

46
20J.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**TRABAJO ESCRITO VIA EDUCACION CONTINUA:
HISTORIA Y DESARROLLO DE CONCRETOS
REFRACTARIOS**



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA
P R E S E N T A :
MARIA ELENA ESPINOSA BUTRON



**TESIS CON
FALLA LE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1993



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

I N D I C E

	PAGINA
I. INTRODUCCION A LOS REFRACTARIOS.....	1
II. ASPECTOS GENERALES SOBRE CONCRETOS REFRACTARIOS	3
III. HISTORIA DE LOS CONCRETOS Y CEMENTOS REFRACTARIOS	7
IV. DESARROLLO DE LA INDUSTRIA REFRACTARIA EN MEXICO	9
V. CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LOS CONCRETOS REFRACTARIOS	11
VI. DESVENTAJAS DE CONCRETOS REFRACTARIOS CONVENCIONALES	15
VII. DESARROLLO EXPERIMENTAL	17
VIII. ANALISIS DE RESULTADOS	23
IX. CONCLUSIONES	25
X. BIBLIOGRAFIA	27

I. INTRODUCCION A LOS REFRACTARIOS

Los refractarios son materiales no-metálicos que tienen la habilidad de mantener sus propiedades físicas y químicas cuando se encuentran sujetos a altas temperaturas, superiores a 538°C (1000°F). (9,13)

Los materiales refractarios son la "columna vertebral de la industria", ya que son la base para el aprovechamiento operacional de la mayoría de los procesos térmicos y químicos del mundo. Entre las industrias que dependen de este tipo de materiales están comprendidas: (5,8)

- 1.- Hierro y acero
- 2.- Metales no ferreos
- 3.- Vidrio
- 4.- Gas
- 5.- Centrales térmicas
- 6.- Cerámica
- 7.- Propulsión por turbinas
- 8.- Energía nuclear
- 9.- Fabricación de cemento y cal
- 10.- Incineradores
- 11.- Fabricas de papel
- 12.- Talleres de esmaltado
- 13.- Calefacción doméstica

Existe una gran variedad de refractarios silico-aluminosos que se diferencian básicamente por su contenido de alúmina, tamaño y forma en que son fabricados, los cuales son utilizados en diversos campos

dentro de la industria. Los refractarios son materiales resistentes al calor y son usados como revestimientos en las paredes de hornos, reactores y otros procesos unitarios en donde se opera a altas temperaturas, además de tener la resistencia a la tensión térmica y otros fenómenos inducidos por el calor, además, requieran resistir desgaste físico y corrosión por agentes químicos. (11,13)

Los refractarios son producidos en tres formas básicamente:

- 1.- Ladrillos: piezas prensadas.
- 2.- Especialidades húmedas: morteros, plásticos y apizonables.
- 3.- Especialidades secas: morteros y concretos.

Muchos productos refractarios en su forma final son utilizados como típicos materiales de construcción, pero hay algunos de ellos que no es posible obtener de manera convencional. La forma y tamaño de las piezas pueden variar desde dimensiones tan pequeñas como un dedo, o tan grandes como un bloque sólido que pese algunas toneladas.

La manufactura de los refractarios se basa en el profundo conocimiento de la combinación de componentes químicos y minerales que producirán los requerimientos refractarios que la industria demanda, por ejemplo: estabilidad térmica, resistencia a la corrosión, expansión térmica, etcétera; así como un análisis físico-químico previo de las materias primas naturales, tales como arcillas refractarias y caolines crudos y/o calcinados, o bien, procesados como alúminas calcinadas, electrofundidas y bauxitas calcinadas. (13)

En este documento se describirá brevemente el desarrollo tecnológico de los concretos refractarios silico-aluminosos cuyas propiedades se han ido mejorando hasta el grado de poder competir directamente con ladrillos prensados, diseñados con similar tipo de agregados

refractarios, lo que permite al usuario una mayor optimización en sus procesos, y en consecuencia, una reducción en sus costos de producción.

II. HISTORIA DE LOS CONCRETOS Y CEMENTOS REFRACTARIOS.

La historia del cemento aluminoso se remonta a mediados del siglo XIX cuando el aluminato de calcio fué preparado por Ebelman y Sainte-Claire Deville en un experimento basado en sus propiedades hidráulicas de liga, donde fueron identificadas. Hace solo 140 años que el cemento aluminoso fué preparado por primera vez sobre bases experimentales. (6)

Una breve cronología de los concretos y cemento aluminoso se describe en la tabla 2. Saint-Claire Deville prepara un concreto a base de corundum como agregado, para ser utilizado en moldes de crisoles. En el período de 1850-1860, Winkler y Michaelis estudian las propiedades de secado y endurecimiento del aluminato de calcio. En 1880, los métodos de obtención del cemento aluminoso por calcinado de bauxitas con cal fueron patentados en Alemania e Inglaterra, estos métodos de manufactura fueron a escala industrial; al iniciar el siglo XX, se empezaron a preparar aluminatos de calcio en el laboratorio. En 1910 se producen grandes cantidades de cemento aluminoso por métodos de fusión y sinterización. Durante la primera guerra mundial (1914-1918), fueron utilizadas grandes cantidades de cemento aluminoso para la construcción de bases de artillería y albergues, debido a su alta resistencia al ácido y rápido endurecimiento. En Francia, más de 7000 toneladas de cemento de alta alúmina fueron empleadas para concreto

TABLA 1. CRONOLOGIA DE CONCRETOS REFRACTARIOS Y CEMENTOS ALUMINOSOS. (6)

1846	EBELMAN PREPARO ALUMINATO DE CALCIO (CA).
1856	SAINTE-CLAIRE DEVILLE PREPARA CA Y HACE UN CONCRETO CON CORUNDUM COMO AGREGADO PARA MOLDEAR CRISOLES. EL SABIA SOBRE LAS PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL CA Y SE ANTICIPO PARA USARLO COMO UN LIGANTE REFRACTARIO.
1856	WINKLER PUBLICO UNA INFORMACION SOBRE LA PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL CA.
1869	MICHAELIS INVESTIGO LAS PROPIEDADES DE SECADO Y ENDURECIMIENTO DEL CA MAS SIMPLE.
1882	PATENTE ALEMANA 19800 (L.ROTH): OBTUVO UN CEMENTO MEDIANTE EL QUEMADO DE BAUXITA CON MATERIALES SILICOSOS Y CAL.
1888	PATENTE INGLESA 10312.
1902	SPACKMAN (E.U.); PREPARACION DEL CA EN EL LABORATORIO, EL CUAL FUE CALCINADO EN UN PEQUEÑO HORNO.
1906 a 1915	SHEPHERD, HANKIN & WRIGHT (EN E.U.) ESTUDIARON SOBRE LA ACTIVIDAD DEL SISTEMA CAL-ALUMINA-SILICA.
1908	PATENTE FRANCESA 320290,391454 (J&A PAVIN DE LAFARGE).
1913	LAFARGE MANUFACTURO CEMENTO DE ALTA ALUMINA EN UN ALTO HORNO.
1914 a 1918	SE UTILIZA UNA CONSIDERABLE CANTIDAD DE CEMENTO ALUMINOSO DURANTE LA GUERRA MUNDIAL PARA LA CONSTRUCCION DE BASES DE ARTILLERIA Y ALBERGUES.
1918 a 1921	P. H. BATES PREPARA CA CON DIFERENTES COMPOSICIONES .
1924	SE MANUFACTURA COMERCIALMENTE CEMENTO DE ALTA ALUMINA EN ESTADOS UNIDOS.
1925 a 1928	PRODUCCION COMERCIAL EN ALEMANIA
1947	INICIA UNA PRODUCCION TENTATIVA EN JAPON DE CEMENTO ALUMINOSO EN HORNO ELECTRICO.
1952	SE INICIA LA PRODUCCION COMERCIAL EN JAPON.
1976	PATENTE FRANCESA APLICACION No.7,622,344; CONCRETO DE BAJO CEMENTO MEDIANTE EL USO DE POLVOS FINOS (SiO ₂ ,Cr ₂ O ₃).
	NOTA: CA = ALUMINATO DE CALCIO, CaO.Al ₂ O ₃ .

de construcción utilizando aguas sulfatadas o en suelos anhidros y de caliza. Grandes cantidades fueron producidas por LaFarge y otras compañías antes de 1919 en Francia. La producción de cemento aluminoso a una escala comercial se inició en 1924 en Estados Unidos y en 1925 en Inglaterra y Alemania. Por otro lado Shepherd, Wright y Rankin, logran importantes resultados al estudiar los fundamentos del sistema $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ en 1906 y 1915. Durante el periodo de 1919-1921, P. H. Bates prepara diferentes composiciones de aluminato de calcio y estudia algunas de sus características. Desde entonces se llevó a cabo una gran investigación sobre el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$. En 1947, en Japón se llevó a cabo la producción de cemento aluminoso en un horno eléctrico de laboratorio realizado por Asai Glass Co. LTD, los cuales iniciaron la producción y comercialización del cemento aluminoso en 1952. (6)

III. ASPECTOS GENERALES SOBRE CEMENTOS Y CONCRETOS REFRACTARIOS

Los concretos refractarios tuvieron su origen en los concretos hidráulicos donde es utilizado un cemento como ligante. Aún hoy en día, este es el diseño básico para su fabricación. De acuerdo a esto se puede decir que la primera mitad de la historia de los concretos refractarios fué el desarrollo de la tecnología para la manufactura del cemento aluminoso, junto con el estudio teórico sobre su hidratación. (6)

Según la definición estandar del A.S.T.M., un concreto es la combinación de agregados refractarios y un agente conglomerante que, después de adicionar un líquido apropiado, es colocado en un molde

para formar una pieza determinada o una estructura, la cual se vuelve rígida a causa de una acción química.(9)

Un cemento aluminoso es un material conglomerante, en polvo, que al mezclarse con agua, llega a ser adhesivo y es capaz de formar una masa sólida al hidratarse; el cemento se obtiene normalmente mediante la sinterización (clinkerización), de alúminas o bauxitas y calizas de alta pureza.

Bajo la denominación de cementos aluminosos se agrupa un extenso surtido de materiales (baja, intermedia y alta pureza) cuyas características comunes son básicamente el contenido de alúmina, el cual resulta ser mucho mayor que en los cementos tipo portland, pudiendo ser utilizados en aplicaciones refractarias.

El cemento aluminoso de alta pureza presenta las siguientes fases mineralógicas: aluminato monocálcico ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ó CA)**, dialuminato cálcico (CA2) y α -alúmina y C_{12}A_7 .(12,10)

El cemento aluminoso es utilizado en la fabricación de concretos refractarios, los cuales constan de dos componentes básicamente:

- 1.- Un agregado refractario (natural y/o sintético)
- 2.- Un cemento aluminoso grado refractario

El proceso de manufactura de un concreto refractario es relativamente simple en comparación con el de ladrillos refractarios, como se observa en los diagramas 1 y 2, ya que para los ladrillos se requieren operaciones como el prensado, secado, quemado, descarga y selección del producto terminado, las cuales involucran un costo de operación que no es considerado para los concretos.

** Para todos los compuestos químicos y componentes mineralógicos que se citarán en el presente trabajo, se utilizará la siguiente nomenclatura, de uso frecuente en la química del cemento:

C = CaO S = SiO₂ A = Al₂O₃ F = Fe₂O₃ M = MgO H = H₂O

Durante la instalación de los concretos es necesario la adición controlada de agua y un buen mezclado, hasta obtener una fluidez adecuada para el moldeo de piezas y/o estructuras, después de lo cual es necesario llevar a cabo el curado del material, que consiste en mantener la superficie del concreto, húmedo y a temperaturas no mayores de 25°C durante 24 horas para concluir con el secado a 110°C, con el fin de que se lleven a cabo las reacciones de hidratación y deshidratación que dan lugar a la liga hidráulica del concreto, responsable de la fortaleza mecánica (Tabla 2).

En los últimos 15 años, se han realizado considerables desarrollos en la aplicación de concretos refractarios, especialmente para la industria del hierro y acero. Estos desarrollos fueron posibles por los estudios en el campo de los materiales moldeables del area de ingeniería. (2)

MANUFACTURA DE CONCRETOS REFRACTARIOS Y AISLANTES

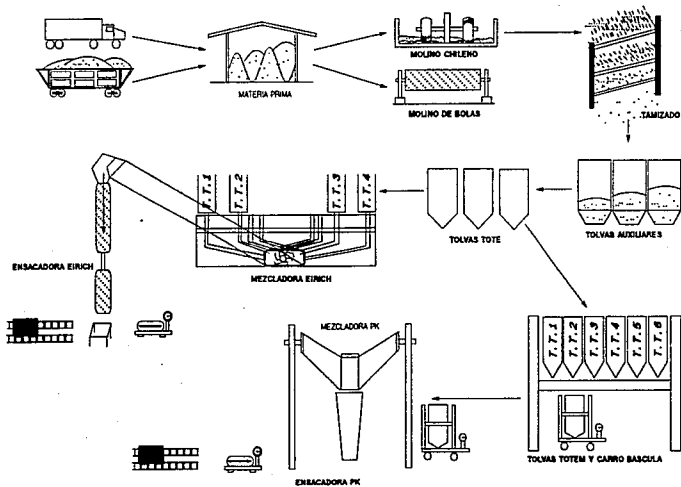


DIAGRAMA 1

MANUFACTURA DE LADRILLOS REFRACTARIOS Y AISLANTES

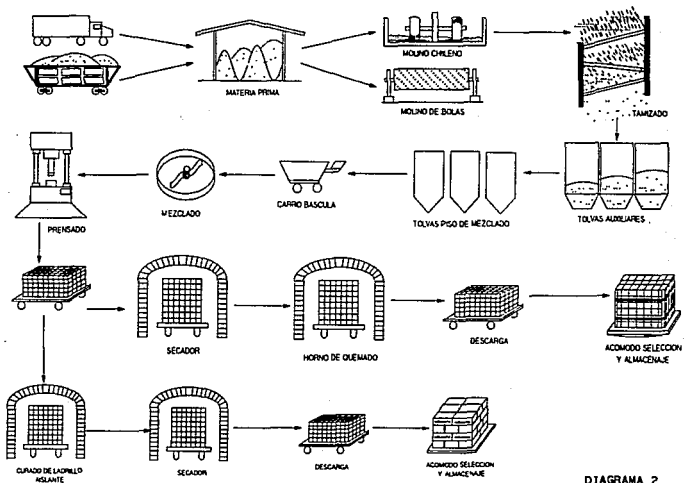


DIAGRAMA 2

HIDRATACION Y DESHIDRATACION DEL ALUMINATO DE CALCIO DEL CEMENTO

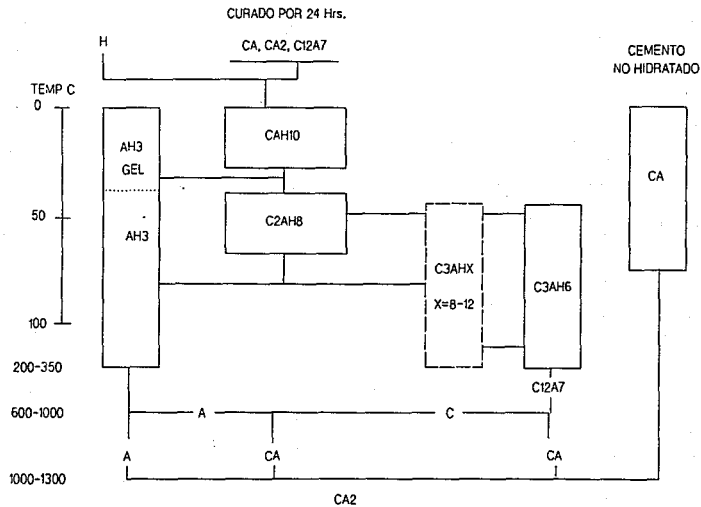


TABLA 2

IV. DESARROLLO DE LA INDUSTRIA REFRACTARIA EN MEXICO.(4)

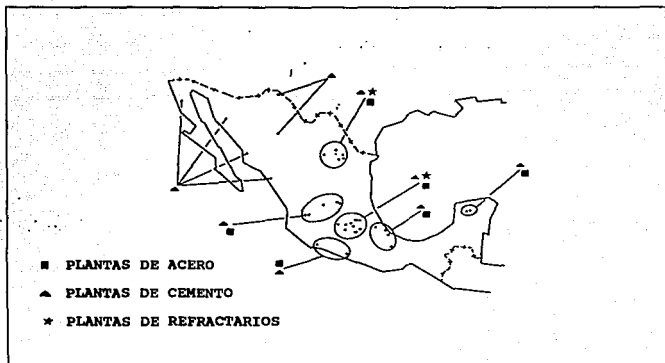
En México, la industria refractaria se inició con la producción de materiales a base de arcillas refractarias hace más de 40 años, la manufactura de ladrillos y especialidades, se hizo principalmente con materias primas locales. Los avances en la industria y los altos requerimientos tecnológicos para los productos refractarios, marcaron un reto a los refractoristas mexicanos, quienes lo afrontaron implementando compras, contratos y desarrollos de materias primas, equipos, tecnología, y capacitando profesionistas en el ramo. Con el uso de estos recursos, una gran variedad de productos refractarios son ofrecidos a la industria que los consume.

Por un largo tiempo la industria estuvo abocada a satisfacer el mercado nacional, y un pequeño porcentaje fué exportado, principalmente, a países de América Latina y El Caribe.

En la figura 1 se muestra la localización de las principales plantas productoras y consumidoras de refractarios en México.

Desde 1975 muchas compañías de este ramo han implementado programas de entrenamiento para su personal, además de adquirir equipos y tecnologías avanzadas, contratando firmas de consultores y transferencia de tecnología. Dentro de los últimos desarrollos promovidos en la industria refractaria Mexicana, se encuentran los denominados CONCRETOS DE ALTA TECNOLOGIA.

FIGURA 1. LOCALIZACION DE LAS PRINCIPALES PLANTAS DE REFRACTARIOS, CEMENTO Y ACERO EN MEXICO. (4)



V. CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LOS CONCRETOS REFRACTARIOS.

En la actualidad no existe una definición exacta de los CONCRETOS DE ALTA TECNOLOGIA, lo que ha generado polémicas y confusiones entre los usuarios de refractarios, debido a ello la organización denominada, "THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS", (A.S.T.M.), actualmente está considerando una definición para dichos productos, basado en la cantidad total de CaO.

TABLA 3. CLASIFICACION DE CONCRETOS REFRACTARIOS (A.S.T.M.).(3)

<u>TIPO DE CONCRETO</u>	<u>% CaO</u>
CONCRETO CONVENCIONAL	> 2.5
CONCRETO BAJO CEMENTO	1.0-2.5
CONCRETO ULTRA BAJO CEMENTO	0.2-1.0
CONCRETO SIN CEMENTO	0.0-0.2

Alrededor de 1975, se produjo una evolución general dentro de la industria refractaria, al incrementarse los conocimientos y el uso de agregados sintéticos de alta calidad en las especialidades refractarias, dando paso al desarrollo de mejores materiales. Los estudios sobre sistemas con nuevos compuestos ligantes y aditivos químicos, así como la optimización de la distribución granulométrica de las mezclas, y por otro lado, el nuevo diseño de matrices refractarias, dió origen a un nuevo desarrollo: LOS CONCRETOS DE ALTA TECNOLOGIA. Estos nuevos concretos pueden competir contra ladrillos

refractarios, que contengan el mismo agregado y contenido de alúmina, en cuanto a propiedades físicas y mecánicas, superándolos en muchas ocasiones. El desarrollo de esta nueva generación de concretos estuvo enfocada básicamente a dos objetivos:

- a) Sustituir parte del contenido de cemento en la mezcla por partículas muy finas (1-10um) de sílice, zirconia, alúmina, etcétera.
- b) Reducir el agua requerida para el colado del concreto a través de la integración de aditivos especiales a las mezclas.

De esta manera se desarrollaron los CONCRETOS DE BAJO CEMENTO, los cuales presentaban mejores propiedades físicas y mecánicas que los convencionales.

Los estudios continuaron a fin de mejorar aún más sus propiedades de resistencia mecánica a altas temperaturas, para ello se introdujeron, entre otros materiales, partículas finas de sílice y alúmina de muy alta pureza, lo que permitió una mejor conformación mineralógica de la matriz, (conjunto de ingredientes finos que forman una liga cerámica, para unir a los diferentes agregados del concreto), y de esta manera incrementar el nivel de multización, lo que significa una eficiente formación de la fase refractaria llamada mulita ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$), responsable en gran parte de la fortaleza mecánica a alta temperatura del material, por otro lado el contenido de cemento y agua utilizado fué aún menor, lo que ayudó a incrementar más la resistencia al choque térmico y la resistencia mecánica a altas

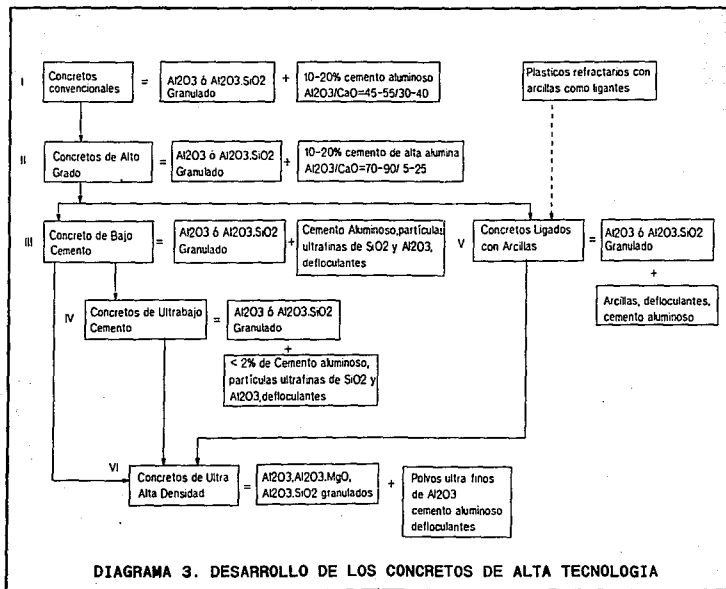
temperaturas, los concretos así diseñados fueron llamados CONCRETOS DE ULTRA BAJO CEMENTO. (6)

En la búsqueda de mejores resultados, se ha desarrollado el uso de ligantes químicos diferentes al cemento aluminoso, algunos de estos compuestos químicos son el fosfato de monoaluminio, silicato de sodio y resinas fenólicas, lo que condujo al desarrollo de materiales de alta tecnología llamados CONCRETOS SIN CEMENTO (FREE CEMENT CASTABLES). (6)

Para incrementar la refractariedad de los concretos refractarios sílico-aluminosos, se hicieron ensayos para mejorar la pureza de los cementantes, eliminando ciertos constituyentes como óxido de silicio y óxido de hierro, logrando cementos de alta alúmina (70% Al₂O₃) y extra alta alúmina (90% Al₂O₃). (6)

El uso de materiales refractarios de alta pureza como agregados sintéticos y polvos ultra finos en algunos concretos han sido la base para el desarrollo de propiedades similares a las de un ladrillo prensado.

En el diagrama 3, se sintetiza la forma en que fueron concibiéndose los concretos de alta tecnología. (6)



VI. DESVENTAJAS DE LOS CONCRETOS REFRACTARIOS CONVENCIONALES.

Los concretos convencionales presentan tres desventajas fundamentales con respecto a los ladrillos convencionales y concretos de alta tecnología.

A.- BAJA COMPACTABILIDAD: el alto contenido de cemento utilizado (15-30%), en los concretos convencionales, provoca que se requiera un volúmen relativamente grande de agua (10-15%), para lograr una mezcla fácil de trabajar durante su instalación y permitir que se lleven a cabo las reacciones de hidratación del cemento. Por eso, al secar el material para liberar el agua contenida, se obtiene un material con alta porosidad, baja compactabilidad y, consecuentemente, disminuye la resistencia mecánica del mismo. (6,10)

B.- MENOR FORTALEZA MECANICA: a medida que aumenta la temperatura de tratamiento térmico del material colado, éste pierde el agua de hidratación del cemento, y con ello, parte de su resistencia mecánica. A partir de temperaturas relativamente elevadas (mayor a 1000°C), el cemento aluminoso comienza a reaccionar con la fracción más fina de los agregados del concreto, dando origen a la formación de fases líquidas, de bajo punto de fusión, que forman parte de la liga cerámica del concreto.

La deshidratación de los ligantes hidráulicos al aumentar la temperatura de precalentamiento del concreto, es uno de los principales motivos de que la resistencia mecánica de este último disminuya alcanzando sus valores más bajos, entre 600 y 700°C. A temperaturas de 800 a 1000°C y dependiendo de la naturaleza del agregado empleado, se desarrolla una reacción térmica entre los

productos de deshidratación del cemento de alta pureza (CA, CA2 y C12A7), y las partículas finas de los agregados, dando como productos de la reacción compuestos como la anortita (CAS2) y la gehlenita (C2AS), para agregados sílico-aluminosos con 40-42% de Al₂O₃, y para agregados muy altos en alúmina se pueden detectar la presencia de CA2, CA6, e inclusive, CA8 y α-alúmina. Este fenómeno conduce a un aumento de la resistencia mecánica a temperatura ambiente; en la reacción para la formación de la liga cerámica solo participa parte del agregado, dependiendo de su naturaleza, granulometría y temperatura alcanzada, es por ello que los concretos convencionales no desarrollan la resistencia mecánica de los ultrabajo cementos donde estos factores (granulometría y naturaleza de los agregados), se controlan estrictamente durante su diseño y manufactura.(10)

C.- REFRACTARIEDAD: en un concreto refractario, depende del tipo de agregado y cemento utilizados, así como de la cantidad en la mezcla de este último. En los concretos refractarios convencionales, la refractariedad baja debido a la cantidad de cemento utilizada en el diseño de sus mezclas

La temperatura de formación de la liga cerámica, así como la de uso del concreto, denominada temperatura de trabajo, aumentan al elevarse la refractariedad de los agregados y disminuir la cantidad de cemento en la mezcla. En concretos diseñados con agregados como bauxita calcinada, mulita, corindón, etc., al aumentar la dosificación del cemento (como en el caso de concretos convencionales), aumenta su resistencia mecánica a temperatura ambiente y disminuye su refractariedad.(10)

VII. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Con el objeto de comparar propiedades físicas y mecánicas entre concretos convencionales, concretos de ultra bajo cemento y de ladrillos prensados, se prepararon y evaluaron mezclas con el mismo tipo de agregado para estos materiales refractarios.

-Preparación de ladrillos: molienda de agregados (mallas 6/F y 60/F), mezcla de los componentes en proporciones adecuadas, para obtener la distribución granulométrica requerida, en mezcladora de laboratorio Eirich (50 Kg. de capacidad), adición de agua (4%), para lograr la compactación, prensado de ladrillos en prensa Boyd e identificación, secado y quemado a 110 y 1370°C respectivamente. Los ladrillos quemados se cortan a las dimensiones requeridas en las pruebas de evaluación.

-Preparación de concretos: molienda de agregados (mallas 6/F y 60/F), mezcla de los componentes en proporciones adecuadas, para obtener la distribución granulométrica requerida, en mezcladora de laboratorio Eirich (50 Kg. de capacidad).

-Preparación de ladrillos para evaluar los concretos (Diagrama 7): 50 Kg. del concreto seco, se mezclan durante 3 minutos para homogenizarlos, en una mezcladora de laboratorio Eirich (50 Kg de capacidad), se adiciona el agua, de 10 a 13% para el concreto convencional y 5% máximo para el ultrabajo cemento, se mezcla para integrar el agua con los materiales del concreto por 5 minutos y se

aplica el rotor de alta velocidad por un minuto para concluir el mezclado. El material húmedo se cuela (vacía), en moldes para ladrillos de 9X 4 1/2X 2 1/2" previamente engrasados. Para el caso del concreto de ultrabajo cemento, los moldes con el material deben vibrarse en una mesa vibratoria a 3 000 ciclos por minuto, durante 8 minutos, para que terminen de reaccionar los componentes que lo conforman. Los moldes con el material colado (convencional) se cubren con hule plástico para evitar la pérdida de humedad de la superficie y se dejan fraguar (endurecer) por 24 horas, para después desmoldear, identificar y secar a 110°C durante 24 horas, para el caso del concreto de ultrabajo cemento no requiere que se cubran, solo se procede a su desmoldeo 24 horas después de colados. Los ladrillos secos (110°C/24horas), son quemados a 1370°C

-Propiedades evaluadas:

1. POROSIDAD APARENTE Y DENSIDAD DE MASA (C 20-87) A.S.T.M.
Diagrama 4.
2. MODULO DE RUPTURA Y COMPRESION EN PLANO A TEMPERATURA AMBIENTE (C 133-84) A.S.T.M. Diagrama 5.
3. MODULO DE RUPTURA EN CALIENTE (C 583-80) A.S.T.M
Diagrama 6.
4. ANALISIS DE DIFRACCION DE RAYOS X, PARA LA DETERMINACION DE FASES MINERALOGICAS.
5. DETERMINACION DE ANALISIS QUIMICO, FLUORESCENCIA DE RAYOS X.

PRUEBA PARA DETERMINAR POROSIDAD APARENTE, ABSORCION DE AGUA Y DENSIDAD DE LADRILLOS REFRACTARIOS A.S.T.M. C-20-87

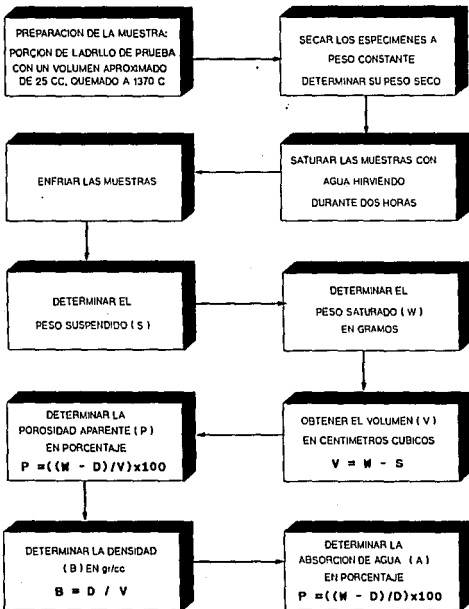


DIAGRAMA 4

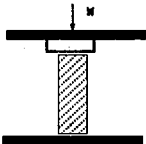
**DETERMINACION MODULO DE RUPTURA Y COMPRESION
EN PLANO DE LADRILLOS A.S.T.M C - 133 - 84**

PREPARACION DE LA MUESTRA:
LADRILLOS DE PRUEBA
DE $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2}$ "

APLICAR LA CARGA SOBRE LA
SUPERFICIE DE $4 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2}$ "
EN MAQUINA DE MODULOS
TINUS OLSEN MODELO 290

CALCULAR LA COMPRESION
EN PLANO (PSI)
 $S = W / A$

S = COMPRESION EN PLANO (PSI)
W = CARGA MAXIMA TOTAL (Lbf)
A = AREA TOTAL (in²)



PREPARACION DE LA MUESTRA:
LADRILLOS DE PRUEBA
DE $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2}$ "

APLICAR LA CARGA SOBRE LA
MITAD DE LA CARA $9 \times 4 \frac{1}{2}$ "
EN MAQUINA DE MODULOS
TINUS OLSEN MODELO 290

CALCULAR EL
MODULO DE RUPTURA (PSI)
 $MOR = 3 PL / 2bd^2$

MOR = MODULO DE RUPTURA (PSI)
P = CARGA DE RUPTURA (lbf)
L = DIST. ENTRE SOPORTES (in)
b = ANCHO DEL ESPECIMEN (in)
d = ESPESOR DEL ESPECIMEN (in)

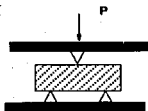


DIAGRAMA 5

DETERMINACION DE MODULO DE RUPTURA DE MATERIALES REFRACTARIOS
A TEMPERATURAS ELEVADAS A.S.T.M. C - 583 - 80

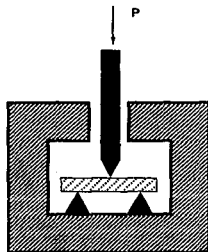
PREPARACION DE LA MUESTRA:
CORTES DE LADRILLO DE PRUEBA
DE 1 x 1 x 6"
QUEMADOS A 1370 C

COLOCAR LOS ESPECIMENES EN
LA CAMARA DEL HORNO

CALENTAR EL HORNO A LA
TEMPERATURA DE PRUEBA
MANTENERLA DURANTE 3 HR.
1370 Y 1480 C

APLICAR LA CARGA

CALCULAR
EL MODULO DE RUPTURA
 $MOR = 3PL/2bd^2$



MOR = MODULO DE RUPTURA (PSI)
P = CARGA DE RUPTURA (lb)
L = DIST. ENTRE SOPORTES (in)
b = ANCHO DEL ESPECIMEN (in)
d = ESPESOR DEL ESPECIMEN (in)

DIAGRAMA 6

PREPARACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO REFRACTARIO
POR COLADO A.S.T.M. C 862 - 87

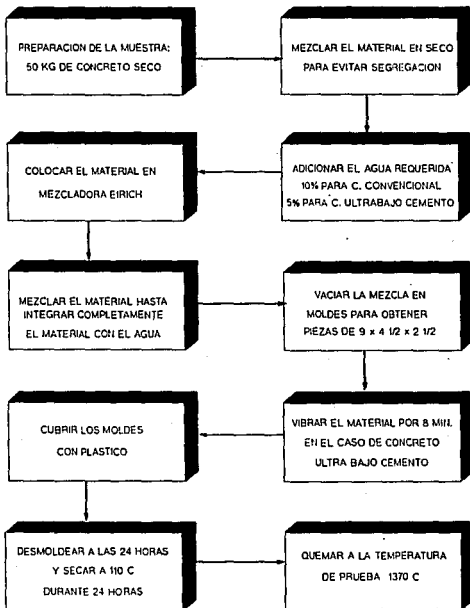


DIAGRAMA 7

VIII. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la evaluación de ladrillos prensados y piezas coladas con concretos convencional y ultra bajo cemento se muestran en las tablas 4 y 5.

1. El contenido de alúmina (TABLA 5), de los materiales es diferente, a pesar de utilizar, como base de la mezcla, el mismo tipo de agregados, para los concretos se utilizó cemento y otros aditivos necesarios por el diseño de sus mezclas, lo que ocasionó la disminución de Al_2O_3 .

2. Como era de esperarse el porcentaje de CaO en el ladrillo fué menor al de los concretos, ya que el diseño de esta mezcla no requiere de cemento, la poca cantidad presente es debido a la contribución por parte de los agregados calcinados y arcillas refractarias que lo conforman.

3. Las propiedades físicas que presentaron las piezas coladas con concreto convencional, no fueron tan satisfactorias como las del ladrillo prensado y del ladrillo colado con concreto de ultra bajo cemento, debido a la mayor cantidad de agua utilizada durante el colado (10%), como consecuencia, se obtuvo una mayor porosidad y menor densidad en este material.

4. La importancia de obtener un material denso y poco poroso, es que esto influye sobre la resistencia mecánica a temperatura ambiente, como puede observarse en la tabla 4. El concreto de ultra bajo cemento presenta los valores más altos de compresión en plano y módulo de ruptura.

5. En la prueba de módulo de ruptura en caliente a $1370^{\circ}C$, el concreto convencional presentó la resistencia mecánica más baja, (450

PSI), y a 1480°C fué nula. Esto se debe a la naturaleza del material: baja densidad, alta porosidad y alto contenido de CaO, éste último al combinarse con parte de los agregados forma fases líquidas que reblandecen la matriz del concreto.

6. La resistencia mecánica en caliente a 1370 y 1480°C fué más alta para los ladrillos colados con el concreto de ultrabajo cemento, así como el mayor desarrollo de fase mulita, lo que comprueba la importancia del diseño de las mezclas (tipo de agregados, granulometrías de las mezclas, cantidad de cemento, requerimientos de agua, etc.).

7. El grado de multización y resistencia mecánica a 1370 y 1480°C de cada uno de los materiales evaluados, se presenta en la gráfica 1, donde se observa el mejor resultado para el concreto de ultrabajo cemento, también se aprecia la relación existente entre el módulo de ruptura en caliente y el % mulita desarrollado (grado de multización).

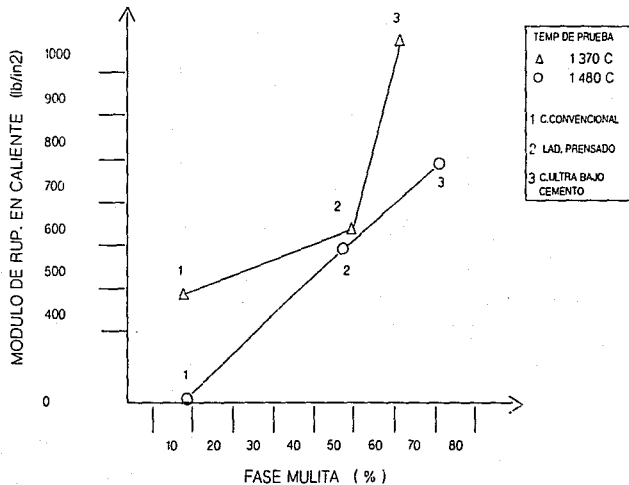
TABLA 4. RESULTADOS DE EVALUACION A LADRILLO PRENSADO, CONCRETO CONVENCIONAL Y CONCRETO ULTRA BAJO CEMENTO (U L C), PREPARADOS CON EL MISMO TIPO DE AGREGADOS Y QUEMADOS A 1370°C.

	LADRILLOS PRENSADOS	CONCRETO CONVENCIONAL	CONCRETO U L C
POROSIDAD (%)	19.1	31.7	15.5
DENSIDAD (gr/cc)	2.67	2.19	2.67
MODULO DE RUPTURA (PSI), A TEMPERATURA AMBIENTE	1 901	1 167	2 831
COMPRESION EN PLANO (PSI) A TEMPERATURA AMBIENTE	10 571	3 629	15 802
MODULO DE RUPTURA (PSI), EN CALIENTE			
A 1370°C	600	450	1 036
1480°C	550	0	750
FASE MULITA DESARROLLADA (%), DESPUES DE PRUEBA			
MODULO DE RUPTURA EN CALIENTE			
A 1370	53.6	14.0	68.0
A 1480	55.9	14.9	77.4

TABLA 5. ANALISIS QUIMICO DE LADRILLO PRENSADO, LADRILLO COLADO CON CONCRETO CONVENCIONAL Y LADRILLO COLADO CON CONCRETO ULTRA BAJO CEMENTO

	LADRILLO PRENSADO	CONCRETO CONVENCIONAL	CONCRETO ULTRA BAJO CEMENTO
% Al ₂ O ₃	77.0	71.3	70.0
% SiO ₂	15.0	18.3	24.0
% CaO	0.5	6.2	0.75

GRAFICA 1. FASE MULITA DESARROLLADA CONTRA MODULO DE RUPTURA EN CALIENTE DE LADRILLOS REFRACTARIOS PENSADOS Y COLADOS CON CONCRETO REFRACTARIO CONVENCIONAL Y ULTRA BAJO CEMENTO



IX. CONCLUSIONES

Es evidente la superioridad de propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos colados con concreto de ultra bajo cemento, comparado con los prensados y los colados con concreto convencional.

Es un hecho que los concretos de alta tecnología son una nueva generación de materiales refractarios, cuyas propiedades compiten favorablemente contra ladrillos diseñados con agregados y contenidos de alúmina similares.

La investigación en materia de especialidades secas refractarias debe enfocarse a concretos de alta tecnología, diseñados con partículas ultrafinas de alta pureza y aditivos que mejoren su comportamiento durante su aplicación, y obteniendo como consecuencia, un beneficio en propiedades físicas y mecánicas.

Lo anterior permitirá al usuario de refractarios aumentar el tiempo de vida de los recubrimientos refractarios, reducir el tiempo y costo de instalación de los mismos, y consecuentemente, aumentar la productividad en sus procesos.

El gran reto del refractorista mexicano, es mantenerse al día en el desarrollo de nuevos materiales, destinando recursos para la investigación, con el objeto de proporcionar a los usuarios mejores opciones en este campo, y de esta manera, conservar y ampliar el mercado nacional e internacional.

BIBLIOGRAFIA

1.-D.P SCIARETTA & R.B. VIDETTO:NEW AGE MONOLITHIC REFRACTORY CASTABLES,33 METALPRODUCING,VOL.27(6) (1989) .

2.-ALAN HEY:PRECAST MONOLITHIC REFRACTORY SHAPES FOR THE IRON AND STEEL INDUSTRY,LECTURE DELIVERED AT THE SECOND INT.CONFERENCE ON REFRACTORIES,TOKYO (JAPON).NOV.1987.

3.-1991 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS,VOL 15.01:REFRACTORIES;CARBON AND GRAPHITE PRODUCTS;ACTIVATED CARBON.ASTM 1916 RACE STREET,PHILADELPHIA,PA 191031187 USA.

4.-ROBERT E. FISHER:CERAMIC TRANSACTIONS,ADVANCES IN REFRACTORIES TECHNOLOGY.PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL FORUM ON ADVANCES IN REFRACTORIES TECHNOLOGY HELD IN CINCINNATI,OH,ON MAY 2-4,1988.

5.-C.E. SEMLER;OVERVIEW OF REFRACTORY PROBLEMS IN INDUSTRY.INTERCERAM 40(1991) (7)

6.-BIN NAGAI:RECENT ADVANCES IN CASTABLE REFRACTORIES IN JAPAN.TAIKABUTSU OVERSEAS VOL.9 No.1 pag.2-9

7.-RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION Y SECADO DE CONCRETOS REFRACTARIOS.BOLETIN INFORMATIVO, REFRACTARIOS GREEN S.A. DE C.V.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

8.-F. SINGER Y S.S. SINGER: CERAMICA INDUSTRIAL VOL.III, ENCICLOPEDIA DE LA QUIMICA INDUSTRIAL TOMO 11. UROMO, S.A. DE EDICIONES. ESPARETO, 10 BILBAO 9. IMPRESO EN ESPAÑA 1979.

9.-GLOSSARY OF TERMS. GREFCO GENERAL REFRACTORIES COMPANY, U.S. REFRACTORIES DIVISION. PITTSBURGH, PA. 15219.

10.-J. PUIG Y F. SANCHEZ: LOS CEMENTOS ALUMINOSOS Y SUS APLICACIONES REFRACTARIAS. BOLETIN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CERAMICA Y VIDRIO, VOL 13, NUM 1 pag. 19-23.

11.-J. PUIG Y F. SANCHEZ: HORMIGONES AISLANTES, REFRACTARIOS Y ANTIABRASIVOS EN HORNOS PARA CLINKER DE CEMENTO PORTLAND. BOLETIN DE LA SOCIEDAD DE CERAMICA Y VIDRIO, VOL. 15, NUM. 5.

12.-C.M. GEORGE: INDUSTRIAL ALUMINOUS CEMENTS. A REPRINT FROM STRUCTURE AND PERFORMANCE OF CEMENTS. PUBLISHED BY APPLIED SCIENCE PUBLISHER LTD. pg. 415-470.

13.-REFRACTORIES: THE REFRACTORIES INSTITUTE, PITTSBURGH, PA 15222 U.S.A.

14.-F.A. COTTON, G.W. WILKINSON: QUIMICA INORGANICA BASICA. EDITORIAL LIMUSA. MEXICO 1978.