos para el contenido de cal libre en el cemento Portland; sin embargo, en la práctica se ha observado que, para cementos con finuras normales, de unos 3 000 a 3 300- cm^2/g , los cementos con un valor en su cal libre superior al 2% corren el riesgo de sufrir fuertes expansiones.

Debido a la imposibilidad de dar un límite químico preciso, siempre debe hacerse la prueba de expansión del cemento en autoclave. El resultado de esta prueba muestra inmediatamente algún peligro de futura expansión debida a la cal libre.

El óxido de magnesio comunmente llamado magnesia, - aunque en pequeñas cantidades, está presente en todos los cementos Portland debido a que en la naturaleza se encuentra acompañando a las calizas en forma de carbonato de magnesio. La magnesia, al contrario de la cal, no se combina con los óxidos de las arcillas, sino que permanece en estado libre en el clínker. Como en el caso de la cal, el "apagado" de la magnesia está acompañado por un aumento en su volumen por lo que existe el peligro de que se represente una expansión retardada si la magnesia se encuentra en cantidades apreciables. La expansión debida a la magnesia es mucho más peligrosa que la de la cal, porque el grado de su desarrollo es muy lento (las primeras manifestaciones pueden ocurrir después de varios años), teniéndose además la desventaja de que las pruebas a corto plazo no proporcionan datos seguros sobre el peligro de tal expansión retardada.

Los cementos producidos en México tienen un contenido bajo de este elemento que varía entre 1 y 3%.

Los álcalis, óxidos de sodio y potasio, de acuerdo con experiencias realizadas en los Estados Unidos de Norteamérica, son elementos indeseables cuando están presentes en el cemento en alto porcentaje ya que pueden causar verdaderos trastornos como son dilatación y agrietamiento, acompañado de disminución de resistencia, elasticidad y durabilidad del cemento.

Los álcalis pueden combinarse y químicamente con la sílice activa de rocas y minerales silíceos reactivos de los agregados (ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita, etc.) formando un gel que al hidratarse produce dilatación. Este efecto es notable en cementos que contienen cantidades elevadas de estos elementos. Las Normas Mexica

nas limitan, cuando se requiere un cemento de bajos alcalis, a 0.60 por ciento máximo expresado como óxido de sodio (Na_2O).

Grandes cantidades de estos álcalis pueden causar además ciertas dificultades para regular el tiempo de fraguado. Por último, pueden provocar fraguado falso en el cemento por carbonatación de los mismos.

Estos defectos provocados por los álcalis pueden evitarse empleando agregados en los concretos que no sean reactivos, empleando cementos con bajos álcalis o bien adicionando puzolanas. El medio más satisfactorio es la limitación del contenido de álcalis en el cemento.

Otro de los constituyentes menores del cemento Portland es el conocido como "residuo insoluble". Este representa una pequeña fracción de cemento formada por una mezcla de óxidos no solubles en ácido clorhídrico, los cuales no intervienen en las propiedades del cemento.

Esta mezcla de óxidos conocidos genéricamente como "residuo insoluble" provienen del yeso que se añade al clínker durante su molienda.

Parte del residuo insoluble podría provenir también de alguna pequeña fracción de los materiales arcillosos de la mezcla cruda que no alcanzan a combinarse en el horno, los cuales son insolubles en ácidos. Como se sabe, solamente después de su combinación con la cal durante el proceso de clinkerización es que se llegan estos materiales a ser solubles en ácidos.

Por esta razón el residuo insoluble podría ser como un indicador del grado de perfección de las reacciones que

se han llevado a cabo en el horno, sin embargo, casi siempre proviene de las impurezas (de tipo arcilloso), contenidas en el yeso que se agrega al clínker. Por constituir una impureza, en el cemento se limita su contenido a 0.75 por ciento máximo.

La "pérdida por ignición" o "pérdida por calcinación" representa el por ciento de pérdida de peso que sufre el cemento después de someterlo a un calentamiento del 1 000° C. Las sustancias que se pierden a esta temperatura son: agua y dióxido de carbono. El agua proviene, en parte de la suministrada por el yeso, el cual contiene dos moléculas de este elemento, y en parte, de la que se absorbe durante la manufactura del cemento. Como se sabe, el clínker al salir del horno tiende a absorber humedad atmosférica, y durante su almacenamiento sigue absorbiendo humedad. Por último, el cemento siendo un material higroscópico, -- si no se tiene cuidado durante su almacenamiento puede también hidratarse parcialmente. El óxido de carbono (CO_2) -- también se absorbe de la atmósfera.

DESARROLLO DE LOS HORNOS DE COCCION

Del horno vertical al rotatorio

El desarrollo del horno vertical partió de la experiencia adquirida en la fabricación de cal y de los ladrillos. La caliza es una materia prima ideal para el horno de cuba, porque posee y mantiene una buena permeabilidad para los gases y con ello, para una sección dada de horno, hace posible un caudal alto. Su precedente fue el horno alto para obtención del hierro a partir de sus minerales, entretenido con coque. En la cocción del cemento en horno de cuba vertical aparecen particularidades condiciona-

das por las materias primas que dan lugar a que las porciones individuales del material de alimentación se reunan, - se peguen y originen una masa de clínker que a veces se adhiere a las paredes del horno favoreciendo la formación de bordes y agujeros, producidos por el fuego y originando - en ocasiones, su fusión conjunta con las piezas del revestimiento, con lo cual el caudal y la calidad del clínker - pueden ser rebajadas de modo sensible.

En el paso del cemento artificial hoy vigente, que - parte de crudo finamente molido, hace falta que la harina de éste se convierta en trociscos. De los ladrillos de cemento se ha pasado a las formas prensadas pequeñas, alargadas y de sección circular. Con la introducción del horno-Lepol, la granulación o peletización por vía mecánica del crudo ha sido tan perfeccionado el proceso de dar forma al crudo, que hoy casi todos los hornos verticales son alimentados con gránulos de crudo cuyo tamaño se mueve entre el de las avellanas y el de las nueces.

En otros tiempos fue muy circunstancial la fabricación del clínker a partir de los ladrillos de cemento, utilizando pastas de crudo compuestas por dos materias primas de grano fino como la creta y la arcilla. La creta era sedimentada en agua para liberarla de los trozos de pedernal que le acompañaban a menudo, tal como aún hoy es practicado (las cuales antes fueron empleadas como elementos molturadores); con la creta sedimental podía mezclarse después la arcilla. El lodo obtenido todavía diluido, se dejaba espesar y desecar después en los tanques de clarificación - hasta el momento que permitía darle forma esférica o de -- ladrillos, los cuales se podían secar a fondo disponiéndolos en hornos entretenidos con coque. Frente a la fabricación del cemento a partir de aquellos lados, el horno rotatorio significó un progreso de tal magnitud que el crudo -

preparado así por vía húmeda, a partir de entonces fue cocido en el horno rotatorio.

El horno de cámaras, patentado por el consejero de la construcción Fr. HOFFMANN en 1858, primero de planta circular, después elípticas, fue utilizando para la cocción del cemento desde su introducción en 1864 hasta el segundo decenio de este siglo. En el horno de cámaras o de anillo no se necesita desplazar los ladrillos de crudo, sensibles al transporte durante el secado y la cocción, después de que se habfan colocado en las cámaras en disposición tal como correspondía al ciclo descrito por los fuegos. Es comprensible que los horneros de los hornos en anillo hayan designado como clínker de cemento a los ladrillos de crudo cocido, pues, como los ladrillos cerámicos llamados de clínker estaban provistos de una película de material fundido y sonaban como los ladrillos.

La introducción del horno rotatorio, alrededor del cambio de siglo fue un punto de inflexión en la cocción del cemento. Según C.F. CLAUSEN, en 1877, estaba introducido ya que en U.S.A. en algunas otras industrias, fue patentado por Crampton el mismo año y por primera vez puesto en explotación con éxito en 1895. En Alemania fue introducido el horno rotatorio siguiendo la patente del inglés F. RANSOME, de 1899, después de haber trabajado con el nuevo sistema una explotación que más tarde, había sido puesta en servicio. En el horno rotatorio, el crudo seco o la pasta introducida por el extremo más elevado del horno, ligeramente inclinado forrado con material refractario, avanza de modo continuo a lo largo del mismo y sucesivamente es desecado, calcinado y sinterizado y lo abandona, como clínker terminado, por su extremo inferior. El calor necesario para la realización del proceso es suministrado por una llama creada en la zona inferior del horno, por combus

tión pulverizado, fuel-oil o gases combustibles, en la -
cual, la temperatura más alta necesaria para la sinteriza-
ción queda situada a unos pocos metros de la boca de des -
carga del horno. Para la combustión sirve como aire primau
rio el utilizado como vehículo para la inyección del caru-
bón pulverizado y el aire secundario de combustión es aspiu
rado por el tiro de la chimenea que a veces es reforzado -
mediante exhaustores. Este aire secundario, previamente -
a su acceso a la llama, es calentado a expensas del calor-
del clíuinker, en el enfriador y en la zona de enfriamiento-
del horno mismo del que se extrae gran parte de su calor -
sensible. [El desarrollo de los modernos hornos rotatorios
vía húmeda está caracterizado, en primer lugar, porque ha-
pasado de la pasta diluída a la pasta espesa, la cual con-
serva todavía del 32 al 40% de agua cuya cuantía es rebajau
da con la ayuda de palstificantes. El horno lleva en su -
tramo más alto una serie de dispositivos interiores o está
conectado con un secadero previo para acelerar la evaporau-
ción del agua de la pasta. A pesar de su elevado consumo-
de calor y del hecho de que 1/3 del trabajo del horno con-
siste en la evaporación de agua, la aplicación del horno -
rotatorio por vía húmeda se ha afirmado hasta hoy en fábruri-
cas de cemento que no trabajan con creta.] Simultáneamente
con el horno rotatorio se ha desarrollado muy intensamente
el quemador de carbón pulverizado, para lo que ha contriu-
buido, con aportación muy importante, la experiencia adquiu-
rida en las centrales térmicas para producción de electri-
cidad. Estos quemadores se han transformado también en -
Alemania, desde los de carbón pulverizado a los de fuel---
oil y a los de gas natural.

Cuando los hornos rotatorios encontraron aplicaciuón-
creciente para la cocciuón del crudo, se ofreció como des -
ventaja esencial, la alta temperatura con que los gases a-
bandonaban el horno, cuyo contenido térmico ya no podía ser

cedido, en el horno mismo, para la evaporación de agua como ocurría en los hornos de vía húmeda. Su cuantía en volumen era más alta que en el caso de la vía húmeda, porque si 1 m^3 de aire o de gases se lleva de 20°C a 273 o 546°C el gas necesita el doble o el triple de espacio, respectivamente. Para los hornos rotatorios de construcción antigua, en 1959, era típica la temperatura de 500°C en los gases residuales del horno, mientras que, en los de vía húmeda, aquella era sólo de 120 a 220°C .

Por ello, antes era conectada con el horno vía seca una caldera de vapor, para que a partir del obtenido con ella se pudiera generar corriente eléctrica, técnica que es practicada todavía hoy en algunos casos aislados. Los gases residuales de los hornos con recuperación de su calor sensible habitualmente exhibían temperaturas entre 700 y 900°C . El polvo que se depositaba en las paredes de la caldera había de ser eliminado de modo regular y permanente. El acoplamiento de dos procesos tan diferentes como la cocción del cemento y la producción de vapor exigía una cuidadosa concordancia, dentro de la explotación y con red pública de distribución de energía eléctrica de las plantas productoras de éstas, puesto que la fábrica de cemento no podía prescindir de energía extraña y en ocasiones, sin embargo, también había de cederla a aquella. En cifras aproximadas una fábrica de cemento puede cubrir solamente el 40% de su consumo de energía y su explotación puede ser económica de modo absoluto. Sólo se pueden aplicar, sin embargo, calderas de tubos inclinados, para presiones bajas, las cuales hoy se consideran anticuadas.

En los años en que la corriente era cara e inaccesible, lo que hoy se encuentra como curiosidad, pero que según FR.C.W. TIMM en 1906 en casos aislados ocurría todavía, la caliza dura era calcinada previamente para economizar "

la costosa molienda de la misma, a continuación la caliza-calcinada era apagada, después molida de modo definitivo y finalmente, mezclada con arcilla para obtener la pasta de-crudo. En Uganda se aplica hoy este proceso en la separación de los componentes fosfatados contenidos en la caliza. La fabricación del clínker a partir de los residuos de la-cal (los llamados residuos de cribado) se ha mostrado económica y ha sido investigada, entre otros, por W.G. QUIT -KAT en 1963.

Silos de Homogeneización y almacenamiento

[Una vez que el material sale de los molinos ya sea - en forma de polvo o de pasta pasa a los molinos.]

El polvo se transporta por elevación o bombeo con aire comprimido a una serie de depósitos cilíndricos verticales, en número capacitado útil y relación altura diámetro-variables según la producción y circunstancias de la fábrica. Generalmente, se construyen de hormigón armado o pre-tensado, aunque, en ocasiones especiales se emplea la cha-pa metálica como elemento constructivo.

Cada silo esta equipado en el fondo cons u correspon-diente dispositivo de extracción, a la vez que se instalan elementos de transporte comunes a toda una batería de si-los.

Estos transportadores se emplean tanto como medio de acceso desde los molinos como de transporte al horno o en-vasado de cemento así es posible la descarga simultánea de uno o más silos, tanto para circular su contenido hasta la completa homogeneización como para la marcha de crudo pre-parado hacia la alimentación del horno o de cemento hacia-el envasado.

Hoy en día han progresado mucho los medios de homogeneización por agitación neumática, reduciendo considerablemente las necesidades de circulación. Se produce una verdadera fluidificación de los materiales pulverizados y secos por inyección de aire, a presión y temperatura adecuadas, en el fondo del silo; éste se encuentra revestido de placas porosas, convenientemente distribuidas, orientadas y compartimentadas.

→ En vía húmeda la pasta procedente del molino se bombea o eleva sobre unos vasos cilíndricos de unos 200 m^3 de capacidad.

La pasta se vierte de uno o varios de estos silos y en cantidades previamente calculadas, por gravedad y bombeo, sobre una gran balsa donde se dispone el crudo para la alimentación del horno.

La balsa de crudo preparado es un gran cilindro de diámetro 5 a 7 veces su generatriz y una capacidad de 2000 a 4000 m^3 . Va provista de agitadores mecánicos y entrada de aire comprimido a baja presión ya que así se evita la tendencia a la sedimentación de la pasta y la segregación de sus componentes.

Antes de llegar el crudo de los silos al horno se analiza y comprueba su composición. El porcentaje en carbonato cálcico debe encontrarse dentro de las cifras fijadas, con oscilaciones inferiores a $+0.2\%$ para evitar anomalías en la marcha del proceso de cocción.]

El análisis químico de un crudo normal para la preparación de clínker de cemento Portland es del siguiente orden:

SiO ₂	_____	14.7%
Al ₂ O ₃	_____	4.0%
Fe ₂ O ₃	_____	1.9%
CaCO ₃	_____	77.0%
MgCO ₃	_____	0.5%
S.D	_____	1.8%

Técnica de Cocción: Hornos

En los orígenes de la fabricación del cemento Portland, el horno empleado era de tipo intermitente similar a los empleados en la preparación de la cal. El material se carga en forma de briquetas y se usa como combustible el coque. El rendimiento de estos hornos era pequeño, la mano de obra elevada y las pérdidas de calor considerables - aparte de las irregularidades de cocción y composición del producto obtenido.

El horno rotativo para la cocción de cemento fue inventado en 1884 por Edison en 1903, construyendo hornos - hasta de 30 m. de longitud.

[Actualmente se emplean dos tipos de hornos en la preparación del clínker de cemento Portland: el horno vertical automático y el horno rotatorio en sus distintas variantes.]

Si se trata de hacer una instalación flexible y paramento de alta calidad y grandes producciones, es indispensable el horno rotatorio.

No obstante, las necesidades surgidas al final de la primera guerra mundial, al disponer de poco carbón y caro, obligaron a perfeccionar el horno vertical tratando de mejorar y automatizar las condiciones de su marcha y aprove-

char al máximo su ya reducido consumo de combustible; y-- como consecuencia, surgió el horno vertical automático moderno, de empleo muy extendido.

[RELACIONES ENTRE HORNO VERTICAL Y HORNO ROTATORIO

- 1a. Al igual capacidad de producción el costo de la primera instalación es para el vertical (del 60 al 70% de la del horno rotatorio).
No debe olvidarse, sin embargo, que el horno vertical de mayor capacidad no sobrepasa las 200=200 ton/día de producción, en tanto que ya se han construido varios hornos rotativos con producción superior a las 1.000 ton/día (lo normal es de 300-500/ton /día).
- 2a. El espacio ocupado por un horno vertical es 1/3 del que ocupa un rotario de la misma capacidad, y la superficie en planta es de 8 a 10 veces mayor.
- 3a. El costo de fabricación es ligeramente inferior en el horno vertical (bajo consumo de combustible, refractarios, conservación, etc.)
- 4a. El horno rotativo exige combustibles pulverizados y de calidad superior al horno vertical menos instalaciones auxiliares y menor costo y en ciertos casos, en mayor proporción por tonelada de clínker producida (vía húmeda).
- 5a. Para evitar la emisión de polvo al exterior el horno rotativo suele exigir instalaciones accesorias (filtro) que rara vez se emplean en las instalaciones con horno vertical.

[6a. La calidad del clínker obtenido en el horno rotatorio es superior a la del vertical y mucho más regular.

7a. El horno rotatorio presenta la ventaja de poder observar la marcha del proceso y por tanto, controlar con precisión y corregir rápidamente cualquier oscilación, disponiendo de más variables que el horno vertical.

En resumen, el horno vertical es una máquina económica para producir cemento, el horno rotatorio es una máquina más cara, pero con mayores posibilidades para producir cemento de alta calidad.]

El horno vertical va bien para pequeñas inversiones de capital y consumo muy localizada; el horno rotatorio es muy indicado para instalaciones de más envergadura y visión comercial más amplia.

Horno vertical automático

En los últimos tiempos se ha hablado mucho del resurgir de este tipo de instalaciones que, conservando su clásico aspecto de cuba, ha adaptado en su funcionamiento los adelantos últimos de la técnica.

Antiguamente estos hornos adolecían de ciertos defectos atribuibles más que al horno en sí, a las máquinas accesorias y a las de preparación de crudos que proceden a la alimentación.

La marcha de este horno, esquematizado es el siguiente:

El crudo ya homogeneizado, pasa del silo a un silo - tolva situado junto a otros cargado de combustible (antracita o coque).

De ambos silos descarga el material en las proporciones fijadas a dos básculas automáticas que, periódicamente descargan a la vez, sobre un elemento de transporte; este los pasa a un mezclador, que trabaja en seco o con una pequeña adición de agua, el cual vierte sobre un plano granulador. Aquí se forman los gránulos añadiendo de 10 a 14% de agua que cae por gravedad, sobre su superficie.

A través del horno que es cónico en su parte superior, con objeto de preveer la retracción de los gránulos en la calcinación y mantener el grado de capacidad.

Los gránulos siguen su marcha de cocción para descargar automáticamente, por su parte inferior, a través de una parrilla y un sistema de esclusas, a un elemento de transporte que envía el clínker al silo-hangar.

Preparación del crudo

En su origen, el horno vertical restringía su aplicación a materias primas de composición muy próxima a la del crudo de alimentación (cementos naturales); hoy en día - las mejoras en la preparación permiten emplear, prácticamente, todos los materiales que componen las mezclas crudas del cemento Portland artificial.

Por tratarse de una máquina estática, donde el material se mueve exclusivamente por gravedad y en dirección vertical, la preparación de materias primas debe ser bastante correcta, tanto en lo que se refiere a composición química como a granulometría y grado de homogeneización.

En la actualidad ha progresado mucho la homogeneización en seco, y las desviaciones de composición caen dentro de las reducidas tolerancias que permite el horno vertical.

Aire para enfriamiento y combustión

Junto con la granulación de los crudos, el poder disponer de elevado volumen y presión de aire (modernos compresores o soplantes de pistón rotativo), es, en la modernización del horno vertical, el segundo factor de trascendencia. Con ello se ha conseguido:

- a) Una combustión más perfecta (ahorro de combustible).
- b) Una posición más definida y elevada de la zona de sinterización.
- c) Un enfriamiento más rápido y homogéneo del clínker resultante.
- d) Junto con la granulación, una distribución de carga y temperatura mucho más regulares.

La inyección de aire se hace en la parte inferior, por debajo de la parrilla, para provocar un intercambio total de calor. En algunos hornos parte del aire de combustión se introduce a través de la parrilla y parte entra por las paredes del horno y por debajo de la zona de clínkerización, para crear un cinturón de aire, calentado por el refractario, que activa la combustión e impide la cristalización de gran parte de la fase líquida del clínker.

Revestimiento refractario

El problema del revestimiento refractario se ha reducido en las nuevas instalaciones por limitar la zona de sinterización a una banda muy estrecha. Sobre todo, en el lí

mite con el ladrillo. Por ello, basta con instalar materiales refractarios de buena calidad y poco propensos a la formación de adherencias en los tres primeros metros del horno: materiales extraluminosos 60-70% Al_2O_3 refractarios a base de dióxido de titanio, o ladrillos de magnesiata (estos últimos muy sensibles a la humedad en la boca de carga). En el resto del horno, pueden instalarse refractarios de más baja calidad, compactos y resistentes a la abrasión.

Parrilla de descarga

La parrilla de descarga tiene gran importancia en el movimiento del material a través del horno. En consecuencia, han surgido varios modelos que continúan perfeccionándose, destacando entre ellos la parrilla de pisos escalonados en forma de cono y el sistema de rodillos paralelos dentados.

Automatismo

El horno vertical moderno se conduce desde un cuadro situado en la parte alta del mismo y donde se incluyen, prácticamente, todas las variables que intervienen normalmente en su marcha. Entre ellas se encuentran:

- a) Tonelaje en la alimentación y relación crudo/com bustible.
- b) Revoluciones de la parrilla (variación continua) en doble marcha.
- c) Regulación de aire (indicación y registro) de los datos de presión y volumen.
- d) Regulación en el tiro de la chimenea; indicación y registro de la temperatura, y análisis automático de los gases.

- e) Señalización luminosa, acústica y enclavamientos eléctricos que automatizan el funcionamiento de la serie de máquinas para preveer anomalías o defectos en la marcha de fabricación.

HORNOS ROTATORIOS

Generalidades.

El horno rotatorio evolucionó de tal modo la industria del cemento, que puede considerarse la invención más importante en fabricación desde la introducción de los molinos de bolas.

En esencia, consiste en un tubo cilíndrico, metálico, revestido anteriormente de material refractario, con una longitud que oscila de 60 a 170 m. y diámetro de 1.80 a 4.50 m. colocado ligeramente inclinado (2.5%) sobre el plano horizontal, se apoya sobre varios pares de rodillos por bandas de rodamiento de gran espesor concéntricas con el tubo del horno, el cual se refuerza en dichas zonas de apoyo.

Durante la marcha el horno gira lentamente de 0.3 a 3 rpm., según su diámetro e inclinación y el material se alimenta de un modo continuo por su extremo superior en forma de pasta, módulos húmedos o polvo seco, moviéndose en el interior por gravedad. Normalmente, este material cubre del 10 al 13% de la sección interior del horno.

El combustible se introduce por el extremo inferior del tubo por medio de una tobera o mechero, que atraviesa el cabezal de cierre del horno. Se produce una marcha contracorriente entre el material que se calienta gradualmente y los gases de combustión que ceden, poco a poco, su

[calor crudo.]

Puesto que se trata de la máquina que grava más el precio de costo de una fábrica, es natural que siempre se hayan estudiado con mucho interés las posibilidades de economía en la marcha de los hornos; de ahí la serie de patentes aparecidas en el diseño y funcionamiento de los muchos mecanismos y variables que definen la cocción del cemento en hornos rotativos.

[Dos son los factores que más se han estudiado para mejorar el rendimiento de los hornos rotatorios: la economía del combustible y la capacidad de producción. Bajo esta doble influencia, las instalaciones de vía húmeda, por ejemplo, se han orientado hacia la construcción de hornos cada vez más largos; y la vía seca, hacia hornos con gran recuperación de calor dentro del propio proceso de fabricación. Asimismo, las instalaciones ya existentes han adaptado sistemas tales como calderas de vapor, filtros de pasta, calcinador, etc., siempre con el fin de mejorar el rendimiento térmico de la instalación.

Entre las mejoras técnicas generales llevadas a cabo para cumplir los fines mencionados pueden citarse el aumento de diámetro del tubo en la zona de secado de los hornos de vía húmeda y ^{en segundo lugar} un segundo ensanche en la zona de clinkerización e, incluso, de la calcinación, ambos con la finalidad de regular el flujo de gases y facilitar su transmisión de calor a los materiales de cocción.]

Asimismo, se han introducido una serie de aparatos o sistemas variables según la casa constructora del horno, siempre tratando de mejorar su balance térmico y favoreciendo la transmisión de calor de los gases en las primeras etapas del proceso de cocción. Más adelante, se des -

criben detalladamente los diversos tipos de horno que hoy en día se emplean en la fabricación de cemento.

[Hornos rotatorios de vía húmeda

Estos hornos se caracterizan por su gran simplicidad, realizándose todas las fases de la cocción en la misma unidad: secado, precalentamiento, cocción, clinkerización y enfriamiento.

La zona que presenta más interés, por ser específica de la vía húmeda, es la del secado de pasta. Esta fase motiva un elevado consumo de combustible, que es el punto débil de este tipo de fabricación. Con este fin se han creado varios artificios destinados a aumentar la superficie de la pasta y crear un contacto más íntimo de ella y los gases calientes.]

Entre estos sistemas, que han tomado distintas formas con el tiempo, se pueden citar los siguientes:

Cortinas o festones de cadenas

Se disponen en los primeros 12-15 m. del tubo del horno, debiéndose calcular en distribución, longitud y peso total de acuerdo con las características de las materias primas empleadas; de un modo general, su peso se valora en 8-10% de la producción diaria del clínker. El secado lo realizan por transmisión directa de las calderas calentadas en la atmósfera gaseosa, por exposición del material a dicha atmósfera y por flujo directo de los gases calientes sobre el lecho de pasta en el espacio formado por debajo de las cadenas suspendidas.

Con este sistema se reduce la temperatura de los ga-

ses de salida de 400°a 150°C y aún menos.

Instalado a la entrada del tubo del horno, consiste en un tambor cilíndrico de gran diámetro y de la misma longitud, aproximadamente (2-4-6 m.) que gira horizontalmente sobre su eje. El tambor descansa sobre dos fuertes gorrones y se arrastra por uno de sus extremos, sincronizando con el alimentador de pasta.

La pared del tambor consta de 2 fondos atirantados sólidamente entre sí por espárragos de acero. Sobre estos espárragos se disponen varillas según la generatriz, de modo que resulte un enrejado cilíndrico.

En el interior del cilindro hay una carga de cuerpos metálicos huecos de gran parecido a los anillos Rasching empleados en la industria química que actúan de intercambiadores de calor.

La pasta vierte a través de una tobera que abre y cierra, alternativamente, para salvar el paso de los travesaños, comunicando con el horno en su parte inferior por un vertedero inclinado, que es por donde cae la pasta seca y caliente.

Los humos del horno atraviesan el lecho de los intercambiadores en contracorriente, saliendo hacia la chimenea por la parte superior del calcinador.

Pre calentador

Consiste en una serie de cajas situadas en la zona de secado y colocadas en la pared del propio horno, con elementos cambiadores dispuestos en su interior. Este sistema tiene ventajas al estar instalado en el propio tubo -

del horno: hermeticidad y reducción de polvo.

Otros dispositivos

Basados siempre en aumentar la superficie de contacto entre la pasta y los gases calientes, a la vez que se frena la marcha de estos hacia la chimenea, se han creado una serie de dispositivos, entre los que se pueden citar: - los diafragmas en forma de estrella, ocupando la sección normal al eje del horno; los resaltes o guías helicoidales en la primera zona del revestimiento refractario; la inyección en el horno de la pasta pulverizada (sistema Rygby): el evaporador Polysius, etc.

En todo caso, el sistema empleado ha de estar de acuerdo con las características de la pasta alimentada al horno; si es muy viscosa, el sistema será sencillo para evitar aglomeraciones que obstaculicen el tiro y, si es enfriable, son admisibles sistemas más complejos.

[Puesto que el consumo de calorías en el horno de vía húmeda es muy elevado y la temperatura de los gases a su salida relativamente baja, parece lógico pensar que el método más eficaz de recuperar el calor sería suprimir o al menos atenuar, la causa del consumo tan elevado de combustible: el agua de la pasta.]

[En algunas fábricas, sobre todo aquellas que emplean excesiva agua en la molienda en circuito cerrado, instalan grandes espesadores que eliminan parte del agua por decantación.]

[Un método más eficaz es el de la filtración. Un filtro-prensa no puede aplicarse por ser discontinuo y no permitir su aplicación en grandes volúmenes de producción co-

mo es la del cemento. Entre los filtros de marcha continua son, de posible aplicación, el de tambor y el de discos, ambos trabajando por vacío. Estos sistemas no se han adoptado en gran escala y deben mantenerse reservas acerca de su utilidad y economía.]

Finalmente, un procedimiento que puede tener interés es el de la adición de electrolitos para disminuir la cantidad de agua en la pasta. Entre ellos se pueden citar: - los fosfatos, el carbonato sódico, el silicato sódico (pueden reducir hasta 6-7% el contenido de agua).

Hornos rotatorios de vía seca

En estos hornos si no se aplica ningún medio para la recuperación del calor los gases de chimenea salen a 700°C.

Con el fin de aprovechar estas calorías se emplean - los gases calientes en el secado de materias primas, o se dedican a la producción de energía motriz; también se instalan dispositivos adecuados para recuperación de calor a la salida del tubo del horno, o se hace alguna combinación de los anteriores.

Recuperación para el secado de materias primas

Este caso, tan sencillo, no suele emplearse si no va acompañado de algún otro sistema. Desde la cámara de humos a la salida del horno, se pasa al secadero por un conducto, para finalmente continuar hacia la chimenea a través de un ciclón o cámara de polvo. Dado el gran recorrido de los humos, las pérdidas de carga son tan elevadas - que exigen un tiro artificial.

Producción de energía motriz-calderas de recuperación

En este sistema muy extendido en las instalaciones - montadas de 1915 a 1935 los humos engendran vapor de agua- que, moviendo turbinas, produce corriente eléctrica para - el consumo de la fábrica. Para favorecer esto, se introdu- ce la materia prima en polvo al horno y se fuerza el consu- mo de combustible. Así se aumenta la producción y los ga- ses del horno escapan a temperaturas más altas, pudiendo - alcanzar los 1,000°C. Este sistema tiene el inconveniente de producir mucho polvo y crear dificultades en los meca- nismos de alimentación por la excesiva temperatura; la re- cuperación de polvo es difícil y la marcha del horno inse- gura.

Es preferible mantener la salida de los gases del hor- no a 700°C, aunque no se produzca la energía necesaria para el consumo y se requieren ayudas complementarias.

Instalación de dispositivos de recuperación de calor--
a la salida del horno

Hoy día, en que el suministro de energía eléctrica - es más regular y, sobre todo, la capacidad de suministro - suficiente para el gran consumo que requiere una fábrica - de cemento (millones de kWh/año), se ha centrado más la - atención en el ahorro de combustible, incluso en países - como EE.UU. de América, donde sus reservas son considera- bles. Esto motivó la aparición en Alemania de dos instala- ciones típicas, las más económicas (incluidos los hornos - verticales) en consumo de combustible: el horno Lepol y - el horno Humboldt (este último con solo 10 años de funcio- namiento industrial).

Horno Lepol

En esencia, consta de mecanismos de alimentación (en gránulos humedecidos), de parrilla en la cual tiene lugar el secado y descarbonatación de crudos y de horno rotatorio donde se desarrollan el resto de las reacciones.

La marcha de los materiales es la siguiente: el crudo, en polvo y perfectamente dosificado, pasa a un granulador, generalmente de plato, en el cual se forman los nódulos por adición de agua. Estos nódulos pasan por gravedad a la parrilla Lepol, formando una capa de espesor uniforme, (15-20 cm.); la parrilla transporta el material con velocidad reducida y a la vez regulable, al horno rotatorio para la sinterización de donde pasa finalmente el clínker al enfriador.

La marcha de los gases, en contra corriente, es la siguiente:

Los gases de escape producto de la combustión y de las reacciones en los crudos, pasan del horno a la parrilla a unos 1000°C. En su primera cámara atraviesan la capa de gránulos de arriba o abajo continuando, por un exhaustor, a la cámara secadora para penetrar por segunda vez a través de la parrilla y salir definitivamente hacia la chimenea a unos 90°C. Entre los dos pasos, se separa el polvo que se recupera en la alimentación.

En el horno de Lepol se distinguen pues, dos fases en la cocción: una por encima de los 1000°C, en la que la transmisión de calor se realiza, principalmente con radiación (tubo de horno) y otra, por debajo de los 1000°C, en la que la transmisión más fuerte es por convección (parrilla de Lepol).

Las principales ventajas del horno de Lepol son:

- a) La temperatura de salida de los gases es baja.
- b) El contenido en polvo de los gases es también bajo.
- c) El horno es más corto y se reducen las pérdidas por radiación.
- d) El clínker puede resultar más poroso y fácil demolturar.

Su principal desventaja es el disponer de una parrilla con elementos metálicos movibles, a temperatura elevada.

Entre los datos técnicos de la marca de este horno, en su diseño moderno, doble paso de gases por la parrilla se pueden mencionar los siguientes:

Consumo térmico: 800-850 Kcal/Kg de clínker
 Consumo eléctrico medio: 10 Kwh/ton de clínker
 Porcentaje de polvo en los humos: 0,5-0,8% de la producción del horno.

En EE.UU. se ha aprobado y puesto en marcha este horno para vía húmeda, previa reducción del contenido de agua de la pasta a un 15% mediante filtros. La "torta" resultante, junto con el polvo recuperado en los gases, se desmenuza y pasa a un granulador, donde, o se añade más agua o aire caliente. El resto del proceso es el mismo que en vía seca.

Horno Humboldt

Ya se ha señalado que en los últimos veinticinco años se consiguió reducir notablemente, el consumo de calor en-

la cocción del clínker, gracias al mejor aprovechamiento - de los gases que escapan del horno.

Sin embargo, en los sistemas de recuperación para la vía seca, empleados en el proceso de fabricación hasta - 1951, el crudo entraba en el horno en forma de gránulos - con un contenido en agua que oscilaba de 12 a 14%, lo que representaba un consumo adicional de combustible de unos - 190 kilocal/kg de clínker, una instalación especial de preparación y una fuente de dificultades para ciertos crudos - no muy aptos para granular y permitir una marcha en la instalación.

En el sistema de instalación Humboldt el crudo se introduce en forma de polvo y, a igualdad de consumo de combustible por unidad de clínker producida, la temperatura - de los gases de escape se eleva de 90°(gránulos) a 375°C - (polvo), lo que permite aprovechar éstos para el secado de materias primas, consiguiendo una mayor reducción en el - consumo calorífico total de la instalación.

El fundamento del intercambiador de calor Humboldt - consiste en que el material pulverulento se encuentra, un cierto tiempo, en suspensión en un ambiente gaseoso que circula en contracorriente.

En el horno se presenta, esquemáticamente, un intercambiador con cuatro pasos de ciclón, las líneas de trazo grueso indican el camino del crudo; las de trazo fino, el de los gases de escape del horno. Estos últimos pasan desde el horno, a través de los ciclones escalonados, a una instalación de desempolvamiento y, finalmente a la atmósfera.

Su funcionamiento es el siguiente:

El crudo seco pero frío, llega al primer ciclón, donde se encuentra con una corriente de gases que entran a 400°C y salen del mismo a unos 200°C.

El crudo separado por este ciclón pasa al segundo: el gas, en este punto, tiene unos 600°C y el crudo se calienta hasta unos 400°C.

De este modo, el crudo recorre en cascada los cuatro escalones, llegando a conseguir unos 800°C. Los gases que entran en el intercambiador de 900° a 1050°C salen de él a unos 200° - 250°C.

El material entra, más tarde, en el tubo del horno, totalmente deshidratado, incluyendo el agua de constitución de la arcilla y parcialmente descarbonatado (20-25%) - El tiempo total invertido en esta fase previa es de 15-25 seg.

En este horno se distinguen dos fases de cocción similares en su fundamento a las del horno Lepol.

Las primeras ventajas del horno Humboldt, son las siguientes:

- a) Reducción notable del consumo calorífico en la cocción del clínker.
- b) Posibilidad de aprovechamiento de los gases de escape de la desecación de materias primas.
- c) Tratarse de un sistema estático, el cual no requiere conservación.
- d) Poder aprovechar cualquier materia prima sea granulable o no.
- e) Poder trabajar sin intercambiador, en caso de urgencia o avería en el aspirador principal.

- f) Reducción considerable en la superficie ocupada por la instalación, a igualdad de producción con otras instalaciones.
- g) Aumento de producción por metro cúbico de horno (25-50%).

Los datos técnicos de esta instalación son similares a los del horno Lepol:

Consumo Térmico: 750-850 Kcal/kg de clínker.

Consumo eléctrico medio: 15Kwh/ton de clínker.

Producción de polvo: variable, pero superior al horno Lepol.

Si se hace una comparación entre ambos sistemas, se dirá que el horno Humboldt, a igualdad de condiciones, presenta una recuperación de calor ligeramente inferior que el Lepol; la descarbonatación del crudo es menor en el intercambiador que en la parrilla; además, en el horno Humboldt no hay secado, por lo que los gases de escape son más calientes, pero, sin embargo, permiten su aprovechamiento en otras secciones de la fábrica, igualando el rendimiento térmico con el Lepol. El horno Humboldt consume un poco más de energía que el Lepol.

Cocción sobre parrilla móvil

Este procedimiento, de aplicación reciente en la industria cementera, tuvo su origen en la industria metalúrgica, hace unos cincuenta años para la sinterización del polvo procedente de los hornos.

El crudo mezclado con el combustible, se coloca sobre una parrilla que está dotada de un movimiento lento de traslación; se enciende superficialmente con gas o fuel -

oil, generalmente, y su cocción prosigue por combustión - con aire aspirado a través de la propia carga.

Los factores más notables en este proceso son similares a los considerados en la parrilla del horno Lepol, - trasladando la escala de temperaturas y considerando además, los combustibles.

Se produce un clínker muy poroso y de fácil molturación, al menos en su primera fase. Además, este procedimiento permite la cocción de mezclas prohibitivas en - otros sistemas, tanto por su facilidad a formar pegaduras - como porque sufriría excesivamente el refractario.

La velocidad de traslación de la rejilla suele ser - de 50 a 60 cm/min., y pueden aplicarse, incluso, combustibles de baja calidad.

Cocción en horno de cemento

En Suiza se ha llegado a desarrollar, en épocas precarias de combustible la calefacción del horno rotatorio - por arco eléctrico de alta tensión.

La construcción de éste horno difiere de las instalaciones habituales en que las zonas de preparación y clinkerización tienen lugar en dos tubos distintos.

Los gases de reacción no escapan libremente por la - chimenea, sino que, después de abandonar la zona de preparación, vuelven por el enfriador y devuelven a dicha zona el calor de enfriamiento del clínker. El gas en circulación se compone exclusivamente de los gases desprendidos - del crudo (CO_2 y H_2O), el exceso de gases se expulsa a la salida del tubo precalentador.

Los electrodos (enfriados por agua) se sitúan en la cabeza del horno en substitución del quemador, y el calor se trasmite al material por radiación.

Siempre es posible el paso a carbón pulverizado, substituyendo los electrodos por el quemador y modificado el circuito cerrado con escape libre de los gases a la chimenea.

Zonas en los hornos de cemento

Tanto en los hornos verticales automáticos como en los rotatorios, la marcha de las reacciones que tiene lugar entre los componentes del crudo, y que define la distribución de calor, es análoga, en correspondencia con los procesos químicos que tienen lugar; a una zona de secado (si existe) sigue la de precalentamiento y calcinación, continuando la de sinterización (de máxima temperatura) y concluyendo con la de enfriamiento.

Dichas zonas no son perfectamente delimitadas, sino que se yuxtaponen en sus bordes.

La extensión de las zonas es diferente en el horno vertical y en el rotatorio. En el rotatorio a una zona de precalentamiento que se extiende a lo largo de casi $\frac{2}{3}$ de su longitud total, sigue una zona de sinterización de 5.10 m., concluyendo con una de enfriamiento muy corta.

La mayor parte de este proceso final tiene lugar fuera del horno. En aparatos especiales. En el horno vertical existe una zona de precalentamiento muy corta (1 a 2 m) una de sinterización quizás menor, y una de enfriamiento la cual ocupa aproximadamente los $\frac{2}{3}$ de la altura total del horno, sin existir enfriadores fuera del horno.

Revestimiento refractario

Como es lógico, todos los sectores de una fábrica de cemento donde existan altas temperaturas y se muevan materiales o gases muy calientes, deben revestirse de material refractario: hornos (en sus diversas zonas) descargas de clínker, enfriadores, colectores de polvo, calderas de recuperación, hogares auxiliares, chimeneas, etc. No obstante su extensa aplicación, los problemas más difíciles se encuentran en los hornos.

A su vez, dentro de un mismo horno estos problemas son diferentes en las distintas zonas, así, en la zona de secado y precalentamiento debe prevverse una gran resistencia a la abrasión: ladrillos duros y densos. En la zona de calcinación, aparte de la abrasión, son de prever una fuerte acción corrosiva de la cal y un posible desconchamiento provocado por choques térmicos. En la zona de clínkerización, hay que tener en cuenta la resistencia a la corrosión química de clínker, la resistencia al choque térmico (paradas, marchas y movimientos de la llama) y a la abrasión, y una gran refractariedad. Finalmente, en la zona de enfriamiento debe emplearse un material resistente al desgaste por abrasión y al desconchamiento, lo mismo que ocurre con la descarga al enfriador.

El ladrillo más extendido en la industria cementera es el silicoaluminoso, con porcentaje de alúmina variable de 30 a 70%. Le siguen en importancia los magnesianos, tanto en forma de óxido (magnesita) silicatos (dolomita estabilizada) o espinelas (cromo-magnesita).

También se hace uso aunque en raras ocasiones de los de cromita y de los de base TiO_2 .

En ocasiones se fabrican piezas refractarias con el propio clínker aglomerado con cemento, y ya se emplean, en los extremos del horno en las primeras zonas, hormigones - refractarios a base de cemento aluminoso como aglomerante - y como árido materiales refractarios machacados.

3.2 CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAS PRIMAS

Dada la cantidad y tipo de materiales y procesos que lleva consigo una fábrica de cemento es imprescindible la - instalación de laboratorios de control y ensayos, cuya situación, capacidad y distribución se hará de acuerdo con - las necesidades de las instalaciones. En ellos se monta - rán las instalaciones generales; agua, gas como combustible, alumbrado, calefacción eléctrica y acondicionamiento de aire y las secciones de ensayos físicos y químicos de - jando aparte los ensayos de control inmediato de la fabricación.

El laboratorio ejerce una comprobación periódica en distintos puntos del proceso para garantizar que los materiales lleven las características y composición adecuadas. Una operación importante quizá la que más, es la toma de - muestras, que debe ser representativa del período en que - se basa la determinación, al tratarse del movimiento de - grandes masas de material, éste es un problema grave en el que tiene mucha importancia el factor personal, al menos - en algunos casos o procesos.

Se verán severamente, los factores que presentan más interés en el control de las distintas fases de la fabricación.

CONTROL
DE
CALIDAD

MATERIAS PRIMAS
PREPARACION DE CRUDOS
COMBUSTIBLES
ALIMENTACION DEL HORNO
CLINKER
CEMENTO

Materias Primas

Deben vigilarse periódicamente con lapsos variables, según la homogeneidad de los materiales, tanto la cantera-de caliza como la de arcilla o de marga.

Conviene hacer el estudio de muestras en diferentes-estratos, y en puntos de cada uno de ellos, en número tal-que puedan tomarse valores medios: son interesantes las -distintas circunstancias de cada muestra, en especial el -insoluble en ácidos y el contenido en magnesio. Con estos datos pueden darse, en las condiciones más favorables que-considera la Dirección, las ordenes de explotación y acce-so de materiales a fábrica.

Preparación de Crudos

Conviene observar la buena marcha de las máquinas trituradoras y de molienda grosera, en lo que afecta al tama-ño del material producido, a fin de garantizar un buen ren-dimiento en los molinos finos.

A la salida del crudo del molino suelen determinarse cada hora los carbonatos, bien por el método de calcímetro (medida de CO₂ desprendido) o bien por volumetría en retro-ceso (las soluciones de ácido y sosa empleadas deben com-probarse con cierta frecuencia); en caso de trabajar con-

materiales altos en magnesia, conviene conocer por separado los contenidos en CaCO_3 y MgCO_3 . Si se trata de pasta, se determinarán también el porcentaje de agua, la densidad y la viscosidad. La determinación de finura suele hacerse cada dos horas.

Una vez completado un silo o vaso, se procede a su homogeneización, la cual se comprueba hasta recibir reproducibilidad en las determinaciones mencionadas en la molienda. Con ello, se prepara el material del depósito de alimentación del horno.

Es conveniente hacer un análisis químico completo y diario del crudo preparado para el horno, determinados sus índices y haciendo el cálculo potencial del clínker.

Combustibles

Al recibir una nueva expedición deben analizarse: -- humedad, materias volátiles, cenizas, análisis químico de las cenizas y poder calorífico.

El análisis del carbón de entrada al horno conviene hacerlo diario en lo que se refiere al contenido en volátiles, cenizas y carbono fijo, determinando los volátiles, - de ser posible, unas tres veces al día. La finura, en la molienda, se determina cada cuatro horas.

Caso de emplear combustibles líquidos, las determinaciones se simplifican, siendo interesantes la viscosidad - en función de la temperatura, su poder calorífico que suele ser muy constante, y el análisis elemental periódico.

El análisis de los gases de chimenea es muy conveniente y en caso de no tener aparatos-registro deben deter

minarse con la mayor frecuencia posible. Es suficiente la determinación de CO , CO_2 y O_2 .

Alimentación del horno

Cada cuatro horas conviene hacer las mismas determinaciones que a la salida de los molinos de crudo. Si se alimentan gránulos, también debe determinarse la humedad de los mismos; y en caso de ser horno vertical, debe determinarse la proporción de crudo y carbón de los mismos.

Clínker

Cada hora se determina su densidad aparente, entre dos tamaños perfectamente determinados. De la muestra media de 24 horas se hace análisis químico completo incluyendo la cal libre y el SO_3 , si existe en alguna proporción.

Cemento

Suele determinarse su finura y fraguado cada dos horas, tanto a la salida del molino como de la ensacadora. Estas muestras se pasan al laboratorio de ensayos y de ellas se hace una diaria, en la que se realizan las siguientes determinaciones: finura (sobre tamices y separador de aire), peso específico real y aparente, consistencia normal y tiempo fraguado, estabilidad de volumen (galletas, agujas y autoclave) y resistencias en mortero normal, siempre según las condiciones del pliego vigente en el momento del ensayo.

Resumiendo, se dice que desde el punto de vista de fabricación los ensayos más importantes del cemento son: composición química del clínker, contenido en yeso del cemento y finura de molido.

El análisis químico por sí solo no representa un criterio de calidad, pero sí es un índice de la composición mineralógica del clínker, si está bien enfriado.

El contenido en yeso, aparte de afectar el tiempo de fraguado puede servir de colaborador en las resistencias iniciales, sobre todo en los cementos finamente molidos.

La finura del cemento afecta su calidad en lo que respecta a sus resistencias, principalmente a corto plazo.

3.3 CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO

Las propiedades esenciales que interesan en un cemento, son las resistencias mecánicas que pueda producir y la duración que deban tener las aplicaciones donde dicho cemento haya sido empleado.

Resistencias mecánicas y duración son propiedades que básicamente resultan de variables: composición química y finura.

No se trata de establecer cuál es la composición química ni la finura óptimas que deba tener cada tipo de cemento, simplemente de precisar que una vez que éstas han sido establecidas, la variación que pueda ocurrir en cualquiera de ellas, o en ambas, repercutirá forzosamente en una variación, mayor o menor, en las propiedades del cemento, de ahí que sean estas variables los más importantes puntos de control en la producción de cemento.

Una vez que se ha fijado este principio, deben examinarse las causas de que existan estas variaciones, las so-

luciones a que se ha llegado para reducirlas y los resultados que se han conseguido.

La médula de la fabricación del cemento Portland, -- es un proceso continuo mediante el cual una mezcla pulverizada y con la composición adecuada, es quemada en hornos -- produciendo un material parcialmente sinterizado en el -- cual, como resultado de la alta temperatura aplicada se ha logrado la combinación de los óxidos de calcio, silicio, -- aluminio y hierro en silicatos tricálcico, dicálcico, aluminato tricálcico y aluminoferritotetracálcico, esencia -- les constituyentes del cemento Portland.

Una de las partes más importantes del control del -- proceso de fabricación del cemento será por lo tanto, mantener una composición química constante, es decir, que el porcentaje de cada uno de los cuatro principales constituyentes de la mezcla cruda deberá mantenerse lo más ajustado posible a los valores preestablecidos, o mejor aún, a ciertas relaciones entre estos valores que permitan juzgar de la constancia en la composición del clínker obtenido.

Para ello se cuenta con dos series de parámetros que son usados indistintamente.

Primero, considerar la composición del clínker en -- función de los compuestos obtenidos mediante las relaciones para los silicatos tricálcicos y dicálcicos, el aluminato tricálcico y el aluminoferrito tetracálcico, transformando el análisis elemental a éstos compuestos, la constancia de los cuales será el objetivo de control.

La forma de establecer relaciones entre la composición elemental que permiten cuidar las características del material. Estas relaciones son: la saturación de cal, el

módulo de silicio y el módulo de aluminio.

El valor máximo teórico de la saturación de cal es - 100, representando el contenido máximo teórico de óxido de calcio que puede combinarse totalmente con los óxidos de silicio, aluminio y fierro. Un valor superior a 100 indica que hay en la mezcla un exceso de óxido de calcio imposible de combinarse químicamente, lo que necesariamente resultará en valores altos de cal libre y por lo tanto en cementos poco estables.

Cada tipo de cemento tendrá valores característicos para los tres módulos en igual forma que tendrá valores característicos para los compuestos de Bogue. El control de la constancia en los módulos o en los compuestos resultará en un clínker de composición química constante.

La ventaja de utilizar estos valores como parámetros de la composición para el control en lugar del análisis elemental, es que de esta manera la amplitud de las variaciones es mayor, permitiendo un mayor control.

El primer paso de fabricación, y de la máxima importancia, va a consistir en mezclar en las proporciones adecuadas, los materiales que se requieran para formar la mixtura que se va a introducir al horno para producir el clínker.

Aquí los problemas se encadenan y de su solución satisfactoria va a depender el éxito de un control.

Primero, es difícil conseguir bancos de material lo suficientemente homogéneos que permitan fijar un proporcionamiento constante. Como fuente de óxido de calcio se utilizan generalmente calizas (carbonato de calcio) y como -

fuelle de los óxidos de silicio, aluminio y fierro se encuentran las arcillas, margas y pizarras. Cuando éstas son deficientes en óxido de silicio se suelen emplear arenas silicosas y minerales de fierro, como la hematita para corregir deficiencias en el contenido de óxido férrico.

Generalmente el frente de una cantera de caliza va a variar en el contenido de carbonato de calcio, o en el caso de las arcillas varían los contenidos de óxidos de silicio y fierro.

La solución que se le ha dado a esta variabilidad, ha sido el establecimiento de camas de mezclado mecánico. Después de que el muestreo y análisis de una cantera permitan ubicar las composiciones del material, éste al ser extraído, es colocado en capas de espesor variable hasta formar una cama, la composición total de la cual se aproxima al promedio deseado. El material que se extrae de la cama, mediante una excavadora, es un corte total de todas las capas. La corrección en la composición que se logra de esta manera es tal, que por ejemplo, con arcillas que varían en su contenido de óxido de silicio entre 20 y 60%, se puede formar una cama, de la cual al extraerse el material el porcentaje promedio sea de 35% + 1.

Este primer paso de prehomogenización permite contar con materiales de composición bastante constante, que van a disminuir las posibilidades de variación en la composición de la mezcla final.

El control químico en la composición final de la mezcla cruda representa otro problema importante ya que el análisis de los materiales en todo el proceso del cemento requieren de un tiempo demasiado largo por los métodos analíticos convencionales, lo que origina que estos métodos -

sea posible emplearlos en el control de las canteras, donde se puede disponer de suficiente tiempo entre la toma de las muestras, el análisis de las mismas y la extracción del material.

Por esta razón, durante largo tiempo el control químico del proceso se basó en la única determinación que era posible efectuar con rapidez; el contenido de carbonatos de la mezcla cruda o más correctamente expresado, el valor de la titulación de la mezcla cruda.

Este sistema puede dejar pasar desapercibidas variaciones importantes de la composición. Como ejemplo típico, un caso en que se emplean tres materiales para formar la mezcla cruda: caliza, arcilla y arena.

Se tienen dos análisis con valores muy diferentes para los módulos y sin embargo el valor de la titulación es el mismo para ambas mezclas.

SiO ₂	15.30	13.39
Al ₂ O ₃	3.59	3.74
Fe ₂ O ₃	1.19	1.18
CaO	42.08	42.58
Titul.	77.2	77.3
Sc	88.1	100.0
S	3.2	2.7
Na	3.01	3.17

La razón de esto se debe a que con el valor de la ti tulación se controla en forma aproximada la relación entre la caliza y el total de arcilla-arena, pero es imposible - controlar variaciones en la relación arcilla-arena. De aquí que bajo este sistema sea preferible trabajar en cuanto sea posible únicamente con dos materiales en la línea - de producción y hacer mezclas de los materiales no calizos en un sólo fuera de la línea. De la eficacia de esta mezcla dependerá que se pueda obtener en la homogeneidad de - la mezcla cruda.

La aplicación de la espectrometría de Rayos X al -- análisis de los materiales en la industria del cemento ha venido a modificar casi en su totalidad esta situación, ya que permite obtener en unos pocos minutos el análisis preciso de todos los elementos importantes en la composición - de la mezcla cruda.

Más aún, ha sido posible aplicar con buenos resultados computadoras o calculadoras programables al control -- de la composición de las mezclas, de modo que es a través - de un cálculo rápido como se modifican los proporcionamien tos de los diferentes materiales en lugar de que esto que - de a criterio de un operador.

Bajo este sistema es posible controlar un número de - parámetros igual al número de materiales menos uno, es decir, con cuatro materiales es posible controlar los tres - parámetros esenciales en una mezcla; saturación de cal, - módulo de silicio y módulo de aluminio. Esto, aunado a la precisión con que se cuenta actualmente en los sistemas - continuos de dosificación, hacen que se busque trabajos en la línea con varios materiales, en lugar de dos, como se - hacía anteriormente.

La búsqueda de la homogeneidad de las mezclas crudas ha hecho que existan dos tipos diferentes de proceso: la vía húmeda y el proceso seco.

En la vía húmeda, se hace una suspensión de la mezcla cruda en agua y se busca que en grandes tanques agitados de almacenamiento se efectúe una homogenización que corrija las variaciones de la composición.

En el proceso seco, se cuenta con silos de homogenización, intermitentes o continuos, en los cuales por medios neumáticos se establece una agitación en el polvo, el cual tiende a mezclarse y corregir así las variaciones.

El porcentaje de óxido de calcio y la saturación de cal correspondiente en la mezcla cruda obtenida de un molino durante un equivalente de cinco días de operación con muestras tomadas cada hora bajo dos modos.

Control manual, mediante el cual los ajustes de las proporciones están hechos a criterio de operador y control de calculadora posteriormente. En ambos casos, la arcilla utilizada ha sido premezclada en un sistema de prehomogenización.

Aparecen después los resultados obtenidos para los mismos parámetros durante tres días en la descarga de un silo homogenizador continuo muestreado también cada hora.

De un estudio estadístico de los datos se puede apreciar que en el caso del molino en ambos modos de operación, la media de los valores es bastante aproximada al valor buscado de 96.0 en la saturación de cal, pero tanto la desviación tipo de la población, como la hornilla de las dispersiones es reducida a la mitad mediante el empleo de la cal-

culadora. En ambos casos todos los valores de las medias - parciales se encuentran dentro de los límites de control.

La desviación tipo de la población, o para los 72 valores de Óxido de calcio en el material del silo homogenizador es de 0.1163 y la horquilla máxima es de 0.30. Si se considera que la ASTM en la tabla de tolerancias para los análisis químicos del cemento fija un valor de 0,3 para la máxima diferencia tolerable para el Óxido de calcio entre tres análisis y que la desviación tipo para esta misma de terminación mediante la espectometría de Rayos X, se ha encontrado que es del orden de 0.1, resulta sorprendente la serie de valores obtenidos indicando que se puede concluir que la homogeneidad de la mezcla cruda producida se encuentra totalmente dentro de las tolerancias para un análisis químico, hecho cuya comprobación se encuentra en la perfecta distribución de la frecuencia de las medianas y que se ajusta perfectamente a la ley de distribución normal.

No se extendió en consideraciones similares en lo referente al control del grado de finura de los cementos o al contenido de SO_3 de los mismos.

Es posible concluir, que en la actualidad se pueden producir día con día cementos cuyas características difieran en un mínimo de las características prefijadas para su fabricación.

CONTROL DE CALIDAD CON RAYOS X

Las ventajas presentadas por el sistema de rayos X para el control de calidad en la producción de cemento, resaltan de inmediato y se dejan ver durante todo el proceso de fabricación, ellas desde el punto de vista económico y de eficiencia de control.

El tiempo promedio para llevar a cabo determinaciones analíticas por vía húmeda, en materias primas y crudo de alimentación al horno, es de 10 Hs. para una serie de tres muestras; este tiempo se ha calculado experimentalmente.

En cambio el mismo número de determinaciones se logra en un tiempo de 30 min., cuando se utilizan rayos "X". Esto considerando para ambos métodos el tiempo desde la toma de la muestra pulverizada hasta el cálculo de los resultados de las determinaciones.

Las determinaciones a corto tiempo, hacen posible la corrección inmediata de la dosificación de materias primas antes de su molienda para así obtener un crudo con características similares durante todo el proceso de molienda.

Las determinaciones para clinker y cemento, por vía húmeda, se logran en un tiempo aproximado de 6 hs., para un número de tres análisis. Estas mismas determinaciones se llevan a cabo en 45 min., por el método de fluorescencia de rayos "X".

En los análisis por vía húmeda se encuentran variaciones promedio máximas de 0.25% y mínimas de 0.15% en los compuestos químicos analizados. Para determinaciones por rayos "X" las variaciones no sobrepasan el 0.10%.

El método por medio de fluorescencia de rayos "X" proporciona gran exactitud, lejos de ser alcanzada por el método de vía húmeda debido a impurezas en los reactivos analíticos o a error de análisis por el personal.

La uniformidad del crudo de alimentación al horno, ya mencionada, permite que la calcinación del material se obtenga con mayor eficiencia con las siguientes característi-

cas:

1. La temperatura del horno de calcinación tiende a permanecer constante ahorrando consumo de combustible. - Es de importancia hacer notar que los cambios de temperatura fragmentan el forro del horno, compuesto de ladrillo refractario, disminuyendo así el tiempo de trabajo y aumentando el costo de mantenimiento.
2. Al perfeccionarse la calcinación, el clinker producido tiende a poseer las mismas propiedades cristalográficas y por tanto de dureza; en consecuencia la molienda de éste, para obtener el cemento, es uniforme; encontrándose un óptimo en la producción.

Haciendo un estudio comparativo de las gráficas de resistencias para ambos métodos, se encuentra que en el control por fluorescencia de rayos "X", las resistencias tienden a estabilizarse; contrario a la variación que estas presentan con el control por vía húmeda.

La estadística del cemento, enumerada anteriormente y que muestra un enorme desarrollo, hace lógico pensar en la dificultad que presenta su control de calidad por el método de vía húmeda para aquellas plantas de alta capacidad de producción, dado que cada día se manejan aproximadamente 8,000 toneladas de materia prima, con lo que se necesita de un método exacto, rápido y económico de control. En la actualidad el control por medio del sistema de rayos "X" posee las características mencionadas haciéndolo el método más apropiado, considerándose como el principio en la automatización de esta importante industria.

C A P I T U L O I V

INDUSTRIA DEL CEMENTO EN MEXICO

4. INDUSTRIA DEL CEMENTO EN MEXICO

4.1 (LOCALIZACION) DE YACIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS - CAPACIDAD DE PRODUCCION

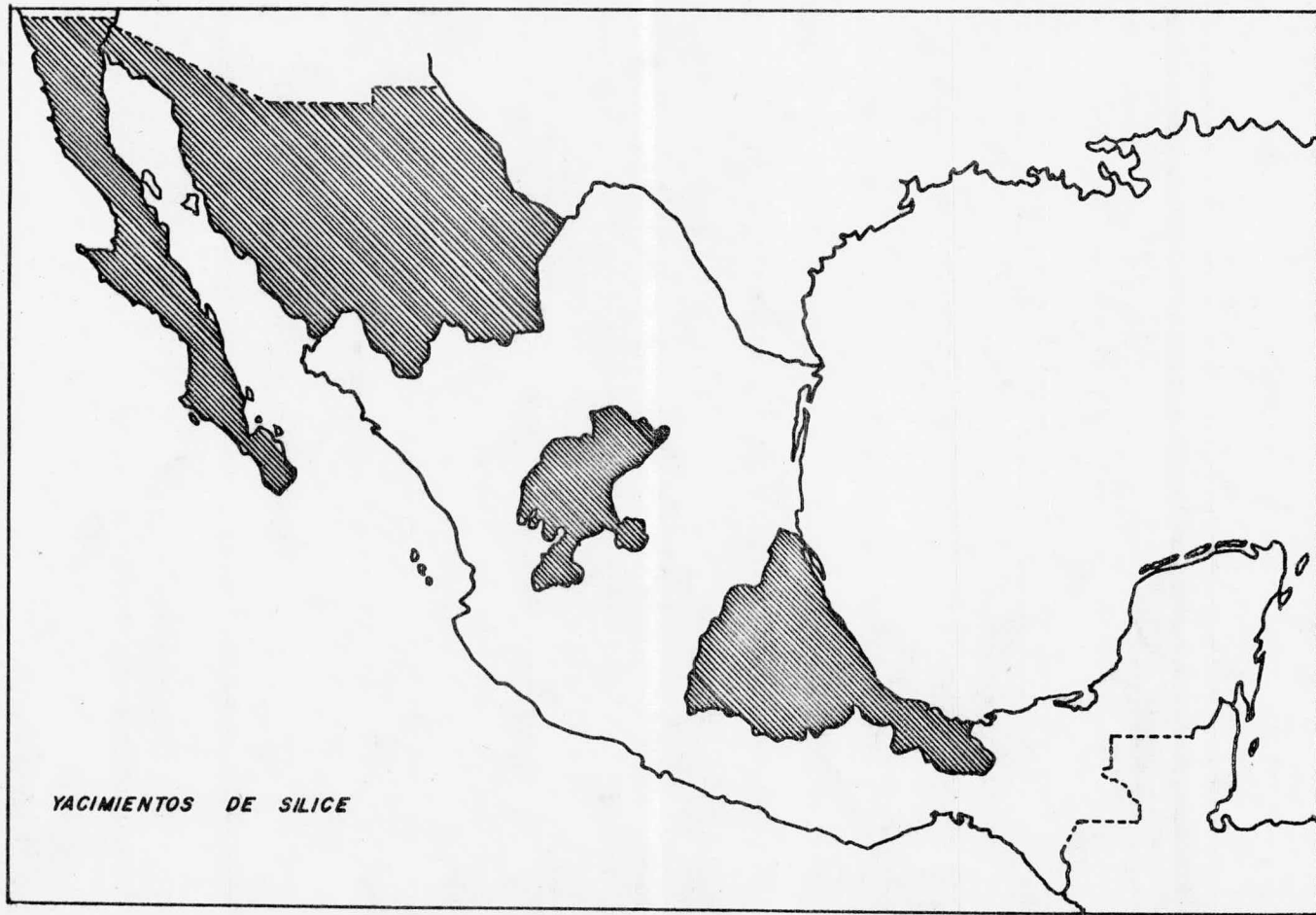
SILICE

Durante los últimos 8 años la producción de sílice ha aumentado, debido al uso de diferentes clases de acuerdo con el grado de pureza, que puede variar del 65 al 69% de sílice.

El principal país a quien se destinó la exportación fue Guatemala quien en 1972, consumió el 98% del volumen total de exportación.

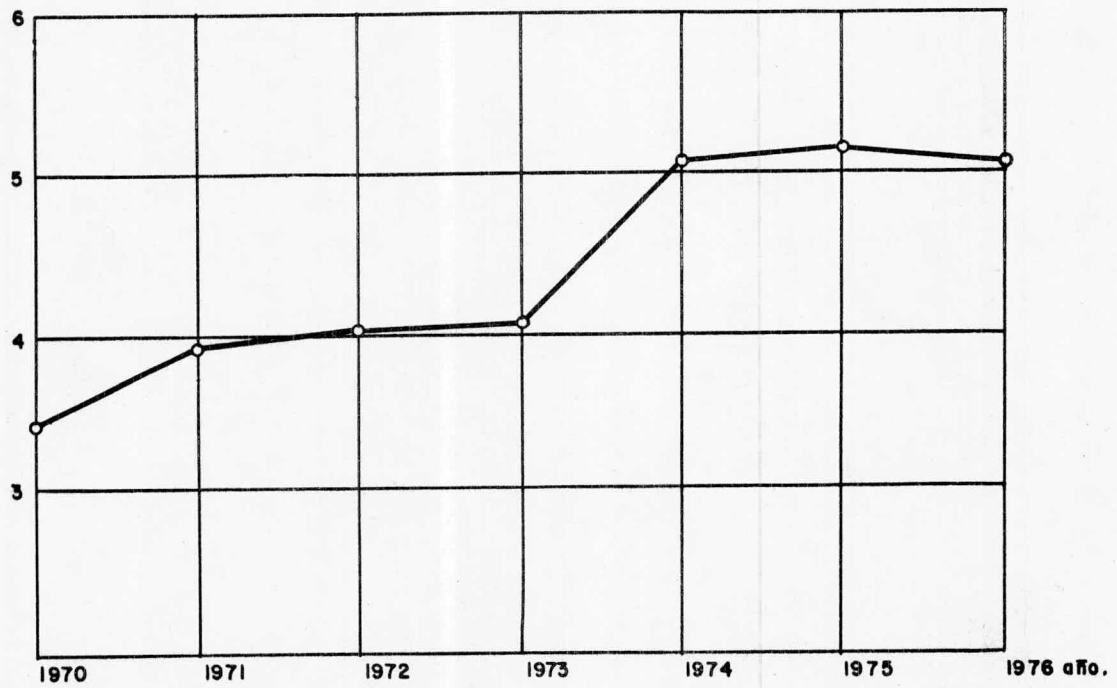
Las exportaciones del mineral se refieren a cuarzo en estado natural, las importaciones han presentado una tendencia ascendente, proviniendo de E.U. quien aporta el 88.7% del total en 1972 se compra: cuarzo o cuarcita (en bruto), arenas silíceas o arenillas teñidas o sin teñir (industria del vidrio).

AÑOS	PRODUCCION	EXPORTACION	IMPORTACION
1970	355,862 Ton.	20,126 Ton.	157,794 Ton.
1971	393,350 Ton.	20,126 Ton.	182,474 Ton.
1972	404,567 Ton.	26,555 Ton.	216,000 Ton.
1973	411,432 Ton.	28,074 Ton.	287,392 Ton.
1974	513,984 Ton.	23,979 Ton.	291,677 Ton.
1975	518,973 Ton.	10,978 Ton.	249,523 Ton.
1976	509,029 Ton.	997 Ton.	204,899 Ton.



PRODUCCION DE SILICE

MILES DE
TONELADAS.



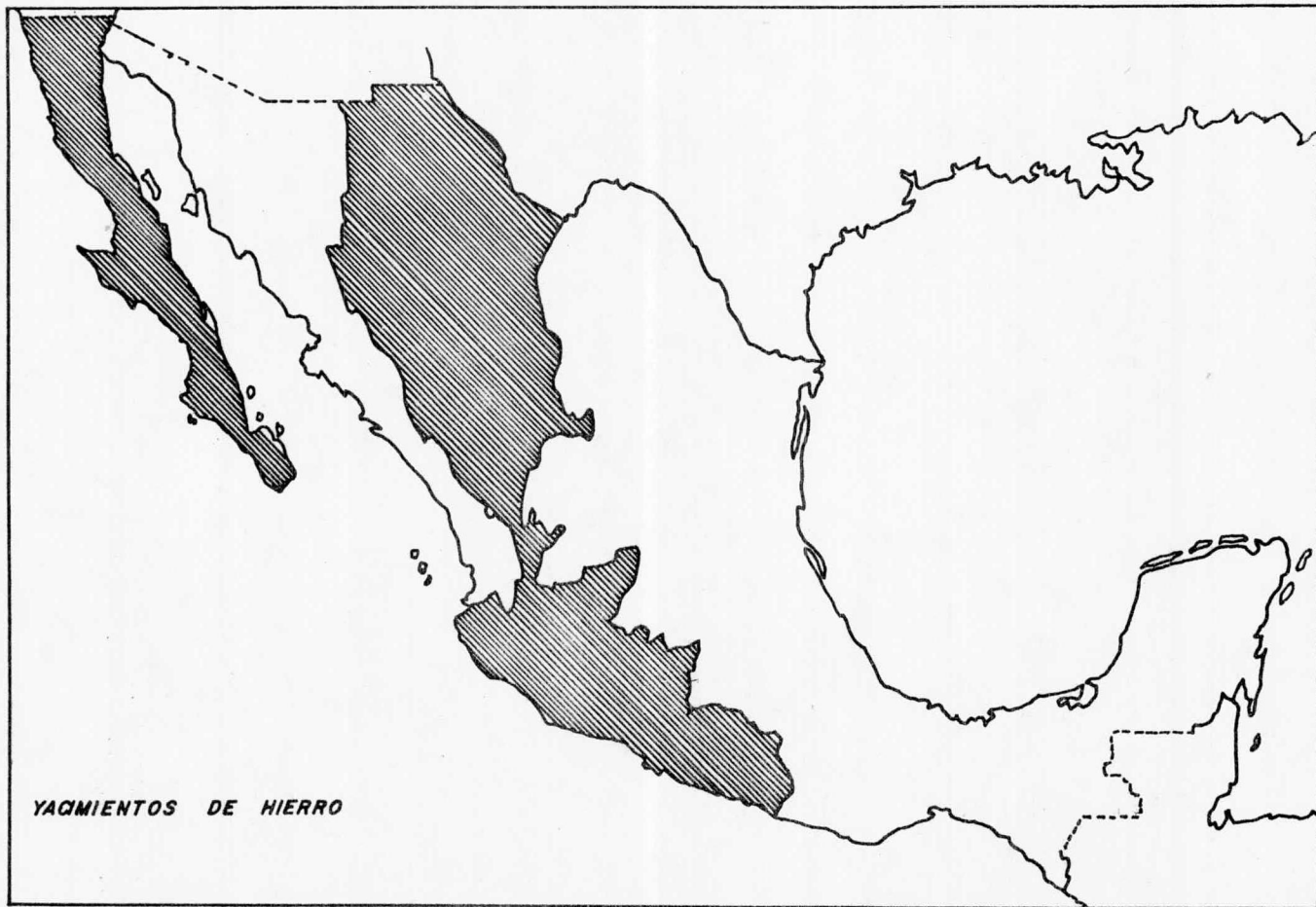
MINERAL DE HIERRO

En su gran mayoría se asocian con rocas ígneas y sedimentarias, de acuerdo con el tipo a que corresponde, se les localiza también en conexión con formaciones metamórficas; las rocas sedimentarias con que se encuentran en la mayoría de los casos son calizas, de diferentes períodos geológicos. Los yacimientos de mineral de hierro se localizan en mayor número en la costa del Pacífico, sobre todo en los estados: Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Baja California, Chihuahua y Durango. No todos son de valor comercial para su explotación. El mineral de hierro se caracteriza por ser masivo, pesado y homogéneo tanto en su textura y dureza como en su contenido de hierro. El metal puro se altera con facilidad al aire y con el agua, así forma parte de muchos silicatos y en las aguas minerales ferruginosas se encuentra disuelto en forma de bicarbonato.

El hierro metálico comercial contiene algunas impurezas formadas por la presencia del carburo, sulfuro, fósforo y siliciuro de hierro, así como varias combinaciones análogas de magnesia y grafito. Los principales minerales de hierro son los óxidos férricos hidratados y el carbonato ferroso.

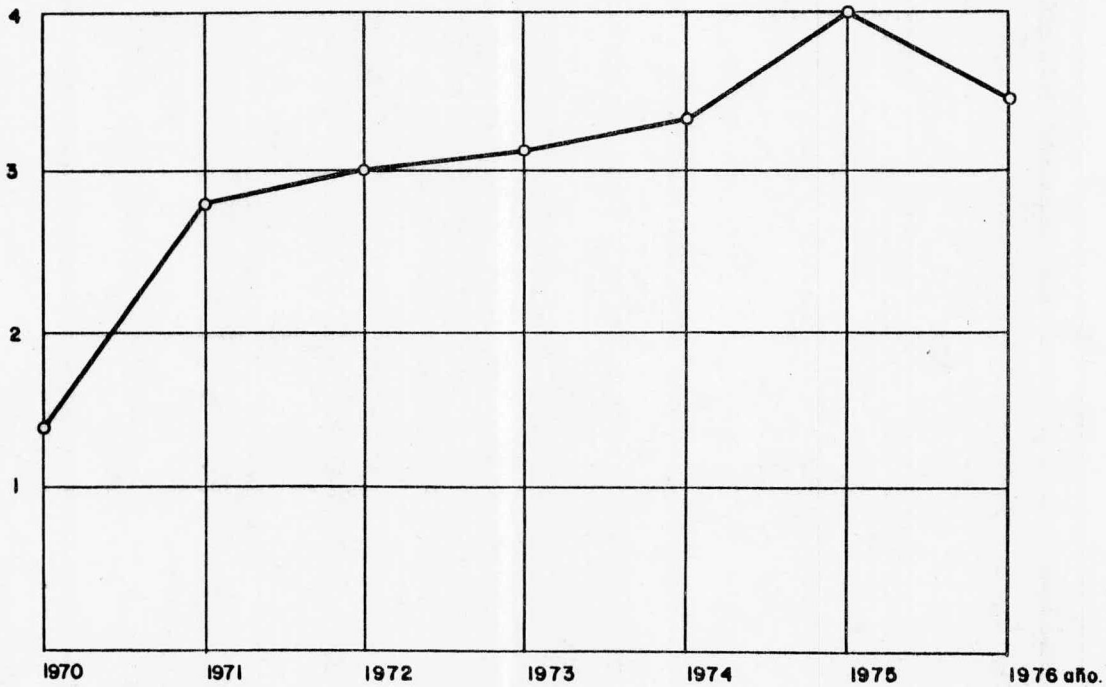
Además por ser materias primas en la fabricación de acero, se emplea en pigmentos, cemento, refractarios básicos, con la fundición de los metales no ferrosos y como constituyentes de algunos catalizadores.

Por sus características físicas el mineral puede ser reemplazado en muchas de sus aplicaciones por el cobre, aluminio, plomo y vanadio.



PRODUCCION DE MINERAL DE HIERRO

MILLONES DE
TONELADAS.



AÑOS	PRODUCCION	EXPORTACION	IMPORTACION
1970	1,413,886 Ton.	319 Ton.	184,525 Ton.
1971	2,818,678	58,255	673,454
1972	3,053,360	55,716	678,958
1973	3,113,425	25,280	1, 219,810
1974	3,338,294	3,966 (mineral)	37,203 (mineral)
1975	3,369,258	13,843 "	34,143 "
1976	3,644,317	11,542 "	158,516 "

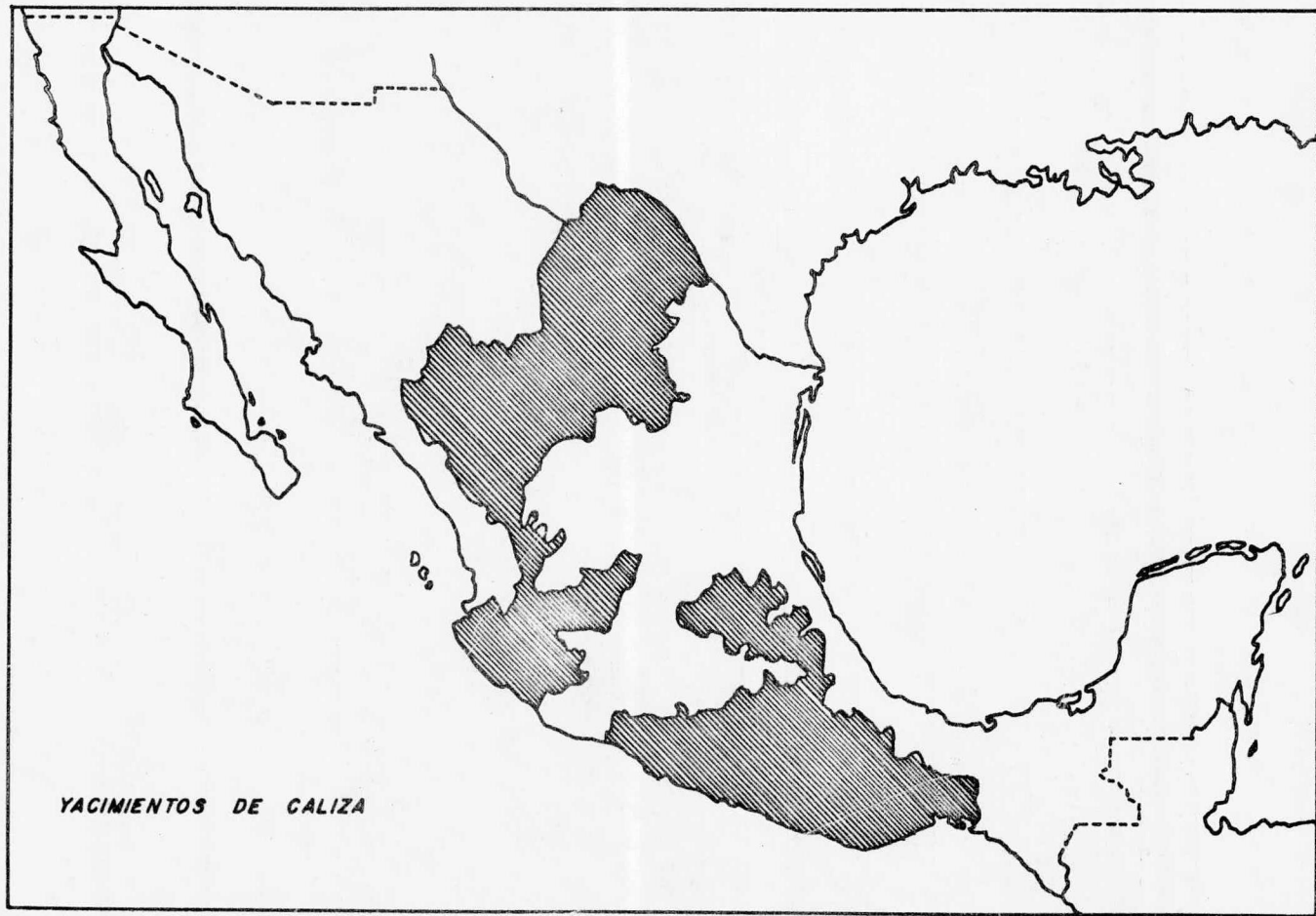
CALIZA

En los tiempos modernos con las miras prácticas y utilitarias de la época, la diversidad de rocas, que se usa en los ramos de la construcción, ornamentación, etc., es muy grande y variada para llenar todos los gustos y exigencias.

De estos materiales, los más frecuentes usados incluyen rocas de todos tipos, composiciones, texturas y estructuras tales como:

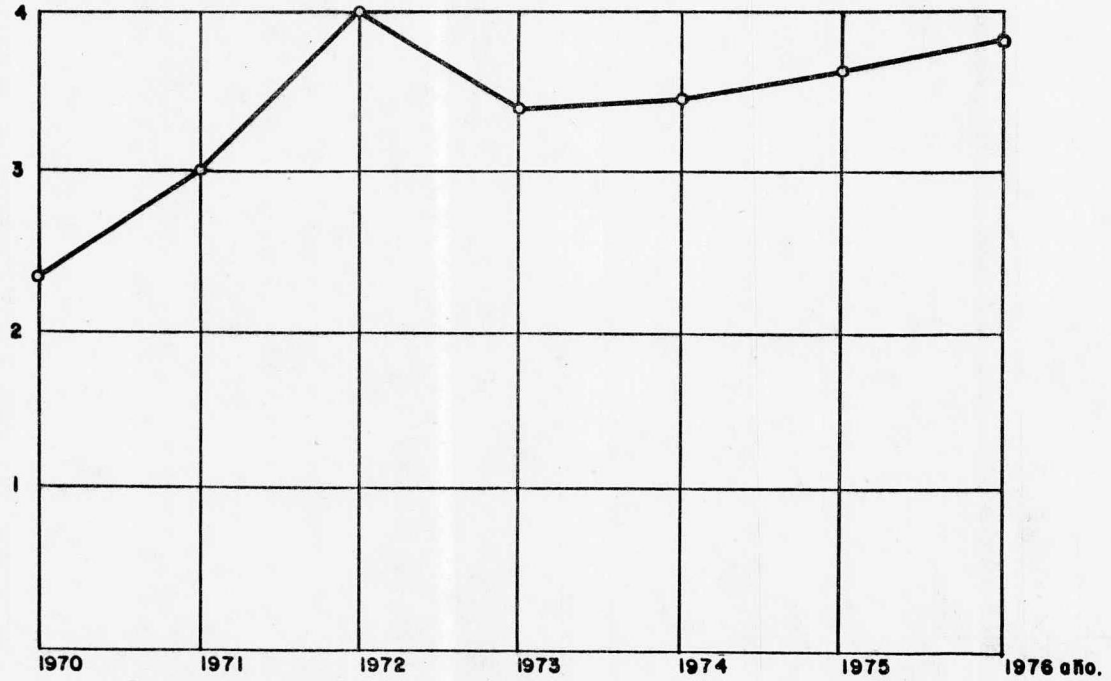
Calizas
 Calizas fosilíferas
 Areniscas
 Basalto
 Andesitas
 Riolitas
 Tobas
 Tenzontles o escorias volcánicas
 Granitos
 Mármoles

AÑO	PRODUCCION	EXPORTACION		IMPORTACION
1970	2,361,097 Ton.	Cal	78 Ton.	-
1971	3,000,932 Ton.	Cal	563 Ton.	-
		Caliza	489 Ton.	-
1972	4,068,486 Ton.	Cal	862 Ton.	-
		Caliza	3154 Ton.	-
1973	3,418,644 Ton.	Cal	168 Ton.	-
		Caliza	3430 Ton.	-
1974	3,455,780 Ton.	Caliza	504 Ton.	-
1975	4,651,801 Ton.	Caliza	1389 Ton.	-
1976	4,762,632 Ton.	Caliza	2121 Ton.	-



PRODUCCION DE CALIZA

MILLONES DE
TONELADAS



ALUMINIO

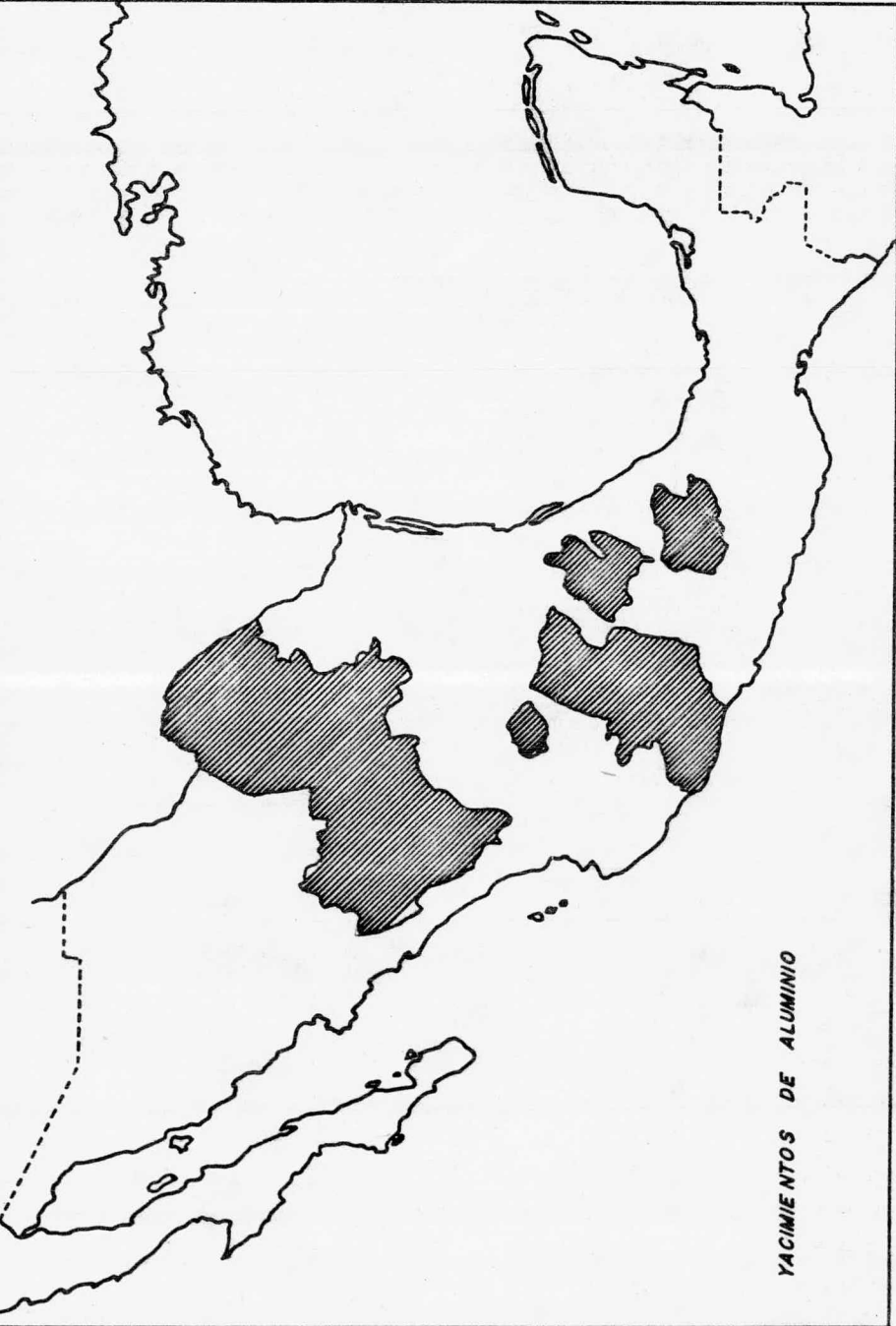
Los materiales comercialmente explotables de éste metal son poco comunes en México, ya que no se sabe que - existe puro criolita y jamás se ha encontrado bauxita.

Por tanto, el único mineral de donde se puede obtener es de alunita.

Existen diversos medios de obtención del aluminio a partir de sus minerales.

Las principales aplicaciones del aluminio se encuentran en la industria de la construcción, fabricación de vehículos de transporte terrestre marítimo y aéreo, en la industria eléctrica de empaques, de utensilios para cocina y en algunas más de menor importancia ha crecido la demanda de éste metal por la sustitución de otros minerales todo - ello debido a sus propiedades de ser ligero, de alta conductividad eléctrica, irradia el calor, resiste a la corrosión, no tóxico, maleable y dúctil.

AÑOS	PRODUCCION	EXPORTACION (LINGOTES)	IMPORTACION
1970	0	0	74,426 Ton.
1971	0	0	79.101 Ton.
1972	0	0	8,650 Ton.
1973	0	0	12,768 Ton.
1974	0	150.250 Ton.	17,099 Ton.
1975	0	129.536 Ton.	7,621 Ton.
1976	0	4.011 Ton.	9,865 Ton.



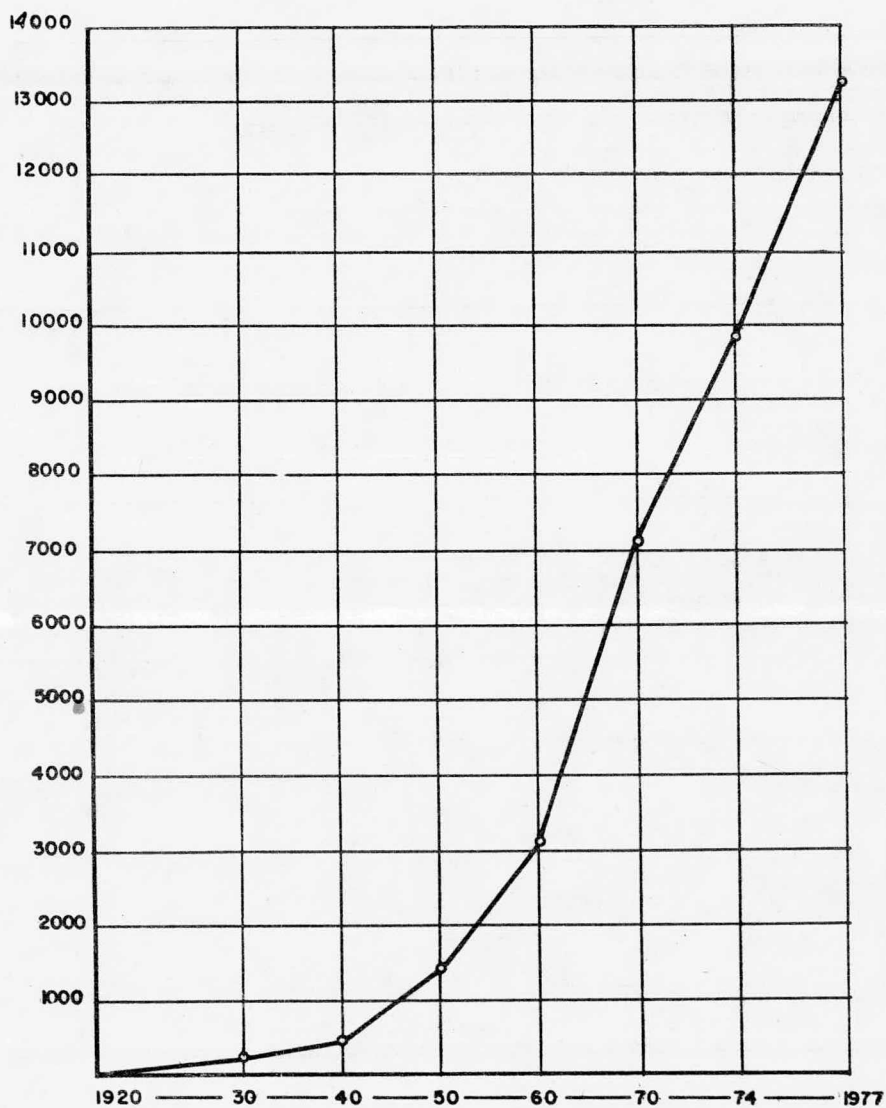
YACIMIENTOS DE ALUMINIO

4.2 DESARROLLO DE LA INDUSTRIA (LOCALIZACION)

ANOS	NUM. DE FABRICAS	NUM. DE HORNOS	CAPACIDAD ANUAL DE PRODUCCION EN TONS. METRICAS	PRODUCCION ANUAL ALCANZADA EN TONS. METRICAS
1906	1	4	66	20
1907	1	4	66	30
1908	1	4	66	40
1909	2	5	86	50
1910	3	8	152	60
1911	3	8	152	50
1912	3	9	177	40
1913	3	9	177	30
1914	3	9	177	25
1915	3	9	177	10
1916	3	9	177	20
1917	3	9	177	30
1918	3	9	177	40
1919	3	9	177	40
1920	4	10	222	45
1921	4	10	222	50
1922	4	10	222	70
1923	4	10	222	90
1924	4	10	222	107
1925	4	10	222	110
1926	4	10	222	151
1927	4	10	222	158
1928	5	12	246	204
1929	5	13	291	158
1930	5	13	291	227
1931	7	15	375	157
1932	7	16	405	138
1933	7	16	405	173
1934	7	16	405	241
1935	7	16	405	251
1936	7	16	405	286
1937	7	16	405	345
1938	8	19	513	374
1939	8	19	513	410
1940	8	19	513	485
1941	9	20	575	537
1942	9	21	575	560
1943	10	25	650	597
1944	10	25	656	624
1945	14	32	1,052	808
1946	15	33	1,088	879
1947	18	39	1,419	1,080
1949	18	41	1,698	1,177
1950	18	44	1,818	1,387
1951	18	46	1,953	1,535

1952	18	47	2,084	1,640
1953	18	47	2,181	1,672
1954	18	50	2,438	1,765
1955	18	50	2,517	2,086
1956	19	53	2,757	2,277
1957	19	53	2,757	2,519
1958	20	56	3,062	2,496
1959	20	58	3,302	2,638
1960	20	60	3,554	3,086
1961	21	63	2,876	2,984
1962	21	57	2,830	3,266
1963	21	59	4,259	3,680
1964	22	62	4,610	4,339
1965	22	61	4,670	4,199
1966	24	65	5,237	4,828
1967	26	69	6,339	5,544
1968	26	73	7,206	6,008
1969	27	76	8,034	6,674
1970	27	73	8,034	7,180
1971	27	75	8,877	7,362
1972	28	77	9,665	8,602
1973	28	80	11,690	9,787
1974	28	82	12,060	10,595
1975	28	85	13,655	11,612
1976	28	85	14,835	12,584
1977	28	85	14,210	13,227

PRODUCCION DE CEMENTO
(MILES DE TONELADAS METRICAS)





LA INDUSTRIA MEXICANA DEL CEMENTO

NOMBRE	UBICACION	NO. DE HORNOS	TIPO DE CEMENTO	PROCEDIMIENTO	TON. METRICAS	BARRILES
Cemento Portland Blanco de México, S.A.	Vito, Hgo.	2	Portland común tipo 1 y Portland blanco tipo 1	vía seca	250	1,450
Cemento Anáhuac, S.A. (Unidad Barrientos)	Barrientos, Tlalnepantla	6	Portland común tipo 1, Portland de alta resistencia tipo 111 y mortero Anáhuac	vía seca	5,600	32,480
Cementos Anáhuac, del Golfo, S.A.	Tamuín, S.L.P.	1	Portland tipo 1, Portland modificado tipo 11 y cemento de alta resistencia rápida tipo 111	vía seca	2,000	11,600
Cementos Apasco, S.A.	Apasco, Edo. de Méx.	2	Portland tipo 1, Portland modificado tipo 11, Portland alta resistencia, Portland alta resistencia a los sulfatos tipo V o tipo EAT exento de aluminato tricálcico	vía seca	3,500	20,300
Cementos de Acapulco, S. A.	Acapulco, Gro.	1	Portland tipo 1, Portland alta resistencia tipo 111 y morteros especiales	vía seca	600	3,480

NOMBRE	UBICACION	NO. DE HORNOS	TIPO DE CEMENTO	PROCEDIMIENTO	TON. METRICAS	BARRILES
Cementos de Chihuahua, S.A.	Chihuahua, Chih.	3	Portland tipo 1, Portland puzolánico	vía seca	1,100	5,380
Cementos de Chihuahua, S.A. (Planta Cd. Juárez)	Cd. Juárez, Chih.	1	Portland tipo 1	vía seca	350	2,030
Cementos del Norte, S. A.	Monterrey, N.L.	No tiene recibe de Cementos Mexicanos S.A. el clínker	Ferroportland y cemento siderúrgico	vía seca	800	4,640
Cementos Guadalupe, S. A.	Tlaquepaque Jalisco	2	Portland Puzolana	vía seca	1,900	11,020
Cementos de Guadalupe, S.A. División Cementos California	Margen Arroyo el Gallo, B.C.	2	Portland puzolana, Portland tipo 1, Portland modificado alta-resistencia al sulfato plástico hidropelente	vía seca	575	3,335

CAPACIDAD DIARIA

NOMBRE	UBICACION	NUM. DE HORNOS	TIPO DE CEMENTO	PROCEDIMIENTO	TONS. METRICAS	BARRILES
Cementos Hidalgo, S.C.L.	Hidalgo, N.L.	2	Portland tipo 1,- Portland tipo 11	vía seca	750	4,350
Cementos Maya (División Mérida)	Monterrey, Mérida, Yuc.	4	Portland tipo 1 Portland alta resistencia tipo - 111	vía seca	630	3,654
Cementos Maya, (División del Bajío)	León, Gto.	2	Portland tipo 1 Portland tipo 11 Portland tipo 111 de bajo calor dehidratación tipo- IV, de resistencia a los sulfatos tipo V, y cemento- esp. para pozos - petr.	vía húmeda	1,500	8,700
Cementos Mexicanos, S. A.	Monterrey, N.L.	5	Portland tipo 1 Portland tipo 11 alta resistencia tipo 111, resistencia al sulfato tipo V, Portland blanco	vía seca	3,800	22,040

NOMBRE	UBICACION	NUM. DE HORNOS	TIPO DE CEMENTO	PROCEDIMIENTO	TONS. METRICAS	BARRILES
Cementos Mexi- canos, S.A. (Unidad Torreón)	Torreón, Coah.	2	Portland tipo 1 Portland tipo 11 resistente al sul- fato.	vía seca	1,000	5,800
Cementos Mexica- nos, S.A. (Unidad Valles)	Cd. Valles S.L.P.	1	Portland tipo 1 Alta Resistencia tipo 11	vía seca	500	2,900
Cementos Port- land Moctezuma S.A.	Xiutepec Morelos	2	Portland tipo 1 alta resisten- cia	vía húmeda	440	2,552
Cemento Tolte- ca, S.A. (divi- sión Centro)	Atotonilco, de Tula, Hgo.	4	Portland tipo 1 alta resistencia tipo III	vía seca	4,000	23,200
Cementos Tolte- ca, S.A. (plan- ta Mixcoac)	San Pedro de Los Pinos, D.F.	2	Portland tipo 1 alta resistencia Portland puzola- na, cemento alba- ñilería	vía seca	950	5,510
Cementos Tolte- ca, S.A. (planta Tolteca)	Tolteca, Hgo.	5 1	Portland tipo 1 alta resistencia 11, 111 resisten- cia al sulfato - Portland blanco	vía húmeda vía seca	1,780 250	10,324 1,450

CAPACIDAD DIARIA

NOMBRE	UBICACION	NUM. DE HORNOS	TIPO DE CEMENTO	PROCEDIMIENTO	TONS. METRICAS	BARRILES
Cemento Tolteca, S.A. (división Jalisco)	Zapoltitc Jalisco	1	Portland tipo 1 Portland de rápida resistencia tipo 111, - Portland puzolana	vía seca	1,500	8,700
Cementos Atoyac, S.A.	Puebla, Pue.	1	Portland tipo 1 Portland alta resistencia tipo 111	vía seca	400	2,320
Cementos del Pacífico, S.A.	Mármol, Sinaloa	3	Portland tipo 1, Portland puzolánico, Portland resistente al sulfato	vía seca	500	2,900
Cemento Portland Nacional, S.A.	Hermosillo, Son.	1	Portland tipo 1, Portland puzolánico, Portland resistente al sulfato	vía húmeda	340	1,972
Cementos Sinaloa	Hornillos, El Fuerte, Sin.	2	Portland tipo 1 Portland puzolánico	vía seca	1,000	5,800

CAPACIDAD DIARIA

NOMBRE	UBICACION	NUM. DE HORNOS	TIPO DE CEMENTO	PROCEDIMIENTO	TONS. METRICAS	BARRILES
Cementos Vera_cruz, S.A.	Ixtaczoquitlan, Orizaba, Ver.	4	Portland tipo 1 Portland alta resistencia, Portland puzolánico	vía seca	900	5,220
Cooperativa "Cruz Azul", S.C.L.	Cd. Cooperativa Cruz Azul, Hgo.	7	Portland tipo 1, Portland tipo 11, Portland alta resistencia tipo 111, Portland de bajo calor de hidratación, Portland resistente al sulfato, cemento especial sin aluminio	vía seca	2,950	17,110
Cooperativa Manufactura de cemento Portland "La Cruz Azul"	Lagunas, Oax.	3	Portland tipo 1 Portland tipo 11 Portland tipo 111 cementos especiales	vía seca	1,500	8,700

4.4 TASAS DE CRECIMIENTO DEL PRODUCTO NACIONAL BRUTO POR SECTORES

	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000
Total	6.3	6.5	6.5	6.5
Agropecuario	3.7	8.1	5.2	5.1
Extractivas	7.7	7.1	6.7	7.3
Transformación	8.3	8.9	8.3	8.1
Construcción	8.3	8.2	7.7	7.5
Electricidad	13.5	7.7	7.5	7.4
Transporte y Comunicación	8.3	7.0	7.1	7.4
Comercio y Servicio	7.1	4.6	5.3	5.2

PRECIO POR TONELADA DE CEMENTO EN MEXICO RESPECTO A
OTROS PAISES

PAIS	CIUDAD	PRECIO (pesos Mex.)
México	D.F.	300.00
E.U.A.	Baltimore	382.50
Rep. Dominicana	Sto. Domingo	325.00
Panamá	Panamá	460.87
Ecuador	Quito	650.00

RED NACIONAL DE CAMINOS

AÑOS	TOTAL	KILOMETROS PAVIMENTADOS	REVESTIDOS Y TERRACE- RIA	INVERSION REQUERIDA (millones de pesos 1960)	KM. DIA RIOS - POR - CONSTRUIR
1960	44948	27331	17617	435.2	6.5
1970	71830	42092	29738	524.2	7.4
1980	130638	78382	52256	1205.5	16.1
1990	236215	141729	94486	1269.9	28.9
2000	413372	248023	165349	3986.0	48.5

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS - POBLACION Y VIVIENDA

P R O Y E C C I O N E S

AÑOS	TOTAL DE VIVIENDAS	POBLACION TOTAL	HABITANTE/ VIVIENDAS
1970	8 285 706	48 371 363	5.8
1980	13 241 386	71 387 000	5.3
1990	21 161 693	99 669 000	4.7
2000	33 772 250	135 089 000	4.0

PRODUCCION POR CAPITAL DE CEMENTO EN MEXICO EN RELACION
CON OTROS PAISES

VOLUMEN DE PRO- DUCCION	POBLACION	TON/POR CADA 10 HABITANTES	PAIS
6.674	48 993	1.36	México
4.347	23 983	1.81	Argentina
7.820	90 840	0.86	Brasil
7.204	20 772	3.46	Canadá
1.425	9 566	1.49	Chile
68.319	201 152	3.39	E.U.A.

PESOS DE ALGUNOS MATERIALES QUE SE RELACIONAN CON CEMENTO

<u>SUBSTANCIA</u>	<u>LB/PIE³</u>	<u>KG/CM³</u>
Asbestos	191	3.056
Cenizas (desprendidas)	40	.640
Asfalto	132	2.112
Lastre y arena (desprendidas en seco)	90-106	1.44-1.696
Lastre y arena (bien molido)	99-117	1.584-1.872
Lastre y arena (completamente húmedo)	120-140	1.92-2.24
Basalto	175	2.8
Bronce	502	8.032
Cemento desprendido de costales	75.90	1.200-1.440
Coque	30	480
Concreto (lastre o grava)	140	2.240
Concreto	90	1.440
Concreto	112	1,792
Concreto	150	2.400
Tierra arcilla común seca	76	1.216
Tierra arcilla común moderadamente mezclada	95	1.520
Tierra compacta	136	2.176
Tierra (como lodo)	108	1.728
Mortero-Hardened (moderadamente mezclada)	103	1.648
Fango (lodo seco)	80-110	1.28-1.76
Fango (lodo húmedo) (fluido al máximo)	120	1.92

4.5 PROYECCION DEL CRECIMIENTO AL AÑO 2000

En los próximos 25 ó 30 años, el país necesita construir un gran número de viviendas, obras de irrigación, carreteras, urbanizaciones, hospitales, escuelas, puertos, etc., y para ello requiere volúmenes elevados de cemento.

Pensando en el problema de la vivienda y calculando que el FONDO NACIONAL DE LA VIVIENDA PARA LOS TRABAJADORES, consumiera un promedio de 10 toneladas de cemento por casa habitación y que se construyeran en el presente año (1977) * 100,000 viviendas, la demanda crecería en 1 millón de toneladas, y aún en el caso se tomó un excedente de capacidad de un millón y medio de toneladas.

Luego en los próximos años hasta el año 2,000 se ha estimado que se tendrá que imprimir a la construcción de viviendas un ritmo de incremento del 4.8% anual durante 30 años, hasta poder contar en el año 2,000 con 33.8 millones de viviendas, más de cuatro veces las construídas en toda la historia del país. Esa meta implica al mismo promedio arriba anotado, de 10 toneladas de cemento por casa habitación que se consumirá, una cifra que llega a los 33.8 millones de toneladas.

Estos números con ser impresionantes, apenas indican las demandas futuras. Se ha de tener en cuenta, tal y como en el caso de la vivienda, otros ^{de} fuerzas constructivos que se plantearán, en las 3 décadas próximas.

Poniendo la vista en el campo y en las necesarias obras de irrigación que su progreso exige, atendiendo a los programas en marcha, cuya meta es incorporar un millón de hectáreas al riego en el régimen, se puede preveer que para el año 2,000 la actual superficie llegará a 10 millo-

nes de hectáreas.

Esto significa que se tiene que realizar en 30 años una vez y media toda la obra hidráulica que se ha ejecutado en México desde los tiempos prehispánicos; esta gran obra hidráulica devorará la producción de cemento y la de concreto.

Si se analizan las necesidades del desarrollo urbano, prosiguiendo en las mismas naciones de "Futurología" y atisbando así lo que el porvenir pide, se ha estimado que para el año 2,000 hay que construir precisamente, en el área metropolitana de 3 a 5 ciudades como la actual capital metropolitana; y se considera lo que esto significará en cuanto a demanda de cemento.

Se puede afirmar con certidumbre que la industria del cemento está preparada para frontar esos problemas futuros. Si se analiza la tendencia de crecimiento de la producción y de la capacidad instalada, que se ha venido duplicando por lo menos cada 8 años, se verá que la industria del cemento puede llegar a un incremento de mil por ciento en el año 2,000 con respecto a 1973.

Si para 1980 se pueden prever una producción de 16 millones y medio de toneladas y para 1990 de más de 38 millones, se llegarían a 86 millones y medio de toneladas de cemento en el año 2,000, o sea, diez veces más que este año.

Sin embargo, para poder alcanzar esas grandes cifras de producción de cemento en México, será necesario realizar una inversión en esta industria de aproximadamente 43 mil millones de pesos, por lo menos en los próximos 25 años, lo cual requiere un esfuerzo muy grande de parte de

los inversionistas mexicanos, lo cual revela la importancia de la industria del cemento en México como campo de inversión y la necesidad que existe de canalizar parte del ahorro interno hacia ella así a través de estas proyecciones estadísticas y de las predicciones que proporciona la metodología económica, apoyándose con realismo, en los índices de crecimiento que ya son un hecho comprobado en la industria, se fortalece la certidumbre de que esta rama industrial seguirá acrecentando sus índices de utilidad pública y su anhelo y decisión de ejercer una función social, en la medida en que siga enriqueciendo su aptitud de producir en volumen y calidad un producto básico para el crecimiento del país entero.

Metodología utilizada para la proyección hasta el año 2,000 de los valores del producto interno, la industria de la construcción y la industria del cemento

Para la proyección de los valores del producto interno bruto y de la industria de la construcción, se utilizan las tasas de crecimiento promedio anual. De esta manera, el producto interno bruto se proyectó a una tasa promedio anual de 6.5%, en tanto que para la industria de la construcción, se tomarán las tasas de 8.1%, 8.2%, 7.7% y 7.5%, respectivamente, para los decenios 1960/70, 1970/80, 1980/90, 1990/2000.

El valor de la producción de la industria del cemento se proyectó con base en los siguientes supuestos:

1. No se considera la aparición de un producto del cemento que pueda sustituir al cemento.
2. El concreto considerado como el uso más racional del cemento seguirá empleándose en forma complementaria con el fierro en estructuras.

Partiendo de estos supuestos, se extrapoló hasta el año 2,000 la tendencia de la participación del valor de la producción de cemento "mediante el método de mínimos cuadrados". De ésta manera, se obtuvieron los porcentajes de participación en el valor de la industria de la construcción que corresponden a la industria del cemento, que sirvieron de base para la proyección del valor de la producción de esta última.

Por otra parte, cabe hacer notar que los volúmenes de producción de cemento proyectados, son los requeridos por la industria de la construcción para que se mantengan las tasas de crecimiento económico enumeradas.

Finalmente, se anexan algunos cuadros ilustrativos del crecimiento de la población y necesidades habitacionales que ponen de manifiesto la creciente demanda potencial de cemento. Con el mismo fin se presentan las necesidades de construcción de caminos para período considerado (años de 1972 a 2000).

CAPACIDAD INSTALADA Y LA PRODUCCION DE CEMENTO A
PARTIR DE 1975 Y SU PROYECCION AL AÑO
2000

(en miles de toneladas)

AÑOS	PRODUCCION	NO. DE FAB.	NO. DE H.	CAPACIDAD
1975	10611	-	-	12415
1976	11597	-	-	13630
1977	12680	-	-	14835
1978	13861	-	-	16217
1979	15153	-	-	17729
1980	16565	-	-	19381
1981	18019	-	-	21082
1982	19602	-	-	22934
1983	21324	-	-	24949
1984	23190	-	-	27132
1985	24222	-	-	29509
1986	27403	-	-	31061
1987	29796	-	-	34861
1988	32398	-	-	37906
1989	35412	-	-	41432
1990	38495	-	-	45039
1991	41731	-	-	48825
1992	45306	-	-	53008
1993	49144	-	-	57498
1994	53227	-	-	62276
1995	57810	-	-	67637
1996	62648	-	-	73298
1997	67935	-	-	79840
1998	77662	-	-	86185
1999	79866	-	-	93443
2000	86680	-	-	101308

C A P I T U L O V

INFORMACION DEL CONTENIDO DE TESIS QUE HAY
EN LA FACULTAD DE QUIMICA

INFORMACION DEL CONTENIDO DE TESIS QUE HAY EN
LA FACULTAD DE QUIMICA

NUEVA MARCHA ANALITICA PARA EL CEMENTO PORTLAND
BARON S.I.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1951)

PROYECTO DE AMPLIACION DE UNA PLANTA ELABORADORA DE-
CEMENTO PORTLAND,
GARMANDIA, Z.J.
FACULTAD DE QUIMICA. U.N.A.M.
MEXICO (1951)

OPERACION DE UN HORNO LEPOU EN LA OBTENCION DE CEMENTO
PORTLAND
RUEDA, V.J.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1952)

IMPORTANCIA DE LOS FUNDENTES EN LA FABRICACION DEL -
CEMENTO PORTLAND MODIFICADO
ALTAMIRANO R.N.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1953)

ALUMINA EN EL CEMENTO PORTLAND
COTA, A.V.M.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1959)

ESTUDIO COMPARATIVO DE ALGUNOS METODOS DE CONTROL -
QUIMICO PARA HORNOS DE CEMENTO PORTLAND,
PARRILLA C.F.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1959)

ESTUDIO PARA LA INSTALACION DE UNA FABRICA DE CEMEN-
TO EN LA REPUBLICA DE COSTA RICA,
ROSEMSTEIN R.A.L.
FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.
MEXICO, (1959)

ESTUDIO DE INSTALACION DE LADRILLO REFRACTARIO AISLA
MIENTO EN ZONA DE CARGA Y PARTE DE ZONA DE PRECALEN-
TAMIENTO EN UN HORNO ROTATOTIO DE CEMENTO
BARBOSA S.R.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO , (1959)

EFICIENCIAS TERMICAS DEL TERMÓCICLON Y DEL HORNO RO-
TATORIO; ESTUDIO COMPARATIVO PRELIMINAR EN LA PRO -
DUCCION DE CLINKER DE CEMENTO
LA FUENTE G.A.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1960)

ESTUDIO QUIMICO Y FISICO COMPARATIVO DE LAS ARCILLAS
QUE SE USAN EN LA FABRICA CEMENTOS DE MIXCOAC, S.A.
PERERA M.R.M.
FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.
MEXICO, (1960)

PERDIDAS DE CALOR A TRAVES DE LAS PAREDES DE UN HORNO ROTATORIO DE CEMENTO UTILIZANDO AISLANTE ENTRE LA CORAZA Y EL LADRILLO REFRACTARIO

VELASCO M.H. D.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1960)

ESTUDIO SOBRE REVESTIMIENTOS REFRACTARIOS Y EFICIENCIA TERMICA EN HORNOS ROTATORIOS PARA CEMENTO PORTLAND,

DERAT S.J.L.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1961)

MOLIENDA SIMULTANEA DE DOS TIPOS DE CEMENTO EN UN MOLINO DE TRES COMPARTIMIENTOS Y DESCARGA CENTRAL

CARDENAS C.A.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1963)

APLICACION DEL FOTOMETRO PERKIN-ELMER AL ANALISIS DEL CEMENTO,

LOPEZ T.M. DEL R.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1963)

ESTUDIO DE LA CORROSION RODUCIDA POR LOS IONES NO_3^- , PO_4^- , HCO_3^- EN LOS TUBOS DE ASBESTO CEMENTO

ALVAREZ DEL C.E.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1965)

ESTUDIO DE CONDICIONES OPTIMAS DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA CEMENTO PORTLAND,

ANDA O.M.G.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1965)

METODO RAPIDO PARA LA DETERMINACION DE MANGANESO EN-
CEMENTOS

BOTELLO F.P. DE J.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1965)

CONTROL METALURGICO DE LA CEMENTACION CON GASES

RUIZ V.M.J.R.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1967)

ESTUDIO DE LA MOLIENDA EN CIRCUITO CERRADO CON CON -
TROL AUTOMATICO DE LA ALIMENTACION EN UNA FABRICA DE
CEMENTO PORTLAND,

ARAN G.B.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1969)

AMPLIACION DEL SISTEMA DE CURADO A VAPOR EN UNA PLAN
TA DE ASBESTO CEMENTO,

JIMENEZ G.O.E.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1969)

LA COMPUTACION APLICADA AL CONTROL DE UN HORNO ROTA-
TORIO,

BADUI B.S.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1969)

FLUIDIZACION DE PASTA PARA FABRICACION DE CEMENTO
ALVAREZ G.T.

FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1970)

CONTROL ESTADISTICO DE LA CALIDAD PARA LOS PRODUCTOS
DE ASBESTO CEMENTO

LUNA S.J.

FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.

MEXICO, (1970)

ESTUDIO TECNICO ECONOMICO DE CEMENTOS DE CONTACTO A-
PARTIR DE CLOROPENO

ALVAREZ I.M.J.

FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.

MEXICO, (1971)

ESTUDIO DE LOS EFECTOS TERMICOS PRODUCIDOS POR UNA -
FUENTE DE 50000 CURIES Co-60 SOBRE UN BLINDAJE MASI-
VO DE CONCRETO,

GUTIERREZ Z.L.M.

FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.

MEXICO, (1971)

CONTROL DE CALIDAD DEL CLINKER DEL CEMENTO PORTLAND-
POR MEDIO DE MICROSCOPIA

MALPICA G.S.

FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.

MEXICO, (1971)

ESTUDIO Y APLICACION DE PRECIPITADORES ELECTROSTATI-
COS EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO PARA LA ELIMINACION-
DE POLVOS

LAGUNA R.E.

FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.

ESTUDIO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA PRODUCIDA -
POR EL POLVO DE CEMENTO EN APAXCO EDO. DE MEXICO

HERNANDEZ L.J.A.

FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.

MEXICO, (1971)

INSTALACION Y MONTAJE DE UN MOLINO DE BOLAS DE CEMENTO
PACHECO A.G.R.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1972)

CONTROL DE CALIDAD POR MEDIO DE RAYOS X EN LA INDUSTRIA DE CEMENTO
RICO S.O.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1972)

ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA LA RECUPERACION DEL -
AGUA DE DESPERDICIO DE UNA FABRICA DE ASBESTO CEMENTO
POR CLARIFICACION
ARROYO R.W.A.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1973)

PROPIEDADES DEL CONCRETO, MORTERO POROSO IMPREGNADO-
N.M.A. POLIMERIZADO CON RAYOS GAMA
ISUNZA E.N.L.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1974)

INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICU-
LAS EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO
ALONSO R.F.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1975)

REFRACTARIOS EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO
VALENZUELA M.A.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1975)

MEJORAS PARA CONCRETOS ALIGERADOS CON PARTICULAS DE-
EXCEDENTES AGRICOLAS Y/O POLIMEROS
VALENZUELA P.M.A.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1975)

CONTROL DE CALIDAD EN UNA PLANTA DE AGREGADO LIGERO-
PARA CONCRETO
AYALA T.A.G.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1977)

EL ASBESTO EN LA INDUSTRIA DEL ASBESTO CEMENTO
BELTRAN C.B.
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.
MEXICO, (1977)

C A P I T U L O V I

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y
OBSERVACIONES

CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La industria del cemento en México se considera como tal desde principios de 1900; su crecimiento ha sido importante a partir de esa fecha y se hace más no toria de 1968 a la fecha, observándose que se ha cuaduplicado la producción de cemento.
2. México es autosuficiente en lo que se refiere a sus materias primas cuyos yacimientos están ampliamente distribuidos en todo su territorio; las fábricas se han establecido en las cercanías, lo que minimiza la dificultad de transporte y los costos.
3. Se ha creado la necesidad de producir diversos productos de construcción basados en el cemento así como otros tipos de cementos dada la variedad de sus usos lo que es un importante factor para el aumento de su producción.
4. En México se utilizan tanto el proceso húmedo como el seco, siendo este último el más común.

5. Tanto la tecnología como el equipo han mejorado notablemente, agilizándose el control con el uso de computadoras. El tipo de horno utilizado es el horizontal.

6. Para evitar la alta contaminación en aire, suelos y agua que esta industria provoca se a instalado el equipo necesario para que, por descargas eléctricas se sedimenten los polvos tanto de chimeneas como silos de descarga. El gobierno a su vez a impuesto severas sanciones económicas a las fábricas que no cumplan con los requisitos que les señala la ley para evitar la contaminación.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

La utilización de equipos automáticos y el uso de computadoras indispensables para el desarrollo de la industria cementera ha provocado el problema humano de desempleo ya que la mayor parte de los habitantes de los pueblos que se establecieron en las cercanías de estas plantas, no tenían otros medios de subsistencias que el proporcionado por ellas como se observó en el pueblo de Vito, Edo. de Hidalgo. Se considera que es imposible que en una fábrica no se utilicen todos los medios necesarios para mejorar su producción por lo que este problema solo daría la alternativa de la migración de estas familias a zonas más salubres. Es de recomendar que se trate de crear conciencia en el obrero de estas plantas para que use las mascarillas de protección que por ley les proporciona la empresa y que ellos no utilicen por ignorancia.

De los datos estadísticos se observa que de 1970 a la fecha la importación constituye del 1 al 5% de la exportación.

tación ya que en México no hay producción de cemento cuyas-
características son demasiado particulares.

B I B L I O G R A F I A

B I B L I O G R A F I A

1. Aguilar A., Cemento Portland, Fabricación, Propieda -
des y Empleo,
5 - 35, Ed. IMCYC. A.C., México, (1969)
2. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1970,
1 - 89, Ed. CRNNR., México, (1971)
3. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1971,
1 - 104, Ed. CRNNR., México, (1972)
4. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1972,
1 - 94, Ed. CRNNR., México, (1973)
5. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1973,
16 - 114, Ed. CRNNR., México, (1974)
6. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1974,
13 - 122, Ed. CRNNR., México, (1975)
7. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 1975,
18 - 126, Ed. CRNNR., México, (1976)
8. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 1976,
11 - 107, Ed. CRNNR., México, (1976)
9. Anuario 1976, Cámara Nacional del Cemento, México, -
(1976)

10. Czernin W., La Química del Cemento, 7 - 28, 29 - 42, - 348 - 361, Ed. Palastra, Barcelona, España, (1963)
11. El Mercado de Valores, Semanario de Nacional Financiera, S.A., 3 - 39, No. 11 México, (1976)
12. El Mercado de Valores, Semanario de Nacional Financiera, S.A., 4 - 48, No. 15 México, (1976)
13. González R.G., Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México, Monografías Industriales del Banco Nacional de México, S.A. Sección IV, 39 - 61, 63 - 64, 230-242, 361, 366, 412, México, (1947)
14. González R.G., Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México, 225 - 421 y mapas, Ed. Banco Nacional de México, S.A., México, (1956)
15. Keil F., Cemento, Fabricación, Propiedades y Aplicaciones, 40 - 49, 159 - 167, Editores, Técnicos Asociados, S.A., España, (1973)
16. Listas de Capacidades de las Fábricas de Cemento en México, 2 - 15, Cámara Nacional del Cemento, México, (1977).
17. Plancarte F., El Desarrollo de la Industria del Cemento en México, 1 - 8 Cámara Nacional del Cemento, México, (1971)
18. Quintana B., La Industria del Cemento y el Proceso de Desarrollo de México, 7 - 24 Cámara Nacional del Cemento, México, (1972)
19. Sánchez F.F., Medio Siglo de Cemento en México, 2-8- Cámara Nacional del Cemento, México, (1951)
20. Sánchez M.F.J., Economía de la Fabricación de Cemento mediante el empleo de rayos "X" para el control de crudo en molienda y calcinación, 73-75, Facultad de Química, U.N.A.M., México, (1973)

21. Soria F., Estudio de Materiales Conglomerantes Hidráulicos, 11-40, 58-113, 7a. Edición, Madrid, -- (1972)
22. Ullmann F., Enciclopedia de la Química Industrial, -- 119-148 Ed. Gustavo Gili, S.A. Barcelona, España, - (1952)