



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

**Aplicación de Caolines y Arcillas Refractarias
Nacionales en la Fabricación de un Refractario
Silico-aluminoso para una Temperatura de
Servicio de 1482 °C.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

ANGEL PEREZ MARTINEZ



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.

LAB. TESIS 1978
ASO. M.C. ~~338~~ 338
FECHA _____
FISC. _____



Presidente, Prof. LIBERTO DE PABLO GALAN

Vocal " VICTOR PEREZ AMADOR

Secretario " CLAUDIO A. AGUILAR MARTINEZ

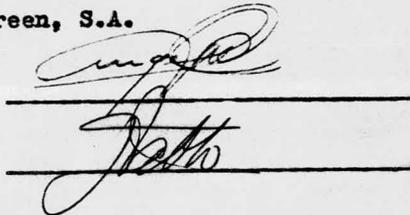
1er. Suplente" ARTURO PEREZ ALONSO

2o. Suplente" ARMANDO VALDEZ TAMEZ

Sitio donde se desarrolló el tema: Cía. Mexicana de Refractorios A.
P. Green, S.A.

Sustentante: ANGEL PEREZ MARTINEZ

Asesor: LIBERTO DE PABLO GALAN

The image shows two handwritten signatures in cursive ink. The first signature is positioned above a horizontal line, and the second signature is positioned below another horizontal line. The lines are parallel and extend across the width of the signature area.

A MIS PADRES

Y

HERMANOS

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I GENERALIDADES DE LOS REFRACTARIOS

- 1.1 Definición de refractario
- 1.2 Clasificación de los refractarios de acuerdo a su materia prima.
 - 1.2.1 Ladrillos
 - 1.2.2 Especialidades
 - 1.2.3 Materiales granulados
 - 1.2.4 Morteros
- 1.3 Clasificación de los refractarios debido a su comportamiento ante varios reactivos.
 - 1.3.1 Refractarios ácidos
 - 1.3.2 Refractarios básicos
 - 1.3.3 Refractarios neutros
- 1.4 Breve descripción de los refractarios en general.
 - 1.4.1 Ladrillos calidad superior
 - 1.4.2 Ladrillos alta calidad
 - 1.4.3 Ladrillos de calidad intermedia
 - 1.4.4 Ladrillos de baja calidad
 - 1.4.5 Ladrillos de semisílica
 - 1.4.6 Ladrillos ácido resistentes
 - 1.4.7 Ladrillos de alta alúmina
 - 1.4.8 Ladrillos de sílica
 - 1.4.9 Ladrillos básicos
 - 1.4.10 Ladrillos aislantes
- 1.5 Tabla general con las propiedades de los refractarios.
 - 1.5.1 Tabla No. 1 Propiedades de los refractarios de arcilla
 - 1.5.2 Tabla No. 2 Propiedades de especialidades.

- 1.5.3 Tabla No. 3 Propiedades de materiales plásticos ,hechos de arcillas refractarias (especialidades plásticas).
- 1.5.4 Tabla No. 4 Propiedades de mezclas de apisonables (especialidades plásticas).
- 1.5.5 Tabla No. 5 Propiedades de los ladrillos - aislantes.

CAPITULO II MATERIAS PRIMAS

- 2.1 Descripción general
 - 2.1.1 Clasificación de los minerales arcillosos -
- 2.2 Yacimientos de caolín y arcillas refractarias en México.
- 2.3 Materiales utiles para el refractario de tesis
 - 2.3.1 Material A del Estado de Guanajuato
 - 2.3.2 Material B de Villa de Allende, Estado de México.
 - 2.3.3 Material C del Estado de Hidalgo
 - 2.3.4 Material D del Estado de Zacatecas
 - 2.3.5 Material E del Estado de San Luis Potosí
 - 2.3.6 Material F del Estado de Guanajuato
 - 2.3.7 Materiales calcinados G y H
- 2.4 Clasificación de los materiales del refractario de acuerdo a sus características físicas.

CAPITULO III MANUFACTURA DEL REFRACTARIO

- 3.1 Propiedades que se deberan obtener en el refractario.
- 3.2 Tamaños de partículas
 - 3.2.1 Tipos de cribas que se utilizan en la clasificación por tamaños.
 - 3.2.2.Cribas más usadas
 - 3.2.3 Tipos de molindas y sus especificaciones
 - 3.2.4 Mezcla del refractario de Tesis

- 3.2.4.1. Balance de materia de las mezclas - propuestas (Mezcla I, II, III)
- 3.2.4.2. Selección de las mezclas propuestas en base a propiedades obtenidas.
- 3.3 Descripción del proceso para la elaboración y manufactura del refractario.
 - 3.3.1. Trituración ó quebrado de los materiales
 - 3.3.2 Molienda
 - 3.3.3 Clasificación de la molienda
 - 3.3.4 Mezclado
 - 3.3.5 Formas de manufactura de piezas refractarias
 - 3.3.5.1 Moldeado a mano
 - 3.3.5.2 Prensado en seco
 - 3.3.5.3 Extruido y prensado en húmedo
 - 3.3.6 Secado
 - 3.3.7 Quemado
 - 3.3.8 Inspección, Selección y embarques

CAPITULO IV DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DEL REFRACTARIO

- 4.1 Equivalente al cono pirométrico
- 4.2 Cambio lineal permanente
- 4.3 Deformación bajo carga
- 4.4 Disgregación y choque térmico
- 4.5 Módulo de ruptura
- 4.6 Módulo de compresión en plano
- 4.7 Porosidad , permeabilidad, absorción y gravedad específica.
- 4.8 Conductividad Térmica
- 4.9 Expansión térmica
 - 4.9.1 Análisis químico

CAPITULO V USOS DEL REFRACTARIO Y CONCLUSIONES

- 5.1 Conclusiones

- 5.2 Lugares de los hornos donde deberá ser colocado - el refractario de tesis.
- 5.3 Tipos de horno donde puede instalarse el refractario de tesis.
 - 5.3.1 Diagrama de hornos donde puede ser colocado el refractario.

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION.

La evolución de los refractarios sílico-aluminosos desde los primeros fabricados a fines del siglo pasado, hasta los altamente diversificados y específicos actuales, ha sido notable.

La fuerza impulsora de esta evolución se debe al avance tecnológico de las industrias usuarias, principalmente la siderúrgica que absorbe un 30% de la producción, 20% de servicios públicos, 20% de fabricación de cemento y cal, 30% aplicaciones variadas.

Antiguamente, el proceso de los ladrillos sílico-aluminosos consistió en el moldeado "a mano" de la arcilla natural, así se fabricaron los primeros y más baratos de la historia. Pero eran impuros, porosos, fácilmente hidratables, débiles mecánicamente y susceptibles a los cambios bruscos de temperatura.

Actualmente se requiere de materiales refractarios para revestimientos de hornos que puedan resistir elevadas temperaturas. Mediante diferentes sistemas de elaboración se obtienen refractarios con propiedades diversas para los más variados usos dentro de la industria.

Una base importante de tal logro ha sido la búsqueda de materias primas mediante adecuadas exploraciones y la aplicación de estudios específicos para el control de calidad de las arcillas y caolines hallados, así las técnicas desarrolladas han permitido utilizar las mejores materias primas que cumplan con ciertos requerimientos como refractabilidad, resistencia mecánica, el moldeado en forma de ladrillos u otra forma semejante, etc.

En México contamos con arcillas plásticas, semiplásticas, moderadamente refractarias y también con una gran cantidad de caolines. La fabricación de refractarios de alta alúmina y algunos de calidad superior se hacen principalmente con arcillas de Missouri U.S.A. ; Guayana Inglesa, India, España, Africa, etc. Por

lo que se tiene que importar en un 20 a 30% resultando una fuga de capital para el país.

La fabricación de refractarios en México constituye un complejo industrial de gran importancia por su elaboración y producción intimamente ligado con la industria moderna. Las instalaciones de nuevas plantas: siderúrgicas por ejemplo "Las Truchas" Lazaro Cárdenas; plantas de forjado, plantas petroquímicas, manifiestan que el consumo de refractarios ha tenido un gran incremento en los últimos años y continuará en un ritmo ascendente. Debido a la gran demanda de refractarios las compañías fabricante estudian mediante viabilidad económica la posibilidad de hacer ampliaciones a sus instalaciones o la construcción de nuevas plantas para poder satisfacer las necesidades.

Ante esta perspectiva me motiva la búsqueda de una mezcla de refractario, aprovechando las arcillas y caolines nacionales de yacimientos ya establecidos y de nuevas exploraciones, para aminorar la importación de materia prima.

Además, el objetivo fundamental de esta tesis es, de acuerdo con lo anterior, aplicar la química y la ingeniería química como un conjunto de conocimientos encaminados a la realización de un refractario y ponerlo a disposición de la industria mexicana para poder controlar los procesos donde el calor es la fuente de energía para aprovecharlo en todas sus formas.

CAPITULO I GENERALIDADES DE LOS REFRACTARIOS.

1.1 Definición del Refractario Sílico-Aluminoso.- Es un material no metálico usado en la construcción de revestimientos de hornos que operan a temperaturas elevadas; en su contenido tiene dosis de $Al_2O_3-SiO_2$ en diferentes proporciones. Por la combinación anterior tienen un carácter ácido y, son unos de los tipos de refractarios más importantes dentro de la industria; la estabilidad a temperaturas elevadas, tanto químicas como físicas, - son cualidades que les son características.

1.2 Clasificación de los refractarios. De acuerdo a su materia prima

1.2.1 Ladrillos.

Tipo de ladrillo	Clase
Arcilla	Calidad superior, alta calidad, calidad intermedia, baja calidad <u>semi</u> sílica, ácido resistentes.
Alta Alúmina	50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % Al_2O_3 , Mullita, corundum (99 % Al_2O_3)
Sílica	Calidad superior, regular, resistentes al choque térmicos en ambas <u>clases</u> .
Básicos	Magnesita, alta pureza (93 % MgO y más alta, como la periclasa); <u>magnesita</u> regular (87 % a 93 % MgO); - cromo, cromo-magnesita, fosterita , magnesita unida con alquitrán y <u>magnesita-dolomita</u> unidas con alquitrán

Aislante 1600°F, 2000°F, 2600°F, 2800°F, 3000°F aislantes de sílica, aislantes de magnesita; ladrillos especiales para usos específicos

Otros Carburo de silicio, carbón grafito Zircón, óxido de zirconio, -- electrofundidos de varias composiciones.

1.2.2 Especialidades

Tipos	Materiales
Concretos	Arcilla, alta alúmina, cromo cromo-magnesita, carburo de silicio.
Concretos aislantes	Arcilla, sílica, agregados ligeros.
Plásticos	Arcilla, arcilla-grafito, alta alúmina grafito, mullita y cromita.
Apisonables	Arcilla, alta alúmina, magnesita, cromocarburo de silicio.
Mezclas para aplicar con pistola neumática.	Arcilla, alta calidad, sílica, - cromita magnesita.

1.2.3 Materiales granulados:

Arcilla calcinada, cuarcitas calcinadas alta alúmina, magnesita calcinada, agregados ligeros, -- cromita.

1.2.4 Morteros;

Se fabrican de casi todos los materiales de base.

1.3 Clasificación de los refractarios debido a su comportamiento ante ciertos materiales de tipo reactivo.

Debido a la gran diversidad de usos que tienen los refractarios en diferentes procesos, es necesaria su clasificación, dependiendo de los constituyentes que lo integran; según sea el tipo de mezcla que en total da como resultado un PH de tipo ácido, neutro o básico. Por ello mismo, sustancias de tipo básico no serán tratadas térmicamente con artículos refractarios que tengan carácter ácido y viceversa, una sustancia de tipo ácido no será tratada en un proceso de tipo básico.

Tomando en cuenta la naturaleza de sus constituyentes y su comportamiento ante reactivos, tenemos:

1.3.1 Refractarios ácidos:

Arcillas (con contenido $Al_2O_3 - SiO_2$)

	Formas cristalinas	}	Corundum
Alúminas	Formas hidratadas		Bauxita
			Laterita
			Diasporita
		}	Guarzo
Materiales a base de sílice			Sílice

1.3.2 Refractarios básicos:

Cal
Magnesita
Dolomita
Zirconia

- 1.3.3 Refractarios Neutros {
 carbon
 carburos (incluyendo carborundum)
 ceromita

1.4 Breve descripción de los refractarios:

Ladrillos de arcilla.- las materias primas empleadas en los ladrillos de arcilla son principalmente una gran variedad de arcillas refractarias, que incluyen a las arcillas flint y arcillas plásticas, así como caolines. La arcilla flint es el principal constituyente de los refractarios de calidad superior que se fabrican en México

Ladrillos de calidad superior.

Los ladrillos de calidad superior contienen de 40% a 44% de alúmina y son los más refractarios entre los ladrillos de arcilla, tienen un equivalente al cono pirométrico de 33 mínimo que corresponde a una temperatura de ablandamiento de 1745°C. Se fabrican principalmente por el método de prensado en seco; quemados a temperatura normal adquieren propiedades como una extraordinaria resistencia a la disgregación, otros son más densos y más resistentes a la escoria, gases, abrasión y algunos son de uso general.

Ladrillos de alta calidad.

Los ladrillos de alta calidad tienen un cono pirométrico equivalente no menor de 31 1/2 que corresponde a una temperatura de ablandamiento de 1700°C, soporta condiciones generales según el tipo de horno, son resistentes a la disgregación y en otros son resistentes a las escorias, a la abrasión o a la presión mecánica.

Ladrillos calidad intermedia.

Los ladrillos de calidad intermedia tienen un cono pirométrico equivalente a menor de 29 que corresponde a una temperatura de ablandamiento de 1660 °C se usan en lugares donde se requiere un servicio de condiciones moderadas.

Ladrillos de baja calidad.

Para los ladrillos de baja calidad se requiere que el cono pirométrico equivalente sea no menor de 15, que corresponde a la temperatura de ablandamiento de 1430 °c. Las principales aplicaciones para un ladrillo de baja calidad son para hacer los revestimientos posteriores atrás de los ladrillos de mejor calidad. Sin embargo los ladrillos de baja calidad también se usan donde existen temperaturas moderadas.

Ladrillos de Semisilica.

Son ladrillos que tienen un contenido de sílice entre 72% y 80% y con un bajo contenido de óxidos alcalinos así como de otras impurezas, los cuales se les clasifica como ladrillos refractarios Semisilica. Tienen una excelente estabilidad de volumen a temperaturas relativamente altas, poco encogimiento y gran resistencia a la deformación bajo carga. Dentro de sus límites de temperatura de servicio tienen una gran resistencia a la vitrificación, a la disgregación estructural y a la penetración por escoria y humos alcalinos; cuando están en servicio forman una capa superficial que retarda la penetración y corrosión por fundentes y reduce la disgregación estructural.

Ladrillos ácido resistentes.

La mayoría de los ladrillos ácido resistentes se fabrican de arcillas que queman densamente y que tienen una refractabilidad moderada. Se emplean en los revestimientos de tanques de ácidos, torres y en otro equipo químico -

mico así como también en pisos de planta de ácidos y como revestimientos de hornos debido a su alta resistencia por la abrasión de temperatura.

Ladrillos de alta alúmina .

Los ladrillos refractarios silico-alúminosos que contienen más de 45 % de alúmina se conocen como refractarios "alta alúmina" (50%, 60%, 70%, 80% y 90% Al_2O_3) ladrillos de mulita (60% a 78% de alúmina) y de corundum (99% + % de alúmina); la mayoría de ellos se hacen por el método de prensado en seco. Son muy resistentes al ataque químico de varias escorias y gases y en general tienen mayor resistencia a la presión que los ladrillos de arcilla, algunas calidades tienen bastante resistencia al choque térmico.

Los refractarios de mulita , como su nombre lo indica son fabricados a base de mineral de mulita $3Al_2O_3 - 2SiO_2$ de forma cristalina ; este mineral en forma pura tiene un contenido de alúmina de 71.8 % . Los refractarios de mulita se hacían inicialmente de silimanita o de cianita ahora generalmente se hacen de mulita sintética.

El contenido de alúmina de los ladrillos de mulita está en el rango de 60% a 71% . los ladrillos con adiciones de alúmina libre contienen entre 71% a 78% de alúmina . Los ladrillos de mulita se distinguen por su gran resistencia a la deformación bajo carga , estabilidad de volumen y su resistencia a los fundentes a temperaturas elevadas.

Por otro lado el nombre de corundum se usa para designar aquellos refractarios que contienen 99% o más de alúmina y que generalmente están fabricados a base de mineral corundum(Alúmina cristalina). tienen un punto de fusión de aproximadamente de 2000°C.

Ladrillos de sílice.-

La materia prima usada para la manufactura de los refractarios de sílice se conoce como cuarcita, esta consiste principalmente de mineral de cuarzo.

La cuarcita que se usa para los ladrillos de sílice debe contener como mínimo un 98 % de sílice (SiO_2). La materia prima se quiebra, se muele y se criba al tamaño necesario, se liga para formar los ladrillos con cal u otros agentes (arcillas), Finalmente se prensan para pasar por la etapa de secado y quemado a temperatura suficientemente alta para transformar al cuarzo en otras formas de sílice (Cristobalita ó Tridimita) que son estables a temperaturas elevadas.

Dos clases de ladrillos de sílice se fabrican en grandes cantidades :

- 1.- De calidad superior que contienen 0.2% - 0.5% total de alúmina, óxido de titanio y óxidos alcalinos (óxido de sodio, óxido de potasio y litio).
- 2.- Sílice regular, que contienen más de 0.5 % menos de 1.0% de alúmina, óxido de titanio y óxidos alcalinos.

Se fabrican algunos que sobrepasan esta relación, pero es en forma especial (1.4 - 2.5% de Al_2O_3).

La manufactura de ladrillos de calidad superior esta basada en el uso de piedra muy dura de sílice generalmente lavada, óxido de titanio, óxidos alcalinos no pasando de 0.5% incluyendo la alúmina. Los ladrillos que se hacen pueden soportar una carga de 1.765 kilogramos por centimetro cuadrado a 1704 °C ; como dato adicional el punto de fusión de la sílice pura es de 1723 °C .

Los ladrillos de sílice son susceptibles a la disgregación si se calientan o se enfrían rápidamente abajo de 650 °C; sin embargo, a temperatura arriba de las antes mencionada tienen una gran resistencia a la disgregación.

Los ladrillos de sílice se pueden usar en las bóvedas de los hornos que se trabajan a temperaturas elevadas por su alta refractabilidad, su gran resistencia al ataque de polvos y humos básicos y alta resistencia mecánica, rigidez cuando se sujetan a esfuerzos de tipo de compresión, como en caso de arcos y por su resistencia a la disgregación. arriba de 650°C , otra propiedad importante es su peso relativamente bajo y su volumen y por su alta resistencia aunados a sus características de conductividad térmica, hacen que sea un producto muy empleado en la industria.

Ladrillos básicos.

La magnesita calcinada es el componente principal de muchos ladrillos básicos y consiste principalmente de óxido de magnesio (MgO) en la forma de periclasa mineral.

Las diferentes clases de ladrillo refractario básico de que podemos disponer son las siguientes:

I.- Ladrillos de Magnesita.

- a).- Ladrillos fabricados con magnesita de alta pureza que que contienen más de 93% MgO y su componente es la periclasa mineral (magnesita cristalina).
- b).- Ladrillo convencional de magnesita que contiene de 87% a 93% de MgO y que también su principal componente es la periclasa.
- c).- Ladrillos de liga espinel y de liga con forsterita-magnesita, estos contienen aproximadamente 90% de MgO .

II.- Ladrillos de cromita

III.- Ladrillos de Magnesita -cromita

IV.- Ladrillos de cromita-magnesita.

Los ladrillos de cromita-magnesita y magnesita cromita se hacen en muchas modificaciones que se han desarrollado para usos específicos; en algunas modificaciones la resistencia a las temperaturas elevadas y a la estabilidad de volumen se han llevado a un grado máximo; en otras su alta resistencia a la disgregación es su característica principal.

V.- Ladrillos de forsterita.

Estos fabricados con olivina y magnesia agregada se pueden tener varias modificaciones, sus características principales son su estabilidad de volumen y su resistencia a temperaturas elevadas.

VI.- Ladrillos de magnesia unidos con alquitrán.

Y los ladrillos de magnesia-dolomita.

Estos se usan principalmente en los procesos de convertidores de oxígeno para aceración.

La mayoría de los ladrillos básicos se hacen en método de prensado en seco de materias primas previamente medidas y cribadas, generalmente con la adición de pequeñas cantidades de plástificantes ó de liga. Pueden fabricarse quemados oligados químicamente; ahora en un 50% de lo que se fabrica se hace ligado químicamente.

En general los ladrillos quemados son superiores en lo que se refiere a su alta resistencia a temperaturas elevadas y a su estabilidad de volumen. Mientras a los ligados químicamente, son excelentes en lo que se refiere a su resistencia al choque térmico.

Resientemente se han fabricado ladrillos químicamente unidos que combinan las propiedades anteriores. La mayoría de los ladrillos básicos pueden forrarse con caja de acero o bien, forrarse con una caja de acero y aparte tener un inserto del mismo acero en su interior. El descubrimiento se hizo en 1914 al hacer unos ladrillos de granos de magnesita aprisionados dentro de unos tubos y que al calentar estos dentro del horno, se fundían y formaban una estructura monolítica; ha ocasionado que se hagan un sinúmero de ladrillos forrados con acero.

Por ahora los ladrillos forrados con acero son los llamados de magnesita-cromo químicamente unidos principalmente. Sin embargo, la mayoría de los ladrillos básicos pueden forrarse con caja de acero, si el servicio lo requiere.

Generalmente las cajas de acero cubren tres o cuatro de las caras longitudinales, dejando al descubierto los extremos del mismo, tanto los químicamente unidos como los quemados; una de las aplicaciones ventajosas del forrado con placas de acero es la que se usa entre las juntas de ladrillo básico. Esto es práctica común en el revestimiento de los hornos rotatorios.

Cuando en servicio las orillas de la caja de acero de los ladrillos expuestos al fuego se oxida y el óxido de hierro resultante se combina con la magnesia del ladrillo para formar la magnesia-ferrita, la masa monolítica formada tiene una alta resistencia a la disgregación ocasionada por los cambios bruscos de temperatura. La proporción de la caja que no se afecta le da consistencia al revestimiento y la alta conductividad del acero comparada a la del ladrillo tiende a disminuir el gradiente de temperatura a través de la estructura metálica del ladrillo.

Las características de los ladrillos refractarios básicos son:

Gran resistencia al ataque químico por escoria y óxidos básicos, expansión térmica relativamente alta pero uniforme (dos o tres veces mayor que él de las arcillas en los refractarios - de tipo ácido, pero varía con la composición); La conductividad térmica de alta a moderada (en los ladrillos cuyas composiciones consisten principalmente de magnesita tienen las conductividades más altas). Otra de las características es la razón de transmisión de calor de los ladrillos aumentada por el forrado de la - caja de acero.

Otros ladrillos refractarios.

En este grupo están incluidos los demás ladrillos refractarios tales como los de arcilla-grafito, carburo de silicio, carbón-circón, óxido de circonio y los electrofundidos que son usados en menos proporción que los demás refractarios.

Los refractarios de arcilla-grafito se usan en hornos que están expuestos a una abrasión mecánica severa, tales como los hornos de recalentamiento donde se usan rieles de carburo de silicio; también se usan donde se requiere una alta conductividad y una alta resistencia como en los tubos para los termopares.

Los electrofundidos se hacen con gran variedad de composiciones que incluyen alúmina, mulita, óxido de circonio, cromo--magnesita. Se usan en cantidades relativamente bajas en la industria siderúrgica.

Ladrillos refractarios aislantes.

Los ladrillos refractarios aislantes son ladrillos de peso bajo, poroso, que tienen una conductividad térmica mucho menor que los refractarios comunes. Se fabrican de materiales tales - como la tierra diatomácea (que puede ser cruda o calcinada).

Vermiculita, perlita, arcillas refractarias, arcillas de alta alúmina, alúmina calcinada etc.

Frecuentemente un material combustible se agrega a la mezcla y al quemarse esta, el material combustible se quema dejando una gran cantidad de poros en el ladrillo. En la fabricación de algunos materiales refractarios aislantes Agentes que se expanden se usan en unión de los combustibles y dan la porosidad necesaria.

La A.S.T.M. ha clasificado los ladrillos refractarios aislantes basados en :

- a.-) Su comportamiento a la prueba de deformación bajo carga a temperaturas específicas .
- b.-) Su peso por volumen .

La A.S.T.M. clasifica a los ladrillos refractarios por grupos de identificación mediante un número que multiplicado por 100 representa la temperatura máxima en °F a la que puede trabajar el ladrillo con sus caras expuestas. Por lo tanto un ladrillo aislante del grupo 16, puede ser calentado hasta 1600 °F (870 °C) para que trabaje satisfactoriamente.

Identificación de grupo	Temperatura que soporta:	Peso por volumen Max. en gr/cm ³
16	(1600°F)845°C	0.54
20	(2000°F)1065°C	0.64
23	(2300°F)1230°C	0.77
26	(2600°F)1400°C	0.83
28	(2800°F)1520°C	0.96
30	(3000°F)1620°C	1.09

Existen ladrillos aislantes a base de sílice que pueden usarse también hasta una temperatura de 3000°F (1620°C) y ladrillos ligeros de magnesita y algunos otros ladrillos para usos especiales

Dentro de ladrillos especiales se incluye un ladrillo de arcilla de alta resistencia que puede ser expuesto directamente a las condiciones de los hornos. También hay un ladrillo de arcilla y diatomita que se puede comprimir ligeramente si se le aplica una pe

presión continua.

Los ladrillos aislantes se usan principalmente en la parte posterior de los ladrillos de altas refractabilidades y de altas conductividades térmicas. Varios ladrillos aislantes se pueden usar para revestimientos internos de hornos donde no hay abrasión mecánica o contacto con materiales fundidos, escoria o gases corrosivos. Cuando los ladrillos aislantes se instalan en revestimientos interiores, el uso de los ladrillos aislantes de bajo fierro es deseable, especialmente en los hornos que tienen atmósfera controlada.

Las principales ventajas en el uso de los aislantes en los hornos son:

- a.- Economía en el combustible, debido a la menor pérdida de calor por la mayor capacidad de retención, tienen una gran cantidad de espacios que ocasionan enormes caídas de temperaturas.
- b.- Disminución del tamaño y peso del revestimiento del horno debido al peso ligero de los ladrillos aislantes.
- c.- Economía en espacio debido a que las paredes más delgadas pueden ser hechas con una eficiencia aislante mayor.
- d.- Aumento en la producción debido al menor calentamiento de los revestimientos de los hornos.
- e.- Mejor control en el secado y en el quemado para la producción, debido a que las temperaturas se regulan eficientemente.

	REFRACTARIOS DE ARCILLA										CARBURO DE SILICIO			REFRACTARIOS SILICA			
	Baja Calidad	Calidad Intermedia	Alta Calidad	Calidad Superior	50% Al ₂ O ₃	60% Al ₂ O ₃	70% Al ₂ O ₃	80% Al ₂ O ₃	Alumina 90-99% Al ₂ O ₃	Mullite	Alumina Fundida Moldeable	Ligado con Arcilla	Sin liga	Zircon	Zirconia Estable	Cuarcita	Semielica
Equivalente al cono Piroscárico o Punto Nominal de Fusión (°F)	19-29 2,770-3,018	29-31 3,018-3,061	32-33 3,123-3,169	33-34 3,205-3,245	34-35 3,169-3,205	36-37 3,270-3,308	37-38 3,308-3,335	38-40 3,335-3,425	37-40 3,308-3,425	38-39 3,335-3,389	39-40 3,389-3,425	-----	-----	+ 42	4,600-4,700	31-33 3,061-3,169	27-31 2,984-3,060
Densidad en gramo por cm ³	1.9-2.15	1.9-2.15	2.25-2.45	2.25-2.45	2.25-2.15	2.2-2.3	2.3-2.4	2.6-2.7	2.9	2.3-2.6	2.8-3.2	-----	-----	4.2	4,600-4,700	31-33 3,061-3,169	27-31 2,984-3,060
Peso de 9" x 4 1/2 x 2 1/2 (Kg)	3.178-3.860	3.170-3.860	3.180-4.100	3.410-4.100	3.410-4.100	3.720-3.860	3.815-3.990	4.310-4.560	4.770	3.860-4.310	4.560-5.450	2.54	2.85	3.3	4.3-4.4	1.65-1.9	1.85-2.0
Porcentaje de Porosidad	16-25	16-25	10-24	7-20	18-24	20-27	20-35	20-30	14-24	15-22	2.5-7.5	4.200	4.650	5.420	7.225	2.770-3.180	3.080-3.280
Permeabilidad al aire frío	Baja a Alta	Baja a Alta	Baja a Alta	Moderada a Alta	Moderada	Moderada	Muy baja a Alta	Muy baja a Alta	3-51	3-40	0.5-2.0	13-14	7-9	15-30	15-30	19-30	23-30
Calor Específico Medio	0.25-0.26 20-1000°C	0.25-0.26 20-1000°C	0.25-0.26 20-1000°C	0.25-0.26 20-1000°C	0.26-0.27 20-1000°C	0.26-0.27 20-1000°C	0.26-0.27 20-1000°C	0.26-0.27 20-1000°C	0.28 0-1700°C	0.25 20-1000°C	0.28-0.32 20-1400°C	2-6	1-4	10-78	4-32	Alta	Moderada a Alta
Coefficiente medio de Expansión (IN por IN por °C)	5.1 x 10 ⁻⁶ 20-1000°C	5.1 x 10 ⁻⁶ 20-1200°C	5.1 x 10 ⁻⁶ 20-1200°C	5.1 x 10 ⁻⁶ 20-1200°C	6.5 x 10 ⁻⁶ 20-1200°C	6.5 x 10 ⁻⁶ 20-1200°C	6.5 x 10 ⁻⁶ 20-1200°C	7.0 x 10 ⁻⁶ 20-1800°C	7.3 x 10.2 x 10 ⁻⁶ 25-1500°C	4.5 a 6.0 x 10 ⁻⁶ 25-1400°C	8.4 x 10 ⁻⁶ 25-1400°C	0.285 0-1400°C	0.29 0-1400°C	0.18 20-1050°C	0.175 25-1400°C	0.265 20-1000°C	0.26 20-1000°C
Conductividad Térmica *	8-9 En 2000°F	9-10 En 2400°F	10-11 En 2400°F	10-11 En 2400°F	10-12	10 En 2000°F	10.5 En 2000°F	12 En 2000°F	15-24 En 2000°F	14-16 500-2000°F	24-31 En 2200°F	109 En 2200°F	113 En 2200°F	13.5 390-1832°F	5 En 2000°F	13 390-1832°F	8 400-2000°F
Módulo de Ruptura (lb. por pul ²)	400-1,700 En 70°F	1000-1500 En 70°F	1000-1600 En 70°F	1000-3000 En 70°F	1000-1600 En 70°F	900-2000 En 70°F	1000-2000 En 70°F	800-2000 En 70°F	1200-1600 En 70°F	1200-1800 En 70°F	700-1500 En 2462°F	2000 En 2500°F	2000 En 2500°F	1500-2200 En 70°F	1900 En 70°F	600-1200 En 70°F	300-700 En 70°F
Resistencia a la Deformación bajo carga Prueba en 25 PSI de peso y 1 1/2 h.	-----	3-10% En 2400°F	0.5-7.0% En 2400°F	0.5-7.0% En 2640°F	4-7% En 2640°F	1.5-7% En 2640°F	0.5-3.0% En 2640°F	0.5-2.5% En 2640°F	0.3-2.0% En 3100°F	0.-2.0% En 3100°F	0.0 En 2730°F	0.0 En 2730°F	0.0 En 2730°F	2-5% En 2730°F	2-5% En 2730°F	2-5% En 2730°F	2-5% En 2730°F
Compresión en plano (PSI)	3000-5000 En 70°F	2000-3000 En 70°F	2000-5000 En 70°F	1500-4000 En 70°F	3000-6000 En 70°F	2000-4500 En 70°F	3500-7000 En 70°F	3500-6000 En 70°F	4000-25000 En 70°F	5000-7000 En 70°F	-----	10000 En 70°F	15000 En 70°F	5000 En 70°F	-----	2000-4000 En 70°F	1400-3000 En 70°F
Resistencia a la Abrasión	Varia	Varia	Varia	Varia	Generalmente Buena	Generalmente Buena	Generalmente Buena	Generalmente Buena	Buena	Excelente	Excelente a Bueno	Excelente	Excelente	Perfecto	-----	2000-4000 En 70°F	1400-3000 En 70°F
Resistencia a la Corrosión	Varia	Varia	Varia	Varia	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Perfecto	Perfecto	Buena	Buena
Resistencia al Choque Térmico	Varia	Varia	Varia	Varia	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Muy Buena	Pobre a Regular	Resistente a los ácidos	Buena a los ácidos Pobre a las alcalies	Resistencia a los ácidos y Escoria silicea	Resistente a los alcalies y más metales	Resistente a la escoria ácida	Resistente a los vapores alcalinos y polvo
Máxima temperatura recomendada en la cara caliente	1400-1700	2200-2300	2500-2600	2600-2700	Varia con condiciones	Varia con las condiciones	Varia con las condiciones	Varia con las condiciones	2800-3400	3000-3200	3300	Excelente a Bueno 2500-3000	Muy buena 2900-3000	Bueno 3000	Perfecto 4250°F Propiamente mantenido	Pobre abajo de 1200°F, Bueno = arriba de 1200°F 2900-3000°F	Bueno 2800-2900°F

1.5.1

Tabla N° 1

* BTU/hr/IN/IN/°F

Estos datos podrán diferir de los refractarios comerciales de cada compañía, pero aquí se toman los rangos más comunes. Podrán diferir debido a las materias primas utilizadas. Materiales de liga y proceso de manufactura. Los valores de calor específico, expansión térmica, conductividad térmica podrán ser utilizadas en una manera general para propósitos de ingeniería.

CONCRETOS REFRACTARIOS (FRAGUADO HIDRAULICO)	CONCRETOS AISLANTES					CALIDAD INTERMEDIA			PRIMERA CALIDAD		CALIDAD SUPERIOR		ALTA ALUMINA		
	1800 °F	1800 °F	2000 °F	2400 °F	2600 °F	1500 °F	1500 °F	2500 °F	2500 °F Super resistente	2800 °F	3000 °F	3000 °F Super resistente	3100 °F	3200 °F	3300 °F
Punto de fusión P.C.E. of	No se aplica	6 2245	10 2380	15-16 2660	32 3125	15 2605	15 2605	16 2715	17 2755	31 3060	34 3205	36 3280	36-37 3295	39 3390	40 3300
Temperatura de servicio °F recomendada	1800		2000	2450	2600	1500	1500	2500	2500	2800	3000	3000	3100	3200	3300
% Al ₂ O ₃ - SiO ₂	-	15-36	-	39-39	55-36	29 1/2 -46 1/2	29 1/2 -46	40-43	42-39	45-42	50-42 1/2	55-36	70-23	90-4	96-0
Densidad g/c.c.	0.32	0.64	0.80	1.20	1.32	1.84	1.76	1.84	1.92	1.87	1.95	2.16	2.24	2.67	2.64
Coefficiente de expansión térmica (IN por °F)				2.9 x 10 ⁻⁶	2.9 x 10 ⁻⁶	2.9 x 10 ⁻⁶	2.9 x 10 ⁻⁶	2.9 x 10 ⁻⁶	3.6 x 10 ⁻⁶	3.9 x 10 ⁻⁶					
Conductividad térmica (A.S.T.M. C-202) (BTU/HR/pul /pul/°F)															
500°F	0.59	400 F=1.18	1.25	2.35	2.50	3.40	3.40	3.40	4.20	4.20	4.20	4.20	4.95	6.67	10.50
1000	0.60	800 F=1.20	1.40	2.50	2.67	4.10	4.10	4.10	4.85	4.85	4.85	4.85	5.70	7.70	9.75
1500	0.61	1200 F=1.22	1.75	2.87	3.06	4.95	4.95	4.95	5.42	5.42	5.42	5.42	6.38	8.62	9.50
2000				4.00	4.27			5.85	6.00	6.00	6.00	6.00	7.06	9.52	10.20 (3000 F)
Módulos de ruptura (PSI)															
230°F	40	325-375	200-250	250-300	500-600	750-800	800-850	500-550	850-950	300-350	400-500	1100-1200	1100-1200	650-750	1200-1400
1000	30	500 F=250-300	125-175	150-200	300-400	200-250	700-750	300-350		200-250		1100-1200		650-750	1400-1600
1500	10	800 F=250-300	125-175	150-200	250-350	100-150	300-350	275-325	550-650	150-200	300-400	1100-1200		600-700	1400-1600
2000	(1800 F) 8	1200-150-200	100-150	150-200	250-350		150-200	250-300	450-550	150-200	200-300	900-1000	700-800	800-900	2100-2300
2500		1500-110-130	650-700	650-750				800-850	900-1000	800-850	800-900	1800-1900	800-900	800-900	2300-2500
2700												2800-2900	1500-1600	1000-1100	2300-2500
3000														1000-1100	2300-2500
Resistencia a la abrasión	Pobre	Pobre	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena	Buena	Buena	Muy Buena	Buena	Muy Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Excelente
Resistencia a los ácidos	Pobre	Pobre	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena	Pobre	Pobre	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Excelente

1.5.2

Table N° 2

REFRACTARIOS PLASTICOS

PLASTICOS DE ARCILLA REFRACTARIOS - FRAGUADO AL AIRE

PLASTICOS GRAFITO- ENDURECIMIENTO

Propiedades Físicas	Alta Calidad	Calidad Superior	Calidad Superior Reforzado	60% Al ₂ O ₃	70% Al ₂ O ₃	80% Al ₂ O ₃	Alta Calidad	Calidad Superior	50% Al ₂ O ₃	60% Al ₂ O ₃
Punto de fusión P.C.E °F	31 1/2 3090	33-34 3185	34 3205	36-37 3295	38 3335	40 3425	31 3060	31 3060	36 3280	36-37 3295
Temperatura límite de servicio °F	2900	3050	3100	3200	3250	3350	2900	2900	3150	3200
Temperatura de servicio recomendada °F	2600	2800	2800	3200	3250	3300	1800-2900	1800-2900	2000-3150	2000-3200
% Al ₂ O ₃ - SiO ₂	36.5-56.5	43.5-50	45-49	60-36	70-26	80-14	32.5-65	33-45	50-18	62-14
Coefficiente de expansión térmica (pul por °F)	2,9 x 10 ⁻⁶	2,9 x 10 ⁻⁶	2,9 x 10 ⁻⁶	2,9 x 10 ⁻⁶	3,6 x 10 ⁻⁶	3,6 x 10 ⁻⁶	2,9 x 10 ⁻⁶	3,5 x 10 ⁻⁶	3,6 x 10 ⁻⁶	---
Densidad g/c.c.	2,12	2,24	2,32	2,24	2,56	2,64	2,16	2,24	2,43	2,56
Conductividad térmica (A.S.T.M. C-202) (BTU/HR/ft ² / pul/°F)										
500°F	4.33	4.33	4.33	4.33			4.33	4.33		
1000	5.26	5.26	5.26	5.26			5.26	5.26		
1500	6.00	6.00	6.00	6.00			6.00	6.00		
2000	6.60	6.60	6.60	6.60			6.60	6.60		
2500										
2700										
Módulo de ruptura (PSI)										
250°F	350-400	350-400	350-400	400-500	300-400	300-350	250-300	200-400	400-500	500-600
1000	350-400	350-400	350-400	400-500	300-400	300-350	125-175	200-300	200-300	
1500	400-450	400-450	400-450	450-550			125-175	600-700	650-750	
2000	500-600	500-600	500-600	550-650	400-500	400-500	450-500	600-700	800-900	650-750
2500	650-750	650-750	650-750	700-800	400-500	400-500	600-700	600-700	600-700	750-850
2700	850-950	850-950	850-950	800-900	400-500	400-500	750-800	600-700	400-500	750-850
2910				800-900						
3000				750-850	500-600	600-700				
Resistencia a la abrasión	Buena	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Muy Buena	Buena	Buena	Excelente	Excelente
Resistencia a los ácidos	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Buena	Buena
Trabajabilidad (ASTM 181)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30	16-20	25-30	20-22	15-25	15

1.5.3

TABLA Nº 3

PROPIEDADES FISICAS	MEZCLAS APISONABLES ALTA ALUMINA							
	57% Al ₂ O ₃ Bajo en fierro	70% Al ₂ O ₃	80% Al ₂ O ₃	80% Al ₂ O ₃	90% Al ₂ O ₃	90% Al ₂ O ₃ Bajo en fierro	95% Al ₂ O ₃	Alumina Tabular
Punto de fusión	35	38	40	40				
P.C.E. °F	3256	3335	3425	3425	Aprox. 3550	3600	3650	3675
Temperatura de servicio °F recomendada	3000	3200	3300	3300	3400	3450	3500	3500
% Al ₂ O ₃ - SiO ₂	57-33	71-24	80-18	80-18	90-5	93-1	95-1	92 a 95 Alumina Tabular
Características de Endurecimiento	Unión Química	Liga Hidraulica	Liga Hidraulica	Unión Química	Unión Química	Unión Química	Unión Química	Endurecimiento por calor
Densidad g/c.c	2.56	2.72	2.80	2.80	2.88	2.88	2.88	2.88
Coefficiente de expansión térmica (IN por °F)	-----		3.6 x 10 ⁻⁶	3.6 x 10 ⁻⁶	4.2 x 10 ⁻⁶	4.2 x 10 ⁻⁶	4.2 x 10 ⁻⁶	4.2 x 10 ⁻⁶
Módulo de ruptura (P.S.I.)								
250°F	1200-1300	900-1000	1000-1100		1800-2000	1000-1200	1700-2100	
1000	1600-1700		1000-1100	1000-1100		1800-2000	2200-2600	4500-5000
1500	1600-1700			1000-1100			2600-3000	4500-5000
2000	2000-2100	1000-1100	1300-1400	1000-1100	3200-3400	3200-3400	3400-3600	2500-3000
2500	3600-3700	1200-1300	1700-1800	1000-1200	3000-3200	3600-3800	3800-4200	2000-2500
2700	2700-2800	1100-1200			1200-1400	4000-4200	3800-4200	
3000			1600-1700	1200-1300			3800-4200	2500-3000
Resistencia a la abrasión	Excelente	Muy Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Resistencia a ácidos	Buena	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

1.5.4.

Tabla N.º 4

PROPIEDADES FISICAS DE LOS LADRILLOS AISLANTES.

PROPIEDADES FISICAS	CLASIFICACION									
	1600°F	2000°F	2300°F	2600°F	2800°F	3000°F	3200°F	3300°F Ladrillos de alta densidad expandida	Zirconia Fundida Aislante	Aislantes de Silica
Densidad (g por cm ³)	0.30-0.47	0.46-0.73	0.50-0.78	0.67-0.82	0.69-1.00	0.91-1.13	1.27	1.29-1.45	2.45	0.91-0.98
Peso de 9" x 4 1/2" x 2 1/2" (Kg)	0.500-0.770	0.750-1200	0.820-1.250	1.120-1.360	1.130-1.650	1.500-1.860	2.100	2.120-2.400	4.100	1.500-1.650
Porcentaje de Porosidad (%)	-----	65-80	65-75	63-73	50-70	50-65	50-64	50-67	-----	-----
Permeabilidad al aire frio en flujo (IN ³ por seg. por IN ² por IN de espesor)	-----	5.9-30.2	67-39.2	12.2-42.7	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Calor especifico medio	0.230 En 1000°F	0.245 En 1500°F	0.245 En 1500°F	0.260 En 2000°F	0.260 En 2000°F	0.260 En 2000°F	0.270 En 2400°F	0.320 70-2550°F	0.175 2000°F	0.270 2000°F
Coefficiente medio de expansión (IN por IN por °F)	2.5 x 10 ⁻⁶ En 1000°F	2.65 x 10 ⁻⁶ En 1500°F	2.65 x 10 ⁻⁶ En 1500°F	2.5 x 10 ⁻⁶ En 2000°F	2.5 x 10 ⁻⁶ En 2000°F	3.1 x 10 ⁻⁶ En 2000°F	3.3 x 10 ⁻⁶ En 2000°F	-----	5.0 x 10 ⁻⁶ En 2400°F	Igual que los de alta densidad silica
Conductividad térmica (BTU por Hr por ft ² por IN espesor por °F)	0.95-1.63 En 1000°F	1.28-2.10 En 1500°F	1.43-2.20 En 1500°F	2.82-3.20 En 2000°F	2.60-3.60 En 2000°F	3.6-4.1 En 2000°F	4.5-5.5 En 2400°F	5.0-7.0 En 2400°F	5.0 En 2800°F	5.5 En 2000°F
Módulo de ruptura lb por IN ²	40-100	75-140	80-155	100-350	150-450	175-300	450-750	150-450	300	160-200
Deformación bajo carga soportada en 1 1/2 hr de prueba con 10 PSI de carga	-----	0.0% En 2000°F	0.0-0.3% En 2000°F	0.3-0.5% En 2200°F	0.4-0.5% En 2400°F	0.4-0.5% 2600°F	0.5-2.0% En 2600°F	0.0-0.7% En 2800°F	-----	-----
Compresión en plano (PSI)	50-110	90-160	100-210	150-450	350-900	400-750	1000-1600	350-1300	-----	150-200
Resistencia a la abrasión	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
Resistencia a la corrosión	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Resistente a las escorias ácidas en contacto con carbón
Resistencia al choque térmico	Generalmente Bueno	Generalmente Bueno	Generalmente Bueno	Generalmente Bueno	Generalmente Bueno	Generalmente Bueno	Generalmente Bueno	Bueno	-----	Bueno arriba 1200°F
Temperatura máxima recomendada en la cara caliente	Expuesto a 1600°F menos de 2000°F	2000°F	2300°F	2600°F	2800°F	3000°F	3200°F	2800°F 3300°F	4000°F soportan propiamente	3000°F

NOTA.- Refractarios aislantes cuyas propiedades físicas están alistadas aquí, son usadas para resistir temperaturas y actuar como aislantes. Estos refractarios son clasificados primeramente en grupos -- por la temperatura que soportan en la cara caliente. Estos grupos -- son 16, 20, 23, 26, 28 y 30. Cuando multiplicamos por 100 el número de grupo, da la temperatura recomendada. Los refractarios aislantes son livianos y porosos; el peso incremental y la porosidad decrece como en número de grupo aumenta. Cuando

se usa en estructura de hornos, los refractarios aislantes dan gran capacidad para almacenar el aire debido a su bajo peso y a que reducen la pérdida de calor debido a su baja conductividad térmica. Estos valores no se aplican a los producidos por una compañía en especial ya que es un concenso de varias o tomando valores más comunes.

CAPITULO II MATERIAS PRIMAS

2.1 Descripción general.

La materia prima básica es la arcilla, que es un silicato de aluminio. La fórmula general es: $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2H_2O$, generalmente no se encuentra en forma pura; sus impurezas dependen del lugar de origen y las principales son: Fe, Ca, Mg, Ti, etc.

Los materiales arcillosos tienen su origen en la descomposición de los feldspatos, que son silicoaluminatos de sodio y potasio ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ y $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) afectados por el intemperismo.

2.1.1 Clasificación de los materiales arcillosos:

Caolín	{	Caolinita
		Haloisita
		Nacrita
		Dicrita
		Anauxita
Minerales arcillosos - Monthorillonitas	{	Bentonitas
		Hectorita
		Atapulgita
Monosilicatos de aluminio	{	Kyanita
		Andalucita
		Silimanita
Ilita	{	Muscovita

Las arcillas pueden ser primarias o residuales (formadas en el lugar de origen y son estacionarias); Secundarias o sedimentarias (han sufrido un traslado y por consiguiente

se sometieron a lavados, siendo más plásticas y con menor contenido de sílice.

2.2 Yacimientos de Caolín y arcillas refractarias en México.

Los yacimientos de caolín y arcillas refractarias de México se encuentran distribuidas principalmente en los siguientes estados: Guerrero, Chihuahua, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí y Zacatecas.

En casi todos estos lugares se encuentra comunicación y medios de transporte, que facilitan las explotaciones, gracias a los caminos vecinales que ligan los yacimientos con las carreteras y vías ferreas.

Los depósitos de caolín generalmente se asocian con rocas riolíticas que se encuentran ampliamente distribuidas.

En otros casos, los depósitos de caolín se encuentran en forma de mantos (cuando los fenómenos de alteración se han efectuado totalmente); y en otros, aparecen en formas irregulares, según los lugares y grados de descomposición de las riolitas, de la que depende también la calidad del material.

Se puede encontrar grandes volúmenes de caolín impuro, dentro de los cuales se explotan pequeñas cantidades de gran pureza, utilizados en la fabricación de loza fina de porcelana. Ya que los lugares donde existe caolín son numerosos, se estima que las reservas son de gran potencial para la fabricación de refractarios.

Generalmente las explotaciones de caolín se realizan al menor costo posible mediante rebajes a cielo abierto o por obras subterráneas de poca importancia.

Los ladrillos silico- aluminosos están elaborados por mezclas de arcillas y caolines; crudos, cocidos y molidos, con diferentes propiedades.

2.3 Materiales útiles para el refractario de Tesis.

Una ayuda importante para el logro del refractario - fué la comunicación constante con los exploradores, mineros en pequeño, pastores, campesinos, todos ellos que deambulan por las montañas y son de suma importancia para el hallazgo de los yacimientos. Ellos me proporcionaron gran cantidad de materiales y los lugares donde fueron encontrados.

A continuación presento los materiales útiles con sus propiedades:

2.3.1 Material A del Estado de Guanajuato.

En la región denominada Silao, Guanajuato se encuentra un yacimiento del tipo plástico, muy útil para la fabricación del refractario. Consta de buena capacidad refractaria y liga.

Los resultados de las pruebas realizadas para obtener sus propiedades son:

	Muestra I	Muestra II	Muestra III
Densidad g/c.c.	1.79	1.73	1.82
Porosidad %	23.00	33.20	28.52
Absorción %	18.00	17.30	16.21
Módulo de ruptura (psi)	973	840	970
P.C.E.	31	20	30 1/2
Contracción %	6.20	3.25	4.00

Análisis Químico:

SiO ₂	50.57 %
Al ₂ O ₃	38.50
Fe ₂ O ₃	0.93
TiO ₂	0.13
CaO	2.21
MgO	1.19

2.3.2 Material B de Villa de Allende, Estado de México.

En el lugar mencionado se encuentra una zona de arcilla sedimentaria tipo plástico y su potencial es basto para trabajarse varios años.

Los resultados de las pruebas realizadas para obtener sus propiedades son los siguientes:

	Muestra I	Muestra II	Muestra III
Densidad g/c.c.	1.88	1.90	1.92
Porosidad %	23.00	22.00	19.35
Absorción %	12.00	10.30	11.25
Módulo de Ruptura (psi.)	800	725	815
P.C.E.	30 1/2	30	30 1/2
Contracción %	12.00	10.30	9.30

Análisis Químico:

SiO ₂	58	%
Al ₂ O ₃	34	
Fe ₂ O ₃	2.0	
TiO ₂	2.0	
CaO	1.0	
MgO	1.0	
Alcalis	2.0	

2.3.3 Material C del Estado de Hidalgo.

En el lugar denominado Alfayucan, Estado de Hidalgo se encuentra una arcilla en un yacimiento potencialmente explotable.

Del análisis realizado obtuve un alto contenido de fierro y sílice, además, el P.C.E. es bajo. Por los resultados anteriores el material es catalogado como un fundente y como de liga.

Los resultados de las pruebas realizadas son :

	Muestra I	Muestra II	Muestra III
Densidad g/c.c.	1.80	1.83	1.80
Porosidad %	22.00	25.00	23.10
Absorción %	13.00	12.00	9.00
Módulo de Ruptura (psi.)	600	550	490
P.C.E.	13 1/2	14	14
Contracción %	3.0	2.72	4.26

Análisis Químico :

SiO ₂	63.77 %
Al ₂ O ₃	21.69
Fe ₂ O ₃	6.75
CaO	0.59
MgO	0.65
P.P.C.	5.52

2.3.4 Material D del Estado de Zacatecas.

En la región de San José de los Ranchos, municipio de Sombrerete Zacatecas se encuentra un yacimiento de Caolín de buena calidad. Las reservas de este material podrán ser explotadas durante unos 50 o 60 años.

Como se podrá apreciar por los análisis de este material la aplicación para el refractario es óptima ya que su contenido de alúmina es alto, su contenido de fierro es bajo y en todas las muestras analizadas presenta una gran uniformidad en sus componentes químicos.

Los resultados de las pruebas realizadas son :

	Muestra I	Muestra II	Muestra III
Densidad g/c.c.	1.90	1.88	1.82
Porosidad %	25.72	30.40	27.30
Absorción %	15.28	16.00	14.32
Módulo de Ruptura (psi.)	372	400	415
P.C.E.	34	33 1/2	34
Contracción %	5.1	4.72	6.80

Análisis Químico :

SiO ₂	48.10	%
Al ₂ O ₃	43.60	
Fe ₂ O ₃	1.05	
TiO ₂	1.52	
CaO	0.84	
MgO	0.37	
Na ₂ O	0.23	
K ₂ O	0.15	
P.P.C.	6.14	

2.3.5 Material E del Estado de San Luis Potosí.

En el lugar de Santa Teresa, municipio de Ahululco, San Luis-Potosí se encuentra un yacimiento de Caolín de buena calidad. Este yacimiento tiene una capacidad de 200 000 tons. aproximadamente y, está siendo actualmente explotado por una compañía que lo vende en estado natural.

Los resultados de las pruebas practicadas son los siguientes:

	Muestra I	Muestra II	Muestra III
Densidad g/c.c.	1.85	1.73	1.84
Porosidad %	38.20	29.30	33.10

Absorción %	23.20	25.10	24.11
Módulo de Ruptura (psi.)	150	201	183
P.C.E.	34	33 1/2	34
Contracción %	5.23	6.10	5.31

Análisis Químico :

SiO ₂	49.3 %
Al ₂ O ₃	42.0
Fe ₂ O ₃	0.5
TiO ₂	1.0
CaO	0.3
MgO	0.4
Na ₂ O	0.3
K ₂ O	0.2
P.P.C.	7.1

2.3.6 Material F del Estado de Guanajuato.

Este material fue encontrado en un yacimiento situado en el municipio de Comonfort, Delegación de Nautla, Estado de Guanajuato.

También hay otro yacimiento (que ya mencionamos) en Silao, dentro del mismo Estado.

De Celaya a Comonfort existe una carretera perfectamente pavimentada, con una distancia de 20 km; de Comonfort a Nautla, 8 km, con camino de terracería transitable en todo el tiempo; y de Nautla a las minas, hay una distancia entre 3 y 7 km. Los caminos son perfectamente transitables en época de secas.

De las zonas exploradas en este Estado se tomaron varias muestras a las que se les determinó propiedades, encontrándose que son yacimientos de tipo caolinítico residual muy plástico y de buena liga.

Los resultados de las pruebas efectuadas son los siguientes:

	Muestra I	Muestra II	Muestra III
Densidad g/c.c.	1.85	1.80	1.78
Porosidad %	27.50	30.00	33.60
Absorción %	15.20	13.00	17.32
Módulo de Ruptura (psi.)	400	280	471
P.C.E.	32	32	32
Contracción %	5.0	7.0	7.5

Análisis Químico:

SiO ₂	51.50 %
Al ₂ O ₃	36.15
Fe ₂ O ₃	0.93
TiO ₂	0.11
CaO	1.61
MgO	0.80
Na ₂ O	0.18
K ₂ O	0.12
P.P.C.	8.03

2.3.7 Materiales calcinados G y H.

Material G.- Es el material D calcinado, con las siguientes - propiedades:

Densidad g/c.c.	2.45
P.C.E.	34

Análisis Químico:

SiO ₂	53.8 %
Al ₂ O ₃	46.5
Fe ₂ O ₃	1.35
CaO	0.65

Material H.- Es el material E calcinado, con las siguientes propiedades:

Densidad g/c.c. 2.33

P.C.E. 34

Análisis Químico:

SiO ₂	53.1 %
Al ₂ O ₃	45.75
Fe ₂ O ₃	0.40
CaO	0.38

2.4 Clasificación de los materiales del refractario de acuerdo a sus características físicas.

Clave	Yacimientos localizados en:	Tipo de arcilla
A	-Silao, Guanajuato	Plástica
B	-Villa de Allende, Edo. de México.	Plástica
C	-Alfayucan, Estado de Hidalgo.	Semiplástica
D	-San José de los Ranchos, Municipio de Sombrerete, Zacatecas.	Caolín
E	-Santa Teresa Ahululco, San Luis Potosí,	Caolín
F	-Municipio de Comonfort, Región de Nautla, Gto.	Semiplástica
G	-Obtenido a partir del material D calcinado.	Grög
H	-Obtenido a partir del material E calcinado.	Grög

CAPITULO III MANUFACTURA DEL REFRACTARIO

3.1 Propiedades que se deberán obtener en el refractario.

El paso siguiente para obtener nuestro refractario es la de terminación de la mezcla , debe llevar los requisitos que, de acuerdo a la clasificación del A.S.T.M. lo cataloga como calidad superior, el cual debe tener propiedades muy características que serán alcanzadas por la combinación adecuada de las materias primas seleccionadas y tratadas en el tema anterior.

Las propiedades que deberán ser alcanzadas de acuerdo a la recopilación de especificaciones presentadas por las diferentes compañías productoras y al A.S.T.M. citadas en la tabla No. 1 son las siguientes :

Material Calidad Superior

Equivalente al cono pirométrico o punto nominal de fusión. D.G.N. C-126 68	33-34 (3123-3169°F)
Densidad en g/cm ³ Prensado	2.25-2.45
Densidad en g/cc Quemado	1.90-2.10
Peso de un cuerpo 9"x 4 1/2" x 2 1/2"	3.410-4.100 Kg.
Porcentaje de porosidad	7.0-20.0 %
Permeabilidad a aire frio	Moderada a alta
Calor específico medio	0.25-0.26
Coefficiente medio de expansión IN/IN°C	5.10 x 10 ⁻⁶
Conductividad térmica	10-11(en 2400°F)
Módulo de ruptura lb/IN ²	1000-3000 psi (en 70°F)
Resistencia a la deformación bajo carga % D.G.N. C-14-59-7	0.5-7.0 % (en 2640°C)

Compresión en plano (psi)	1500-4000
D.G.N. C-14-59-9	(en 70°F)
Cambio lineal permanente %	1.00-1.0E
D.G.N. C-124-63 (1600°C)	
Prueba de disgregación	2 - 4 %
D.G.N. C-14-59-5 (1650°C)	
Pérdidas en peso %	
Absorción de agua	12 - 15
D.G.N. C-14-59-7 %:	
Resistencia a la abrasión	varia.
Resistencia a la corrosión	varia
Resistencia al choque térmico	buena
Máxima temperatura recomendada en cara caliente	2600-2700°F
Análisis Químico:	
Sílice	52.0 - 55.0 %
Alúmina	41.0 - 45.0 %
Oxido de fierro	1.05- 2.50 %
Oxido de calcio	0.50- 1.00 %
Oxido de magnesio	0.00- 0.50 %
Oxido de titanio	1.20- 2.20 %
Alcalis	0.50- 1.50 %

3.2 Tamaños de las partículas

La manufactura de los refractarios con propiedades específicas depende enormemente del tamaño de las partículas en las arcillas semiplásticas, plásticas, caolines, y en los grogs, todos ellos como ingredientes de una mezcla.

Las propiedades del refractario serán afectadas directamente por su granulometría final, principalmente en su resistencia mecánica, su resistencia a los cambios de temperatura, su densidad y su porosidad.

3.2.1 Tipos de cribas que se utilizan en la clasificación por tamaños.

Algunas manufacturas se están llevando a cabo en forma eficiente separando las partículas de las materias primas, por medio de tamizados, para obtener diferentes fracciones de material y combinarlas en las mezclas de pesos definidos y obtener la distribución de tamaños en por ciento deseado.

Para la clasificación y separación por tamaños se utilizan cribas o mallas, las cuales constan de un número de espacios contenidos en una pulgada lineal; lo que determina el número de criba. Las cribas están construidas de alambres de diferentes calibres formando cuadrados de diferentes tamaños por donde se detienen los granos que se necesitan separar.

En la tabla siguiente se presentan las cribas y sus características:

Designaciones		Dimensiones Nominales		
Standar de la National Bureau	Tyler	A.S.T.M. Aertura de la malla en mm.	Aertura de la malla en Pulg. IN.	Diámetro del alambre mm.
4		101.6	4.00	6.30
3 1/2		90.5	3.50	6.08
3		76.1	3.00	5.08
2 1/2		64.0	2.50	5.50
2		50.8	2.00	5.05
1 3/4		45.3	1.75	4.85
1 1/2		38.1	1.50	4.59

1 1/4		32.0	1.25	4.23
1		25.0	1.00	3.80
7/8		22.6	0.875	3.50
3/4		19.0	0.750	3.30
5/8		16.0	0.625	3.00
1/2		12.7	0.500	2.67
7/16		11.2	0.438	2.45
3/8		9.5	0.375	2.27
5/16		6.35	0.312	2.07
1/4	2 1/2	8.00	0.250	1.82

Número de Malla	Tyler	A.S.T.M. Aertura de Criba en microns	Aertura de Criba en Pulg.	Diámetro del alambre
3 1/2	3 1/2	5660	0.223	1.68
4	4	4760	0.187	1.54
5	5	4000	0.157	1.37
6	6	3360	0.132	1.23
7	7	2830	0.111	1.10
8	8	2380	0.0937	1.000
10	9	2000	0.787	0.900
12	10	1680	0.0661	0.810
14	12	1410	0.0555	0.725
16	14	1190	0.0469	0.650
18	16	1000	0.0394	0.580
20	20	841	0.0331	0.510
25	24	707	0.0278	0.450
30	28	595	0.0234	0.390
35	32	500	0.0197	0.340
40	35	420	0.0165	0.290
45	42	351	0.0139	0.247

50	48	297	0.0117	0.215
60	60	250	0.0098	0.180
70	65	210	0.0083	0.152
80	80	177	0.0070	0.131
100	100	149	0.0059	0.110
120	115	125	0.0049	0.091
140	150	105	0.0041	0.076
170	170	88	0.0035	0.064
200	200	74	0.0029	0.058
230	250	63	0.0025	0.044
270	270	53	0.0021	0.037
325	325	44	0.0017	0.030
400	400	37	0.0015	0.025

3.2.2 Cribas más usadas.

En la actualidad se ha generalizado el uso de cribas en los números 4,6,10,28,48,65.

Los tamaños de los granos más usados en las industrias productoras son: los que se detienen y pasan a través de las mallas-6,8,10, para los gruesos. Para los materiales intermedios (no hay gruesos) las mallas 14,20,35. Para la separación de materiales finos, las mallas 100,150,325.

3.2.3 Tipos de moliendas y sus especificaciones.**

Tipo de molienda	% De contenidos sobre las mallas				
	Mallas <u>6</u>	<u>10</u>	<u>28</u>	<u>65</u>	<u>Plato (-65)</u>
6/F	trazas	23-33	38-48	18 máx.	5-10
8/F	0.0	10-18	45-46	18-22	5-20
10/F	0.0	5-10	55-70	20 máx.	10-20
	Mallas <u>6</u>	<u>10</u>	<u>14</u>	<u>48</u>	<u>Plato (-48)</u>
14/F		trazas	5 máx.	30-40	65-55
20/F		0.0	0-1.5	40-50	45 min.

Los materiales D,E,G,H serán molidos en el tipo 8/F por ser duros.

Los materiales A,B,C,F serán molidos en el tipo 14/F por ser bofos.

** Recopilación de datos obtenidos en las moliendas de las compañías productoras.

3.2.4 Determinación de la mezcla del refractario de tesis.

Toca ahora la operación de mezclar los distintos ingredientes para encontrar la fórmula del material refractario propuesto. Este paso es importante ya que de él depende qué mezcla cumple con el condensado de propiedades presentado en la tabla No. 1.

Para llegar a la fórmula se calcula el análisis real de cada ingrediente por balance de materia.

Posteriormente, de cada mezcla se hizo refractarios en pequeño (barritas quemadas), a los que se les determinó sus propiedades. De la selección de mezclas obtuvimos tres que cumplían con especificaciones de análisis químico y variando en una o más propiedades, excepto una. Las mezclas se presentan a continuación:

	Material	Tipo de molienda	% En la mezcla del ingrediente.
Mezcla I	G	(M-8/F)	40 %
	E	(M-8/F)	22.5 %
	C	(M-14/F)	2.5 %
	F	(M-8/F)	22.5 %
	A	(M-14/F)	12.5 %
Mezcla II	H	(M-8/F)	40 %
	E	(M-8/F)	20 %
	B	(M-14/F)	2.5 %
	F	(M-8/F)	25 %
	A	(M-14/F)	12.5 %
Mezcla III	H	(M-8/F)	40 %
	E	(M-8/F)	20 %
	C	(M-14/F)	5 %
	F	(M-8/F)	20 %
	A	(M-14/F)	15 %

Análisis químico del material ya calcinado.

Materia prima.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO
A	50.57	38.50	0.93	0.13	2.21	1.19
B	53.0-58.0	26.0-34.0	1.0-2.0	1.0-2.0	0.5-1.0	0.5-1.0
C	63.77	21.69	6.75	1.03	0.59	0.65
D	48.10	43.60	1.05	1.52	0.84	0.37
E	44.5-49.3	37.5-42.0	1 May	1-2	0.3 May	0.40
F	51.40	36.15	0.93	0.11	1.61	0.80
G	53.20	46.10	0.30	0.11	0.20	0.10
H	53.30	45.05	0.40	0.22	0.30	0.13

Materia prima	Alcalis	P.P.C.
A	0.20	6.3
B	1-2	8-13
C	0.32	5.22
D	0.38	6.14
E	0.50	6-7 %
F	0.30	8.03
G	0.15	

3.2.4.1 Balance de materia de las mezclas -
propuestas (Mezcla I, II y III).

Mezcla I

Balance de materia.	G 40 %	E 22.5 %	C 2.5 %	F 22.5%	A 12.5%	Análisis químico teórico.
SiO ₂	21.40	11.00	1.59	11.58	6.32	51.89%
Al ₂ O ₃	18.60	9.45	0.54	8.13	4.81	41.89%
Fe ₂ O ₃	0.12	0.22	0.16	0.20	0.11	0.81%
CaO	0.08	0.01	0.01	0.36	0.27	0.73%
MgO	0.04	0.09	0.01	0.18	0.14	0.46%
TiO ₂	0.04	0.45	0.02	0.02	0.01	0.54%
Alcalis	.12	0.11	0.0	0.06	0.02	0.31%

Mezcla II

Balance de materia.	H 40%	E 20 %	B 2.5 %	F 25 %	A 12.5%	Análisis químico teórico.
SiO ₂	21.32	9.86	1.45	12.87	6.32	51.82%
Al ₂ O ₃	18.02	8.40	0.85	9.03	4.81	41.11%
Fe ₂ O ₃	0.16	0.20	0.05	0.23	0.11	0.75%
CaO	0.12	0.06	0.02	0.40	0.27	0.87%
MgO	0.04	0.08	0.02	0.20	0.14	0.48%
TiO ₂	0.08	0.40	0.05	0.02	0.01	0.56%
Alcalis	0.05	0.10	0.05	0.07	0.02	0.29%

Mezcla III

Balance de materia.	H 40 %	E 20 %	C 5 %	F 20 %	A 15 %	Análisis químico teórico.
SiO ₂	21.32	9.85	3.18	10.30	7.58	52.23%
Al ₂ O ₃	18.02	8.40	1.08	7.23	5.77	40.50%
Fe ₂ O ₃	0.37	0.20	0.10	0.13	0.13	0.93%
CaO	0.08	0.08	0.20	0.32	0.33	1.01%
MgO	0.05	0.08	0.03	0.16	0.17	0.49%
TiO ₂	0.08	0.40	0.05	0.02	0.01	1.05%
Alcalis	1.06	0.07	0.01	0.06	0.03	0.23%

3.2.4.2 Selección de las mezclas propuestas en base a propiedades obtenidas.

El principal objetivo es, dar una idea de las propiedades - que cada mezcla proporciona en una manufactura a nivel de laboratorio y, de las propiedades obtenidas seleccionar la mezcla que mejor cumpla con las normas fijadas.

El experimento consistió:

Se tomó una muestra de 1.800 Kg. de cada una de las mezclas, haciéndose 5 barritas de cada mezcla con un peso de .350 Kg. a la mejor densidad de prensado (mayor presión que soporta el material sin laminarse).

Cada muestra se colocó en un molde de 5 1/2" x 1 1/2" x 1 1/2" se colocó una tapa para cerrar el molde y, se somete a una presión de 700 lb/IN² a 800 lb/IN² en una prensa hidráulica con carátula como indicador.

Se desmonta la barra, se mide, se seca, se quema nuevamente se mide y se tiene lista para iniciar la determinación de sus propiedades.

Las propiedades obtenidas están en el siguiente resumen tabulado.

Propiedades	Especificaciones	Mezcla I	Mezcla II	Mezcla III
% Humedad		Máximo 7.50	8.00	8.50
		Mínimo 5.70	6.30	8.00
		Promedio 6.60	7.15	8.25
Densidad g/c.c. de Prensado 2.25-2.45		Máximo 2.32	2.22	2.20
		Mínimo 2.32	2.15	2.14
		Promedio 2.32	2.185 x	2.17 v
MATERIAL QUEMADO:				
% Porosidad aparente 7-28		Máximo 23.00	26.00	28.00
		Mínimo 20.90	25.00	25.50
		Promedio 21.95	25.50	26.50
% Absorción de Agua 12-15		Máximo 13.25	14.28	14.92
		Mínimo 11.82 x	13.02	12.78
		Promedio 12.53	13.65	13.85
Densidad g/c.c. 1.90-2.10		Máximo 2.16	2.00	1.90
		Mínimo 1.90	1.88 x	1.86 x
		Promedio 2.03	1.94	1.88
Módulo de Ruptura lb/IN ² 1000-3000		Máximo 1200	1250	1320
		Mínimo 1095	1180	1005
		Promedio 1147	1215	1162
% Contracción Lineal 1600°C 1.0C-1.0E		Máximo 1.02 C	1.08C	1.5 C
		Mínimo .91 C	0.77C	1.2 C
Cono Pirométrico 33-34 Equivalente (ORTON)		Máximo 34	33	33 x
		Mínimo 33	33	32 1/2
		Promedio 33 1/2	33	32 1/2
Análisis Granulométrico				
Sobre Malla 6	0.0	0.0	0.00	0.00
Tyler 10	5-10	10.40	6.28	4.91
	20	33.10	30.05	27.82
	65	14.28	14.78	16.40
	-65	35-45	42.22	48.67
% Alúmina	41-45	43.20	41.92	39.72
% Sílice	52-55	54.28	54.02	56.75

(65)

Como se podrá observar la mejor mezcla es la número uno, la cual se estudiará con más detalle basado en el A.S.T.M. y en la Dirección General de Normas de la S.I.C. para la determinación de sus propiedades.

3.3 Descripción del Proceso para la Elaboración y manufactura del refractario.

Las etapas que se llevan a cabo en la fabricación de los refractarios son los siguientes:

- Explotación de los yacimientos y clasificación de los materiales arcillosos por sus propiedades.
- Trituración o quebrado de los materiales.
- Calcinación para la formación de grogs.
- Molienda.
- Clasificación de la molienda por tipos de arcillas y cao - lines y sus tamaños de granos.
- Mezclado.
- Formado de piezas refractarias
- Secado
- Quemado
- Selección
- Embarques

Descripción del proceso:

-La clasificación de los materiales arcillosos en base a su capacidad refractaria, al análisis químico, su plasticidad, etc. es necesario conocerla previamente para catalogar de qué tipo de materiales se trata. También la localización de los yacimientos es muy necesario saberla para estimar el costo de explotación y la transportación a la planta.

La explotación de los materiales puede ser a cielo abierto o por excavación, y la transportación podría ser por bandas si la planta está cerca; por camiones o, por ferrocarril.

Afortunadamente para el refractario en tema, los ingredientes de la mezcla se encuentran localizados en zonas a donde existen vías de comunicación inmediatas; y los yacimientos ó necesitan de rebajas a cielo abierto o, por obras subterráneas de poca importancia.

Como se recordará, los materiales de la muestra se encuentran localizados en los Estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo y Estado de México, donde existen vías de comunicación accesibles.

3.3.1 Trituración o quebrado de los materiales.

Con esto empieza el proceso en planta.

Los materiales que requieren de quebrado son el D, E, F, G, H. - por ser duros y rocosos, es necesario romperlos antes de entrar al proceso de molienda.

Las masas de arcillas blandas como son A y B y C se pasan a través de quebradoras de simple rodillo que con rapidez parten los trozos en partículas medianas lo suficientemente pequeñas para necesidades del proceso.

Las quebradoras de quijada y giratorias se utilizan adecuadamente para romper los materiales D, E, G y H. Únicamente, los

otros materiales como son A,B, y C formaron masas que se adhieren a las quijadas y dificultan la operación.

3.3.2 Molienda

Dentro de los molinos más importantes usados en esta operación se encuentran, el molino tipo chileno y el molino de bolas -- que son utilizados para la clasificación por tamaño de los materiales (A,B,C,D,E,F,G y H).

El molino tipo chileno consiste en un plato colocado en posición horizontal donde el material es alimentado, y dos pesadas -- ruedas de acero descansan sobre el plato giratorio triturando el material que se encuentra debajo de ellas. La posición de la cama no expuesta directamente bajo las ruedas es normalmente combinada por rejillas, de manera que el material triturado puede pasar a través de ellas permitiendo una operación continua.

Con objeto de obtener moliendas muy finas se usa el molino -- de bolas, el cual produce partículas de 12 micras de tamaño. Los materiales que pueden ser tratados para obtener un pulverizado -- son G y H y así enriquecer más la relación de finos.

3.3.3 Clasificación de la molienda.

En general es necesario clasificar los materiales molidos -- porque solamente partículas de tamaño determinado pasarán al mezclado; normalmente esta operación se hace por medio de zarandas -- sobrepuestos, los cuales permiten separar la molienda.

Para materiales abajo de malla 60 se hace por medio de separadores de aire y la clasificación que se tiene con ellos es bastante satisfactoria ya que se pueden manejar materiales abajo de malla 200 y aún más finos.

Para obtener la granulometría del material G,H (M-8/F) se utilizó las mallas 6 y 8/F; el material que quedó sobre la malla 6 -- se regresó de nuevo a molienda y, para los materiales en (M-14/F) como son el A,B y C se utilizó la zaranda con las mallas 10 y 14/F haciendo la misma operación anterior.

3.3.4 Mezclado.

La operación de mezclar distintos ingredientes de la fórmula de un ladrillo refractario tiene gran importancia en el proceso de fabricación lo cual se refleja en la calidad y presentación del producto terminado.

Esta operación se lleva a cabo en una mezcladora de plato giratorio y removedores verticales, aquí los materiales que caen de las tolvas básculas son totalmente homogenizados.

El mecanismo es el siguiente para la mezcla I, II y III :

Primero, agregar los materiales gruesos como son G (M-8/F), posteriormente E (M-8) y F (M-8) después, agregar parte de agua y empezar a agregar los materiales finos como son A(M-14), C(M-14) hasta total homogenización. Al variar este mecanismo se forman grumos de considerable tamaño.

En la práctica se ha demostrado que este tipo de mezcladora es la más eficiente ya que no se produce segregación en el material mezclado lo cual es apreciable hasta el prensado, por lo tanto, la operación del mezclado debe controlarse rigurosamente para evitar grandes desechos después del prensado, lo que reduce la productividad y aumenta los costos.

Después de haber sido mezclados los materiales, pasan a un elevador de canjilones los cuales, descaragan la mezcla en una banda transportadora que la hace pasar a través de un homogenizador de martillos, posteriormente, la mezcla pasa a otras bandas que la conduce a las tolvas para mezclas de donde se pasa al proceso de moldeado.

3.3.5 Formas de manufactura de piezas refractarias.

Existen fundamentalmente dos métodos de moldeo, que son:

- Moldeado manual
 - Prensado mecánico
1. Prensado en seco
 2. Extruído

3.3.5.1 Moldeado manual

Este método se aplica generalmente cuando la pieza refractaria tiene una forma complicada y no puede ser elaborada en el molde de una prensa, o, cuando tiene un volumen fuera de lo corriente y para poder prensarla se necesitaría una prensa de grandes dimensiones. También se selecciona este método de moldeo cuando el número de piezas a elaborar es tan reducido que no justifica la fabricación de un molde costoso para prensarlos mecánicamente.

3.3.5.2 Prensado en seco.

En el proceso de prensa seca para la fabricación de ladrillo refractario se le da a la arcilla consistencia y fuerza mecánica, con un contenido de humedad que varía entre el 6 y 10 %. Esto se logra por una prensa del tipo de palanca y puede prensar 4 ladrillos standar a la vez, la presión es de 400 Kg /cm² y la producción en un turno de 8 horas es de 10,000 ladrillos.

El proceso de prensa seca es muy usado, se estima que el 70% de los refractarios de arcilla Alúmina-Sílice, cromita y magnesieta se obtienen por este proceso.

3.3.5.3 Extruido

En este proceso los porcentajes de humedad van de 14 hasta un 16 % y se utilizan máquinas extruccionadoras o galleteras con cámara de vacío para su elaboración. En estos equipos se vierten los materiales previamente mezclados y el agua hasta darle consistencia necesaria, la masa plástica obtenida pasa por una cámara de vacío para extraerle todo el aire posible y, es comprimida por un tornillo sin fin, para salir, por lo general, en forma de barra continua por una boquilla de forma rectangular. La barra obtenida es cortada automáticamente o manualmente con alambres de acero, logrando de esta forma la elaboración de ladrillos con dimensiones apropiadas para ser reprensadas en prensas mecánicas o hidráulicas para darle la forma definitiva a la pieza refractaria. Por este método se obtienen ladrillos de muy baja porosidad, propiedad

muy codiciada en los refractarios para los hornos de vidrio y metalúrgicos. Sin embargo, los ladrillos obtenidos presentan poca resistencia a los cambios bruscos de temperatura, a causa de las líneas concéntricas de tensión que sufre la pasta en la extruccionadora, las cuales no se disminuyen en el prensado.

Como conclusión de los distintos métodos de prensado, podemos afirmar que la resistencia mecánica aumenta proporcionalmente con la presión del prensado, por lo tanto, el método de prensado es más recomendable para la elaboración de refractarios.

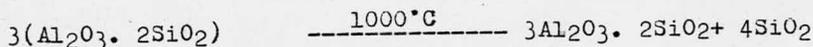
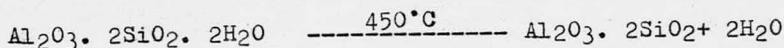
3.3.5 Secado.

Al salir de las prensas los ladrillos tienen una humedad que es demasiado elevada para someterlos inmediatamente a la cocción sobre todo cuando se trata de productos moldeados por un método húmedo. Cuando los ladrillos recién moldeados se llevan a los hornos donde el incremento de temperatura es bastante elevado, la humedad del material es convertida rápidamente en vapor, y al escaparse, en la masa que lo encierra se producen grietas y rajaduras. Por estas causas es preciso secar previamente las piezas formadas hasta llevarlas a un contenido mínimo de agua, preferentemente entre 0.5 y 1 % de humedad. Esto puede lograrse de varias formas utilizando el propio calor de los hornos, ya sea el emitido por radiación a través de las paredes o, como es más efectivo, empleando los gases de combustión. Estos gases o aire caliente se conducen a cámaras periódicas o continuas en las que se encuentra el material húmedo y se controla la temperatura de secado de 60 a 120°C ; además de ser rápido el secado, se obtienen muestras con un contenido de humedad menor de 0.5 % .El tiempo de secado varía con el tamaño del ladrillo, generalmente oscila entre 24 y 72 horas

3.3.7 Quemado.

Una de las etapas más importantes en la manufactura de refractarios es, sin duda alguna, el proceso de quemado ya que en él la arcilla cruda es profundamente alterada y transformada a una masa consistente y vitrificada.

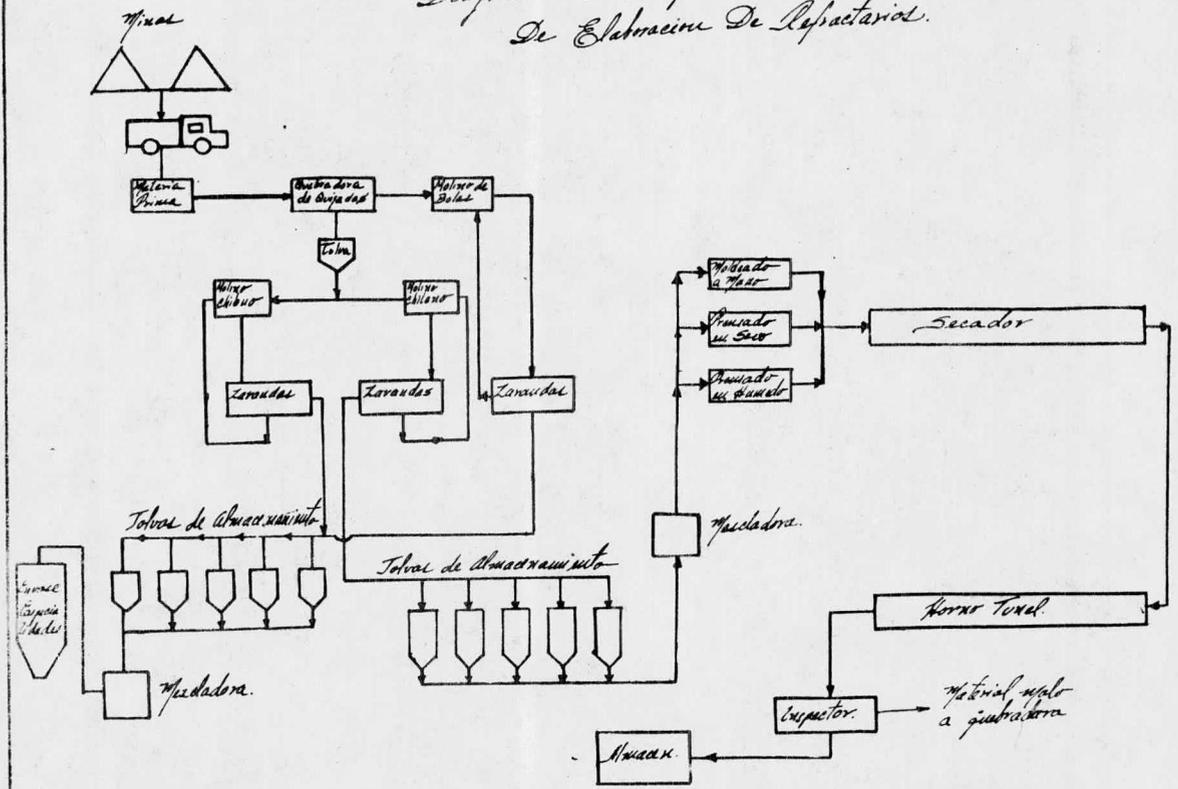
Todas las arcillas usadas en la industria del ladrillo refractario a base de sílico-alúmina sufren las siguientes reacciones a las temperaturas indicadas:



Las arcillas cuando se calientan comienzan a desprender el agua que se encuentra adherida a sus diminutos cristales como humedad; a los 110°C queda eliminada en su totalidad. A medida que se prosigue el calentamiento las arcillas comienzan a desprender el agua combinada químicamente, o sea, los iones OH que forman parte de la molécula de arcilla. Este desprendimiento se acentúa más a partir de los 450°C y el agua de composición es totalmente eliminada entre 550°C y 650°C según la naturaleza de la arcilla y las condiciones en las que se realiza el experimento. Este desprendimiento de agua constituye una reacción endotérmica la cual finaliza a los 585°C . La reacción exotérmica que se produce a los 995°C es originada por la recristalización de la metacaolinita.

Durante el quemado de los ladrillos refractarios entre los 400 y los 600°C se produce una contracción producida por la pérdida de agua de composición, este fenómeno no es uniforme en to

Diagrama De Bloques De un Proceso De Elaboracion De Refractarios.



da la masa del ladrillo, ya que su superficie se encuentra a mayor temperatura que el núcleo, sobre todo a las temperaturas inferiores de 1000°C. Todo esto significa que la velocidad de quemado no debe exceder los límites normales practicados en la industria.

Los hornos usados para el quemado de los ladrillos son -- periódicos o continuos tipo tunel. Los hornos periódicos tienen la ventaja de ser de bajo costo, pero, presentan varias desventajas tales como poca economía en el combustible, baja seguridad, desigualdad de temperaturas cuando la carga es apilada muy alto y disgregación térmica del ladrillo debido al repetido calentamiento y enfriamiento.

Los hornos continuos tipo tunel consisten en cámaras largas en la cual se mantiene una temperatura constante que va aumentando gradualmente por zonas, desde el principio hasta tres cuartos de su longitud, donde la temperatura empieza a descender nuevamente.

Las principales ventajas de estos hornos son:

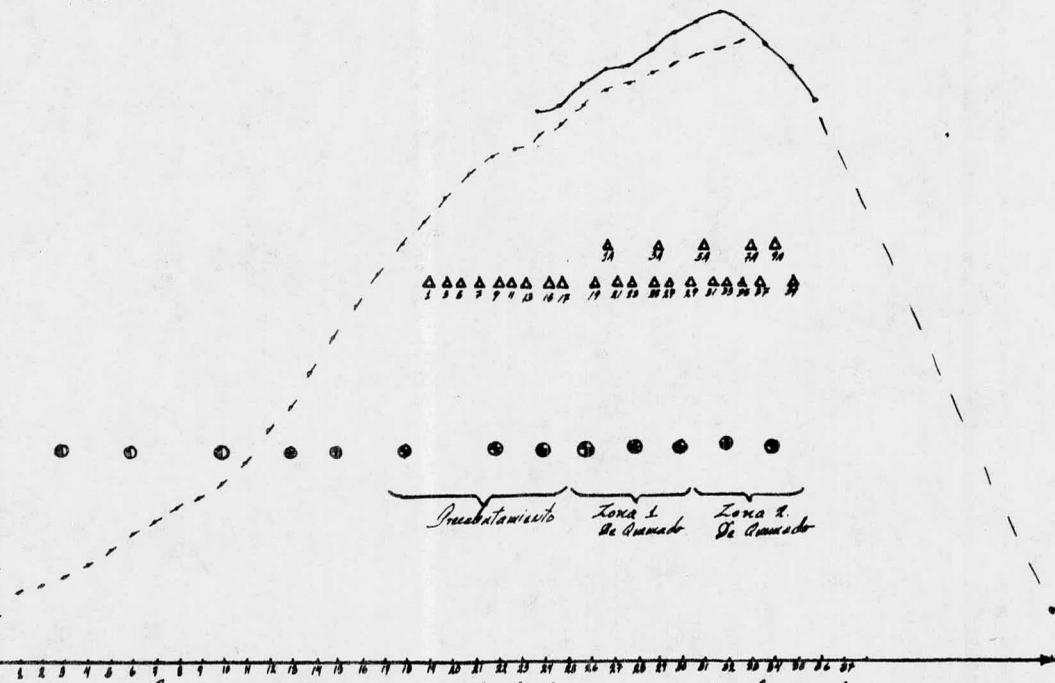
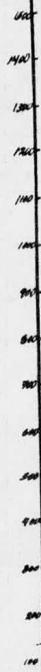
- 1.- Permiten una producción continua con un mínimo de trabajo normal.
- 2.- Las temperaturas permanecen constantes en cada zona -- del horno.
- 3.- Disminución en el tiempo de quemado.
- 4.- Mayor economía en comparación con el periódico.

°C

Quemado a 90 minutos de permanencia

Cruce 12-13-14

Temperatura
Quemadores



Gráfica del secado y quemado del refractario en un secador y horno continuo

087709

Este tipo de horno tiene tres zonas que son de precalentamiento, quemado y enfriamiento rápido, como podemos observar en la siguiente gráfica del quemado del refractario.

Normalmente el tiempo de permanencia total dentro del horno es de 50 a 100 horas y la producción varía de acuerdo con la velocidad del carro donde son transportados los ladrillos a través del horno. La velocidad estándar es de 15 pies/hr y se obtienen hasta 25 000 ladrillos por día.

3.3.8 Inspección, selección y embarque.

El trabajo a desarrollar en inspección se puede resumir de la siguiente manera: Periódicamente se inspeccionan todos los procesos de manufactura tales como prensas secas, moldeado manual, salida de las piezas de los hornos. Se debe revizar que los productos cumplan con las especificaciones requeridas como: medida, peso, densidad, etc..Las piezas no deben de estar despostilladas ni rajadas, deben presentar un buen aspecto. Las piezas que no cumplen con lo anterior son marcadas como buenas y malas.

El producto malo se puede utilizar como materia prima, así el producto seleccionado está asegurando que es de buena calidad

Embarque.- Una vez seleccionado el material, es colocado en empaques especiales o colocado en tarimas listo para ser enviado al cliente.

El refractario puede ser tratado en todas las formas de manufactura como son el prensado en seco, prensado en húmedo, moldeado a mano, el limitante en cada caso será el volumen de producción, la forma de la pieza refractaria y su dificultad. Así, para cada caso unicamente se adapta la mezcla en lo que respecta a su trabajabilidad (variando la granulometría y humedad).

CAPITULO IV DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DEL REFRACTARIO.

Para determinar las propiedades del refractario es necesario hacerlo como lo estipula las normas del A.S.T.M. y la Dirección - General de Normas de S.I.C. para ello es necesario hacer los ladrillos de 9" x 4 1/2" x 2 1/2" de la mezcla I y quemarlos a la temperatura óptima, la cual resultó del equivalente de P.C.E. (cono pirométrico equivalente) que es como 13-14

4.1 Equivalente al cono pirométrico.

(D.G.N. C-126-68 A.S.T.M. C-24

La refractabilidad es la propiedad de los materiales de soportar elevadas temperaturas. Esta propiedad está íntimamente ligada en su concepto con las temperaturas de ablandamiento y fusión de los materiales, así como deformación bajo carga y cambio de volumen a temperaturas elevadas.

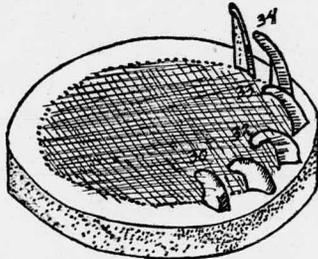
Los valores del cono pirométrico equivalente son una medida relativa de los puntos de ablandamiento de los materiales refractarios bajo tiempo y temperatura controlada, pero no dan ninguna información respecto a la temperatura máxima que resistan. Generalmente la temperatura de servicio es mucho menor a la del P.C.E

Preparación de la muestra.- las muestras de tabique tomadas adecuadamente se fragmentan (procurando que sea menor de 1/4") y se toman proporciones del centro, parte inferior, etc. Se procura que el peso sea de unos 300 gramos, posteriormente se muelen en el molino holandés hasta malla 200.

Manufactura del cono.- de las muestras preparadas se hacen los conos sobre una superficie adecuada y limpia. Se toman de 5-10 gramos de muestra y se mezclan con un ligador orgánico libre de álcolis (goma arábiga, goma de traganto o dextrina) hasta obtener consistencia de pasta y poder moldear el cono sobre un molde especial. Posteriormente se secan sobre una placa calentada por un mechero durante 30 min. quedando listos para enterrarse en una pla-

ca circular de álumina y caolín junto con los standares, la profundidad es de $15/16$ " dándoles una inclinación de 82° respecto a la horizontal.

Para nuestra muestra se colocó una placa con los conos pirométricos Orton de 30,32,33,34.



Los resultados obtenidos de la mezcla son satisfactorios dando un cono de $32 \frac{1}{2}$ que queda dentro de las normas fijadas.

4.2 Cambio lineal permanente.

Los ejemplares de prueba consisten en tres ladrillos de 229 x 114 x 64 mm., cada uno de los ladrillos se marca con pintura cerámica en tres partes diferentes en cada dimensión del ladrillo largo, ancho y grueso, antes y después de quemado a 1600°C. Estas medidas pueden ser hechas por un calibrador de bisagra y una regla de acero con una aproximación de 0.5 mm.

La forma de colocación de las piezas en el horno y operación del horno es especial con el fin de no causar anomalías en las piezas.

La fórmula para el cálculo del % de cambio lineal es:

$$L = \frac{L_o - L_f}{L_o} \times 100$$

L_o = Longitud original

L_f = Longitud final

Medidas originales			Medidas finales				
Largo mm.	Ancho mm.	Grueso mm.	Largo mm.	Ancho mm.	Grueso mm.		
229.0	114.0	64.0	228.5	113.5	63.5		
229.0	114.0	63.5	228.0	113.0	64.0		
229.0	114.0	63.0	227.5	113.0	64.0		
Promedio:							
229.0	114.0	63.50	228.0	113.16	63.83	1.0	0.43% C

Resultado de los tres ladrillos calculados de la misma manera:

Especificaciones	Ladrillo No.	% Contracción lineal
	1	0.43 C
1.0 C - 1.0 E	2	0.62 C
	3	0.57 C

Los resultados quedan dentro del rango de especificación.

4.3 Deformación bajo carga.
(D.G.N. C-176-68 y A.S.T.M. C-16-41)

Para los ladrillos de sílice y básicos la refractabilidad se mide bajo el concepto de deformación bajo carga y para todos los refractarios determina la resistencia a la deformación o ruptura cuando se someten a compresiones especificados de carga a una temperatura determinada durante cierto tiempo. El factor que se toma es de 1.76 Kg/cm² que debe soportar el ladrillo en la cara de ancho por grueso, teniendo como resistencia todo lo largo del ladrillo, que será deformado bajo una temperatura de 1650°C.

La prueba consiste en un mínimo de dos ladrillos de 22.9 x 11.4 x 6.4 cm. que son colocados en un horno que proporcione calor en forma uniforme y en el que no pegue directamente la flama sobre las muestras y, al mismo tiempo, se les coloca pesos sobre las muestras hasta dar la carga calculada.

Las muestras se deben medir antes y después de ser tratadas para calcular el % de deformación como sigue:

	Muestra 1	Muestra 2
Mezcla I		
Ancho original	114.00	114.00
	114.00	113.50
	<u>113.50</u>	<u>113.50</u>
Promedio	113.83	113.66
Grueso original	63.50	63.50
	64.00	63.00
	<u>63.50</u>	<u>63.50</u>
Promedio	63.66	63.33
Area original	(113.83)(63.66)=72.46 cm ²	(113.66)(63.33)= 71.98 cm ²

Carga por cm ²	(72.46cm ²)(1.765 Kg/cm ²)= 72.46cm ²	(71.98cm ²)(1.765 Kg/cm ²)= 71.98cm ²
Carga total	127.89Kg.	127.89Kg.
Longitud original	22.90 22.90 <u>22.85</u>	22.85 22.85 <u>22.90</u>
Promedio	22.88	22.86
Longitud final	22.84 21.42 <u>20.90</u>	22.80 21.90 <u>21.32</u>
Promedio	21.72	22.00
Diferencia	1.16	0.86
% Deformación bajo carga,	5.06	3.76

Promedio

Especificación General.	8-13	4.41% Resultado abajo de los límites de especificaciones pero es resultado - bueno.
-------------------------	------	---

4.4 Disgregación y choque térmico.

En los hornos, la variación de las condiciones de servicio ocasionan debilitamiento y desgaste en el refractario, debido - al choque térmico y a la disgregación de tipo térmica, mecánica y estructural.

La disgregación térmica es causada por esfuerzos que resultan de la desigualdad de la razón de expansión o contracción, dentro del mismo refractario.

Los refractarios que tienen mayor resistencia a la disgregación térmica son aquellos que tienen un promedio bajo de expansión térmica, que están libres de inversiones de cristales y cuya textura es resistente a la flexibilidad y a la revelación de esfuerzos.

La disgregación mecánica generalmente es causada por el rápido secamiento del ladrillo. Los materiales que son más resistentes a este tipo de disgregación son aquellos que se vuelven piropásticos a las temperaturas de operación.

La disgregación estructural es causada por cambios mineralógicos dentro del mismo cuerpo del refractario, debido al calor o, a la influencia de los contenidos de los hornos a altas temperaturas.

Estas alteraciones traen como consecuencia el cambio de volumen del refractario, el aumento de sensibilidad al cambio de temperatura o, a zonas que tienen diferentes características de expansión.

Los refractarios de alta pureza y aquellos que tienen baja permeabilidad son los más resistentes a la disgregación estructural.

Para estudiar estos fenómenos se emplean muestras de prueba en ladrillos rectangulares de 9 x 4 1/2 x 2 1/2 (pulgadas).

Estas muestras se colocan en tal forma que el panel de prueba sea no menor de 18 IN², de manera que, la parte expuesta al calor sea la superficie de 9 x 2 1/2 .Cada muestra se marca con pintura cerámica del lado opuesto a la parte que va a ser probada y, anotando el peso de una aproximación de 0.05 lb .El panel de prueba se rellena con caolín refractario a menos que otra cosa se especifique. Las juntas no deben ser mayores de 1/16. El panel de prueba se aísla y se coloca en forma especificada. En seguida se procede a calentar el panel en un horno de precalentamiento con un ciclo determinado. Posteriormente, el panel se coloca frente al horno de choque térmico, en seguida, se le aplican los choques térmicos por calentamiento durante el tiempo y la temperatura especificada y enfriados rápidamente por rociadores de ráfaga.

Se toman los pesos de los ladrillos antes y después de la prueba y se reportan.

Los cálculos son los siguientes:

Muestra No.	Peso original W _o	Peso final W _f	Diferencia W _o -W _f	% Pérdida $\frac{W_o - w_f}{W_o} \times 100$
1	3380 Kg.	3250 Kg.	130	3.84
2	3410 Kg.	3275 Kg.	135	3.95
3	3420 Kg.	3290 Kg.	130	3.80
4	3370 Kg.	3245 Kg.	125	3.70
5	3250 Kg.	3120 Kg.	130	4.00
6	3400 Kg.	3285 Kg.	115	3.38
7	3385 Kg.	3290 Kg.	95	2.80
Promedio				3.09 %

1	3510 Kg.	3270 Kg.	240	6.83
2	3470 Kg.	3295 Kg.	175	5.04
3	3420 Kg.	3280 Kg.	140	3.98
4	3515 Kg.	3320 Kg.	195	5.54
5	3395 Kg.	3275 Kg.	120	3.53
6	3435 Kg.	3305 Kg.	130	3.78
7	3470 Kg.	3310 Kg.	160	4.61

Promedio	4.75 %
Especificación	2-4 %
Promedio de dos p�neles	3.92 %

El resultado está dentro del límite deseado.

4.5 Módulo de ruptura.
D.G.N. C- 128- 68

Este método cubre el procedimiento para la determinación de la compresión en plano y, el módulo de ruptura para ladrillos.

La máquina de prueba puede ser cualquier máquina de compresión mecánica o hidráulica.

Se coloca una muestra plana de 9" x 4 1/2" x 2 1/2" sobre los soportes cilíndricos, los cuales deben tener una separación de 7 pulgadas entre sus centros; la carga se aplica a la mitad de la distancia del largo de la muestra. La rapidez de aplicación depende de la consistencia del material.

La fórmula para calcular el módulo es:

$$R = \frac{3 WL}{2 bd^2} \times 2.2$$

R= Módulo de ruptura lb/IN²
W= Carga total en Kg., a la cual la muestra se rompe.
L= Distancia entre soportes 7 pulgadas.

$$R = \frac{3 (1150 \text{ Kg.}) (7 \text{ pul}^2)}{2 (11.30) (6.25)^2} \times 16.4$$

b= ancho de la muestra,
en pulg.
d= grueso de la muestra,
en pulgadas.

A continuación tenemos los resultados de cinco muestras ;

No. de muestra	Ancho mm.	Grueso mm.	Carga Kg.	Módulo de ruptura Psi.
1	11.35	6.30	1410	1184
2	11.40	6.35	1230	1012
3	11.35	6.35	1270	1033
4	11.40	6.35	1395	1148
5	11.40	6.30	1340	1121

Promedio de módulos 1100

Especificaciones deseadas 1000- 3000 lb/In²

El resultado esta dentro del limite de resutados esperado

4.6. Determinación del módulo de compresión en plano.
(D.G.N. G-14-59-9)

Es la medida en determinadas condiciones de la resistencia - mecánica de un material a la ruptura por compresión y se expresa en lb/In².

La fórmula es la siguiente:

$$S = \frac{W}{A}$$

S= Resistencia a la compresión en plano.

W= Carga máxima total en lb ó en Kg. indicada por la maquina de prueba.

Sustituyendo el primer valor de los datos obtenidos de siguiente Tabla. (así se calcula los demás).

$$S = \frac{20\ 000}{(11.40) (6.35)} \times 14.2 = 3923 \text{ lb/In}^2$$

A= Promedio de las áreas superior e inferior de la muestra en In².

Los ladrillos tratados de 9" x 4 1/2" x 2 1/2" soportando la carga en la cara de 4 1/2" x 2 1/2"

Resultado de cinco muestras:

Muestra	Ancho mm.	Grueso mm.	Carga Kg.	Compresión en plano Psi.
1	11.40	6.35	20 000	3923
2	11.35	6.25	18 700	3743
3	11.40	6.35	19070	3740
4	11.40	6.30	17 615	3482
5	11.40	6.40	18 900	3678
Promedios	11.39	6.33	18 857	3213

Especificaciones deseadas 1500-4000 lb/IN²

- Los resultados arrojados se sitúan cerca del límite superior de los resultados deseados, por lo tanto, son muy satisfactorios.-

4.7 Determinación de la porosidad, permeabilidad, absorción y gravedad específica.

Durante el servicio, la habilidad de los refractarios de ser penetrados por fluidos o gases tienen bastante importancia en su duración. Un ladrillo completamente impermeable o sin poros, podría ser únicamente atacado en sus caras expuestas, mientras que un ladrillo permeable o poroso, la superficie del ataque se incrementaría.

Cuando los ladrillos refractarios no están expuestos a gases o fluidos, la porosidad y la permeabilidad no son de gran importancia en su duración, sin embargo, en muchas aplicaciones hay que tomar en cuenta estos ataques en consideración.

Permeabilidad.- es la propiedad de los materiales porosos por la cual permite el paso de gases o líquidos, bajo determinadas presiones.

Esta propiedad depende del número, diámetro, forma e intercomunicación de los poros.

El coeficiente de permeabilidad es calculado por la fórmula
Permeabilidad = $\frac{\text{Flujo x cm. de espesor del ladrillo}}{\text{área del ladrillo x presión}}$

Y se expresa como centímetros cúbicos por segundo, por cm² por cm. de espesor, por cm. de agua de presión.

Forma como se calcula la densidad, porosidad y absorción.

Se toman trozos de material de 300 gr. más o menos, se les determina el peso seco (D), el peso de la muestra suspendido - en agua (S). La muestra se sumerge en un baño de agua, el cual - deberá estar en ebullición durante un tiempo de dos horas como mínimo. No es necesario que las muestras estén en contacto con el fondo del recipiente que contiene el agua, para esto, se coloca una malla para sostener el trozo de material y así queda suspendido.

Transcurrido el tiempo se enfrían las muestras en un baño - de agua, en seguida se procede a tomar el peso suspendido por medio de un aditamento especial colocado en la balanza, el cual -- permite pesar la muestra dentro de un recipiente que contenga agua después, se le determina el peso saturado de la muestra (W) secándolo con una toalla de lino o algodón para eliminar las gotas excedentes de agua.

Las fórmulas para calcular estas propiedades son:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W - D}{D} \times 100$$

$$\% \text{ Porosidad} = \frac{W - D}{V} \times 100$$

$$\text{Densidad} = \frac{D}{V}$$

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{D}{D - S}$$

$$V = W - S$$

Tabla con los valores obtenidos de cinco muestras del refractario

No. Muestra	D Peso seco	W Peso húm.	S Peso susp.	D - S P. Seco - p. sus.	W-S Volúmen	W-D Humedad
1	356	398	217	135	181	46
2	339	369	214	125	155	30
3	344	375	218	126	157	31
4	397	443	245	152	198	46
5	356	386	223	133	163	30

Nº. Muestra	$\frac{W-D}{D}$ Absor- ción %	$\frac{W-D}{V}$ Porosi- dad %	$\frac{D}{V}$ Densidad	$\frac{D}{D-S}$ Gravedad Especí- fica.
1	12.10	24.00	1.99	2.62
2	8.80	19.40	2.18	2.71
3	9.00	19.70	2.19	2.73
4	11.60	23.20	2.01	2.61
5	8.40	18.40	2.18	2.68

Especifi-
caciones. 8.0-15.00 7.0-20.0 1.90-2.10

Como se observará los resultados obtenidos son muy satisfac-
torios para el material refractario.

4.8 Conductividad térmica.

Cuando un horno es calentado, la energía calorífica pasa a través de la estructura del refractario causando unas diferencias de temperatura entre la superficie interior y exterior de las paredes o bóvedas. Parte de esta energía calorífica es almacenada dentro de la estructura del refractario y parte de la misma pasa a través de las paredes, bóvedas y pisos, perdiéndose a la intemperie por radiación o convección. La cantidad de calor que se pierde de esta manera, en algunos casos, es importante económicamente en la operación del horno.

La habilidad para conducir el calor de los materiales refractarios varía grandemente, los factores que afectan principalmente la conductividad son: constitución química y mineral, porosidad, tamaño del poro y temperatura.

En algunos casos se requiere que la conductividad del ladrillo sea alta, para que la mayor cantidad de calor salga a través de las paredes, como en el caso de muflaz y de recuperadores de calor, pero, en la mayoría de los casos, es esencial tener una baja conductividad de calor para obtener economía de combustible, pero generalmente, la selección de refractario se hace y no se toma en cuenta este factor. Los ladrillos aislantes con sus bajas conductividades térmicas proveen un gran ahorro de calor cuando se usan adecuadamente.

En los ladrillos químicamente ligados se efectúan cambios físicos, y químicos durante el servicio, causando cambios en la conductividad térmica.

La extensión de estos cambios depende exclusivamente de la temperatura, debido al gradiente de temperatura, a través del revestimiento se forman zonas con diferentes conductividades térmicas.

El aparato con que se hace dicha determinación consta de una unidad de calentamiento (horno eléctrico), una unidad de control y una de registro (potenciámetro).

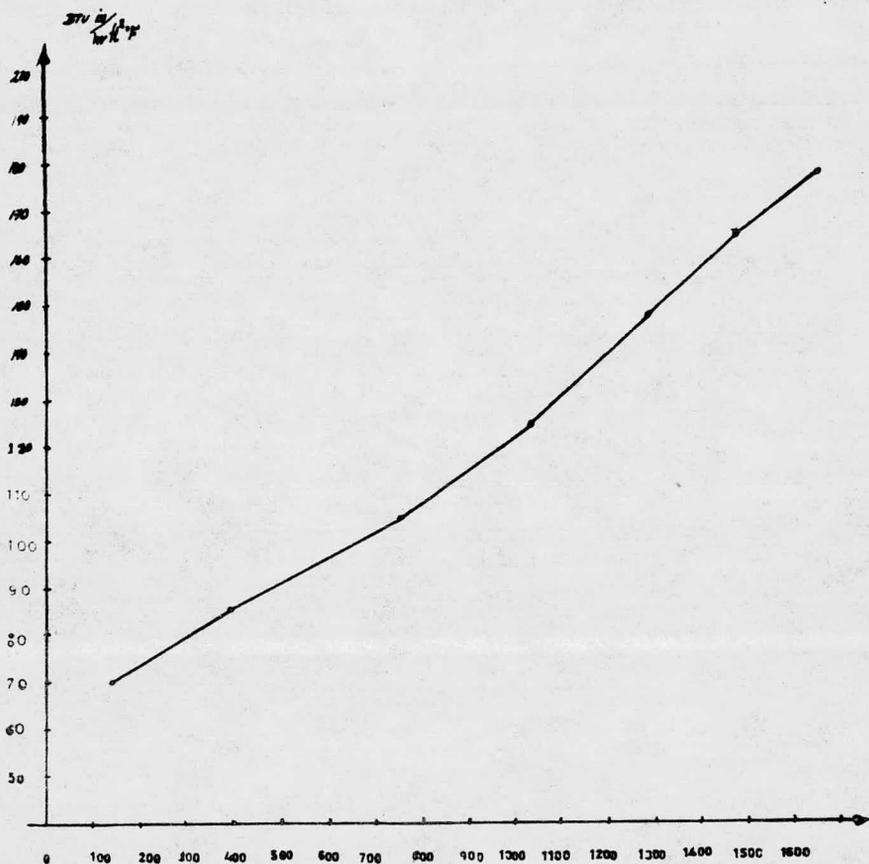


Fig. Conductividad Térmica Del Calorímetro

La unidad de control cuenta con un disco regulador o sistema de levas mediante el cual se puede seleccionar un límite y velocidad de calentamiento. La unidad de registro está dividida por un sistema gráfico y un sistema de escalas. La unidad de calentamiento es por resistencias de carburo de silicio y cuenta con un sistema de termopares que van conectados a la muestra del refractario de forma octagonal con 4.5 cm. de lado y 2.5cm. de espesor. Esta muestra se coloca en la cara del horno abajo de un calorímetro de ensamble el cual permite medir el flujo del calor a través de la muestra.

Las condiciones para medir las temperaturas de los termopares deben ser bajo un régimen permanente.

Las lecturas, que son en milivoltios, son transformadas a grados mediante la estándar de conversiones para termopares en el metal utilizado, en este caso es de PT - PT - Rd 13% .

La conductividad térmica del material se calcula de la siguiente manera:

K_s = conductividad térmica de la muestra.

K_c = conductividad térmica del calorímetro.

AT_c = diferencia de temperatura del calorímetro (termopares T_3 y T_4).

AT_s = diferencia de temperatura de la muestra (termopares T_5 y T_6).

ds = distancia entre los centros de las terminales de los termopares en la muestra (Grueso de la muestra = 1").

dc = Distancia entre los centros de los agujeros en el calorímetro = 1.2655"

$$K_s = \frac{K_c AT_c ds'}{AT_s dc}$$

Determinación de lecturas Potenciómetro Leeds S Nortrop.

No. termopar	Millivolts Leídos	Transformación atemp. °F
1	5.916	1167.8
2	5.667	1128.8
3	5.083	1035.0
4	5.007	1022.8
5	7.418	1397.0
6	6.316	1230.0
7	5.50	1102.0
8	5.57	1063.2

$$ATs = T5 - T6 = 1397.0 - 1230 = 167 \cdot F$$

$$ATc = T3 - T4 = 1035 - 1022 = 13 \cdot F$$

$$\frac{T3 + T4}{2} = 1028.5 \cdot F$$

$Kc = 137 \text{ BTU/IN/hr/ft}^2/\cdot F$ Obtenida -
de la tabla siguiente la cual es
graficada en la Fig. 1

Temperatura Promedio

°F

122
212
392
572
752
932
1192

Conductividad térmica del
calorímetro de ensamble.
 $\text{BTU/IN/hr/ft}^2/\cdot F$

78.381
84.187
95.799
107.411
116.120
127.732
145.150

$$K_c = 137 \frac{\text{BTU}}{\text{IN/hr/ff}^2 \cdot \text{F}}$$

$$d_s = 1''$$

$$d_c = 1.2655''$$

$$K_s = \frac{K_c A T_c d_s}{A T_s d_s} = \frac{137 (\text{BTU/IN/hr/ff}^2 \cdot \text{F}) \times 13 \cdot \text{F} \times 1 \text{ IN}}{167 \cdot \text{F} \times 1.2655 \text{ IN}}$$
$$= 8.427 \text{ BTU/IN/hr/ff}^2 \cdot \text{F}$$

Especificaciones deseadas _____ 10-11 BTU/IN/hr/ff²·F
Como se observa el resultado es satisfactorio.

4.9 Determinación de expansión térmica.

Cuando los ladrillos refractario se calientan se expanden, y al enfriarlos se contraen. Si no se efectuó ningún cambio permanente en la naturaleza del ladrillo durante su calentamiento, el ladrillo regresará a sus dimensiones originales cuando se enfríe. Este efecto por lo tanto, se conoce con el nombre de "Expansión Térmica Reversible".

La expansión térmica en muchos refractarios generalmente procede en una razón uniforme a lo largo de las temperaturas de operación, sin embargo, en el caso del ladrillo sílico la mayor parte de la expansión se efectúa abajo de los 300°C .

En la construcción de hornos, principalmente en los grandes, se deben dejar juntas de expansión entre los materiales refractarios. Esta junta de expansión debe ser adecuada, ya que, una junta de expansión insuficiente en algunos casos causaría disgregación o abombamiento de las paredes o arcos.

Por otro lado, una junta de expansión demasiada causaría un ablandamiento estructural, así como fugas de gases o infiltración de aire.

Para determinar la dilatación térmica lineal de los materiales, se utiliza un sistema de calentamiento para la muestra, con

un sistema de control de temperatura y un detector del cambio lineal como es el Dilatómetro.

Para determinar la expansión térmica del refractario utilice el Dilatómetro tipo 402 de la marca NETZCHE ALEMAN, el cual consta de:

a) Una unidad de calentamiento mediante resistencias eléctricas. El voltaje necesario es proporcionado por un transformador con volante.

b) Una unidad de registro de cambio de longitud de la muestra. Es una carátula graduada en milésimas de unidad (mm).

c) Una unidad de registro de temperatura que consiste en un termopar de platino conectado a un potenciómetro que indica directamente la temperatura.

Los cálculos se realizaron mediante la siguiente fórmula:

D_r = dilatación real

D_s = dilatación del sistema

D_h = valores de calibración

D_M = dilatación obtenida de las lecturas en la carátula.

$$\frac{D_r}{L_0} \times 100 = \% \text{ Dilatación}$$

A continuación se presenta la tabla de los datos y valores obtenidos:

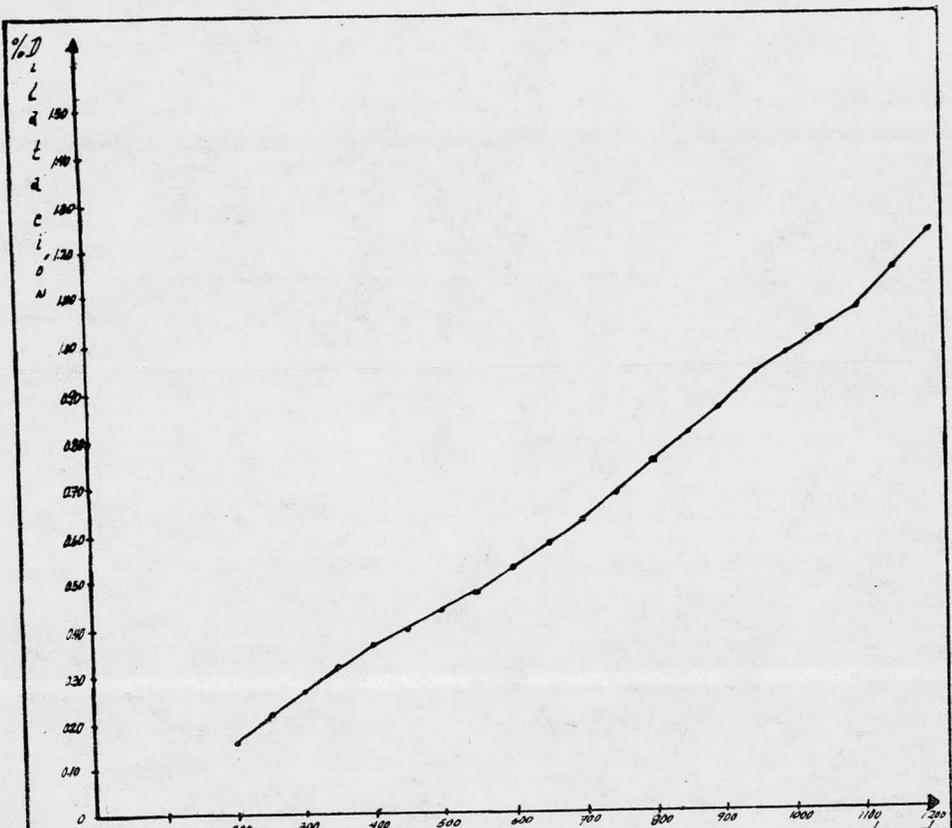
Dilatometría del refractario.

Temperatura °C	D_s	D_h	D_r	Dilatación %
150	0.0360	0.0160	0.0520	0.1090
200	0.0495	0.0250	0.0740	0.1550
250	0.0740	0.0350	0.1080	0.2270
300	0.0798	0.0460	0.1250	0.2610

350	0.1000	0.0530	0.1530	0.3190
400	0.1133	0.0580	0.1710	0.3570
450	0.1200	0.0660	0.1860	0.3880
500	0.1406	0.0710	0.2110	0.4400
550	0.1510	0.0740	0.2250	0.4690
600	0.1757	0.0810	0.2560	0.5340
650	0.1900	0.0900	0.2800	0.5840
700	0.2096	0.0975	0.3060	0.6380
750	0.2250	0.1120	0.3300	0.6900
800	0.2490	0.1200	0.3600	0.7500
850	0.2749	0.1270	0.3900	0.8200
900	0.2816	0.1330	0.4100	0.8550
950	0.3100	0.1410	0.4510	0.9400
1000	0.3204	0.1490	0.4690	0.9770
1050	0.3300	0.1650	0.4950	1.0320
1100	0.3616	0.1720	0.5330	1.1110
1150	0.3760	0.1810	0.5570	1.1610
1200	0.4030	0.1930	0.5960	1.2420

Longitud inicial de la Barrita Muestra $L_0 = 48$ mm.

-A continuación se presenta la gráfica de la dilatación del re-
fractario. Fig. 2



Grafica de la dilatación del refractario

°C. temperatura

CAPITULO V USOS DEL REFRACTARIO Y CONCLUSIONES.

5.1 Conclusiones.

Recordando lo establecido en la introducción de esta tesis , la intensión principal de nuestro trabajo era encontrar un refractario para una temperatura de servicio aprovechando materias primas nacionales y aminorar la importación de materias primas caras. Aquí se considera un aspecto técnico unicamente.

Conclusiones:

- I. El refractario será útil en la industria para un amplio-rango de servicios.
- II. Las propiedades físicas y químicas que presenta lo caracteriza como de calidad superior según el A.S.T.M.
- III. De las pruebas enérgicas a que fué sometido y de las diferentes formas y procesos en que puede fabricarse demuestran que será un excelente material refractario.
- IV. Sus propiedades características son:
 - a). Es muy resistente al choque térmico y a la vitrificación.
 - b). Presenta poca deformación bajo peso a altas temperaturas.
 - c). Es denso
 - d). Es altamente refractario, tiene un cono P.C.E. de -- 33 1/2 y estabilidad de volumen a temperaturas extremas.
 - e). Es regularmente resistente al ataque por escorias de humos y gases corrosivos.
 - f). Es penetrado medianamente por material fundido.
 - g). Su resistencia a esfuerzos mecánicos como flexiones o compresiones es buena.

5.2 Lugares de los hornos donde deberá ser colocado el refractario de tesis.

El refractario deberá ser colocado:

- En aquellos sitios de los hornos donde hay rápidas fluctuaciones de temperatura, debido a que presenta baja pérdida de peso por la disgregación térmica y por su permanencia de volumen.
- En lugares a donde los esfuerzos mecánicos no sean de consideración, ya que presenta módulos de ruptura en plano moderados. Por eso la vibración de la maquinaria cercana no debe ser alta.
- En hornos en donde no existan abrasivos fuertes.
- Puede estar expuesto al golpe de la flama y a las llamas pulsantes.

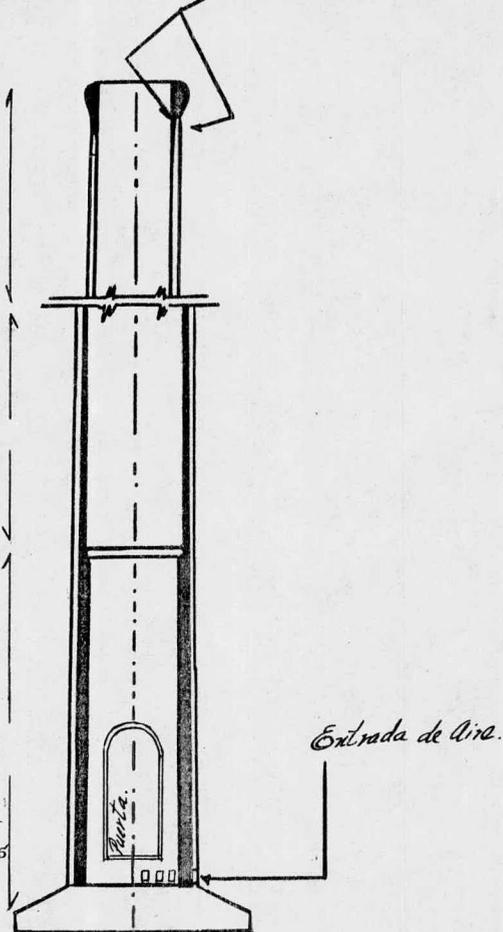
5.3 Usos del refractario en la industria. Tipos de horno donde puede instalarse el refractario de tesis:

- En hornos donde la temperatura interior es de 1450°C.
- Como revestimientos de trabajo en hornos de calentamiento.
- En el hogar de las calderas, zonas de combustión y pisos.
- Ductos de aire caliente y de gases (a donde no sufra ataque químico).
- Hornos de cerámica.
- En lugares en donde choque la flama.
- En puertas y lugares cercanos a salidas o entradas de aire.
- Techos de los enfriadores fuller, del proceso de la manufactura del cemento Portland.
- En la parte superior de las paredes de las fosas de calentamiento en la industria de acero.
- Cámaras de combustión para secadores.
- Carátulas de hornos rotatorios.
- En muflas, ...etc.

A continuación se presentan los diagramas de algunos de los hornos donde se aplica este material.

Zona de Refractorio ligero

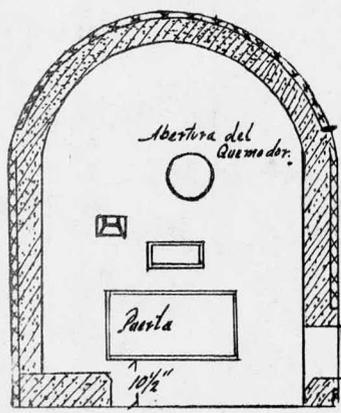
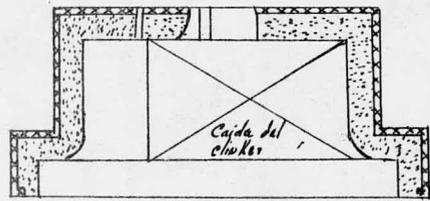
Zona de Refractorio de tesis, utilizado como revestimiento de trabajo (e.g.)
Formas rectangulares, de alas, circulares y puntas.
Refractario, sujeto a efectos mecánicos y de temperatura.



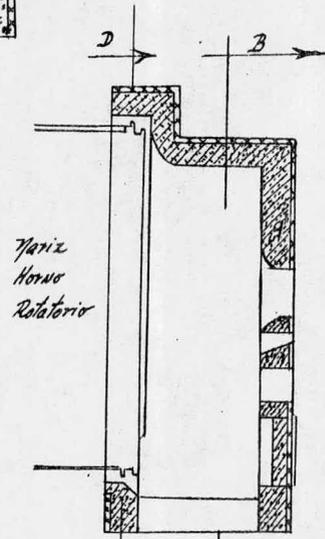
Temperatura 300°-1000°c

Altas Temperaturas en cámaras de climas

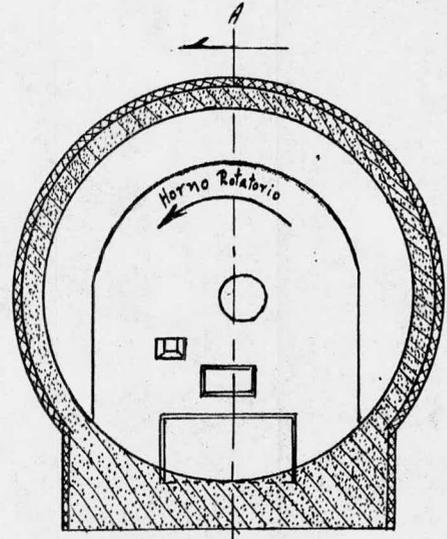
Refractario de tesis sujeta a: compresiones, flexiones, choques Termicos, ligera abrasion, ataque quimico, cambio de volumen.
 Formas utilizadas: rectangulares, dovelas, puntas, dovelas canto, dovelas salmer's etc.



Seccion B-B

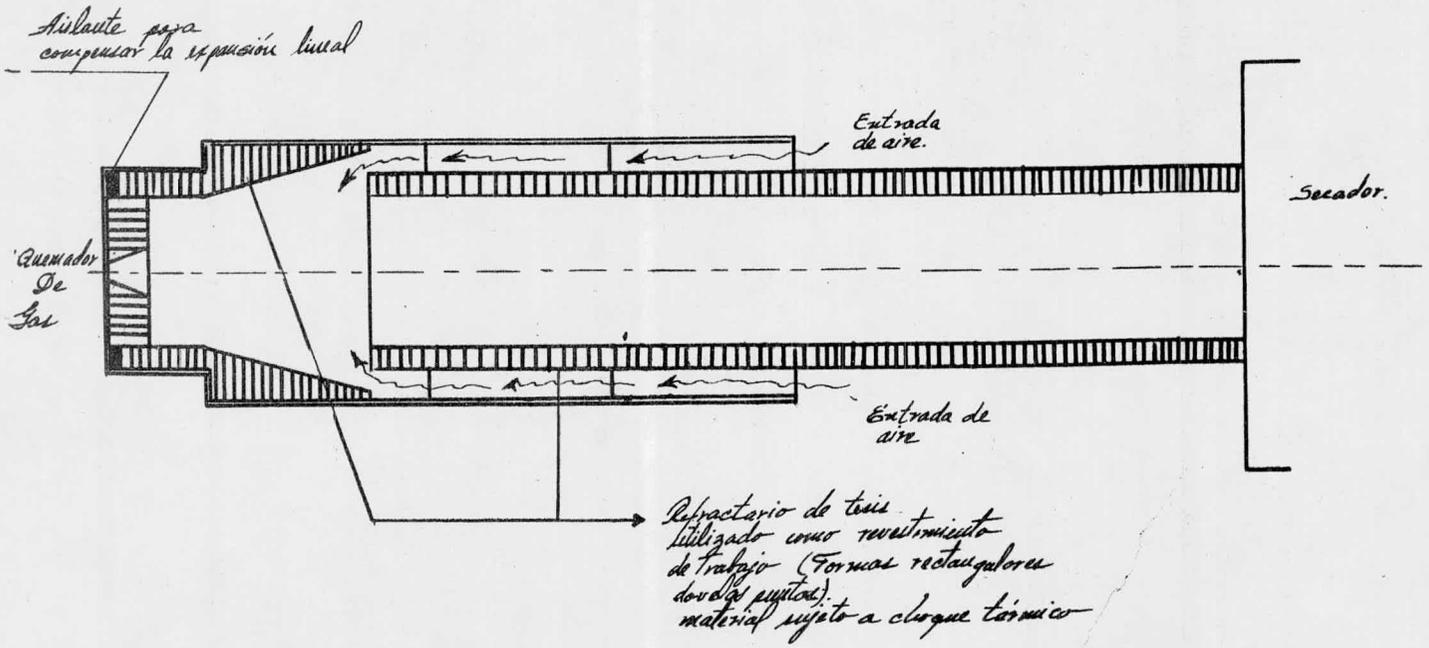


Seccion A-A

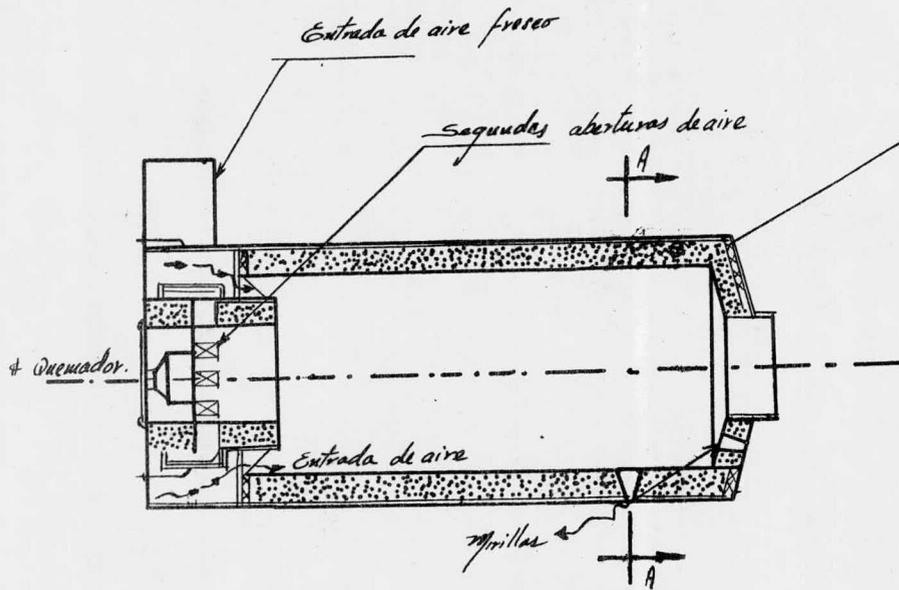


Seccion D-D

Caratula De Horno Rotatorio

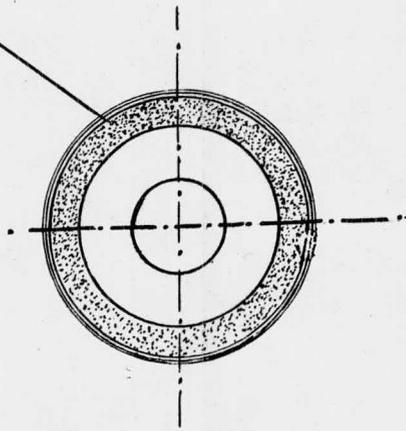


Secador De Cascara De Naranja



Sección Longitudinal.

Refractario de Tesis sujeto a:
cambios de volumen por fluctua-
ciones de temperatura, abrasión,
flexiones.



Sección A-A

Secador Directo

- ANNUAL BOOK OF A.S.T.M. STANDARDS. Part 17
Refractories glass and other ceramic -
materials: Manufactured Carbon and Gra
phite products. By American Society -
for testing and materials. Printed -
in Easton, Md., U.S.A., Library of Con --
gress Catalog Card, 1975. 529p.
- MODERN REFRACTORY PRACTICE. Copyright 1961 -
by Harbison Walker Refractories Company
Designed and printed by William Fea -
thaer Company. 4ed. Pittsburgh, Pen
sylvania.
- SEARLE, A.B. Materiales refractarios, su ma-
nufactura y usos. Philadelphia, J.B. -
Lippincott Co., 1940
- NORTON, F.H. Refractories. 3ed. New York
U.S.A., Mc. Graw Hill,
- MANUAL DE REFRACTARIOS. American Foundryme's
society. Illinois. 1964.
- FUNDAMENTOS DE CERAMICA. E.P. McNamara and
I. Dulberg 1958.
- BRAVO, JUAN MANUEL. Anteproyecto de una plan
ta de refractarios en México. Tesis -
profesional. México, U.M.A.M., 1961.