

300615
11
2eg



UNIVERSIDAD LA SALLE

**ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.**

**LA INGENIERIA CIVIL Y LA CONSTRUCCION
CON MATERIAL REFRACTARIO**

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
P r e s e n t a

Francisco Javier Alfredo Peña Ferrer

**Asesor: M. en I. Francisco Javier
Ribé Martínez de Velasco**

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

LA INGENIERIA CIVIL Y LA CONSTRUCCION CON

MATERIAL REFRACTARIO

A MIS PADRES:

DN. JUAN DE DIOS PEÑA GANOT
DÑA. BEATRIZ FERRER DE PEÑA

por todo su esfuerzo para conmigo.

A TI MAGDALENA:

más que una esposa, una excelente
compañera, amiga, pareja que me
ha apoyado en todo momento.

gracias.

especial dedicatoria a:

DÑA. JOSEFINA GUZMAN VDA. DE DAVILA.
q.e.p.d.

mujer, madre y amiga de siempre.

A MIS HERMANOS:

Laura Susana

Maria de las Mercedes

Mario Daniel

Gabriela Iratz +

Gabriel +

Nora

A MI CUÑADO FRANCISCO JAVIER

Flores Gonzalez

A MIS SOBRINOS:

Laura Gabriela

Francisco Javier

Nora Angelica

a mis familiares;

IGNACIO ENRIQUE DAVILA GUZMAN
GRACIELA DAVILA GUZMAN
ANA MARIA DAVILA GUZMAN
BEATRIZ CONCEPCION DAVILA GUZMAN

Y

HECTOR IGNACIO MAURY RUIZ
ADRIANA BASTIDAS DAVILA

JESSICA MAURY DAVILA
MELISSA GARLINTON DAVILA

AL SR. ING. JORGE FRANCISCO PLASENCIA MONTERO
SRA. MARIA DEL CARMEN FERRER LEDEZMA. (siempre querida)

A LOS PROFESORES:

ING. HUMBERTO ALESSANDRINI MORALES
LIC. SALVADOR AVILA MARTINEZ
LIC. dn. FERNANDO GUTIERREZ HAYES
LIC. PAULINA NAVA
ING. JOSE FERNANDEZ CANGAS
ING. ANTONIO SALAS G.P.
ING. FERNANDO NORIEGA
ING. JOAQUIN CHAVEZ ZUÑIGA
ING. dn. RAUL ABURTO SALDAÑA
ING. dn. JOSE LUIS SILLER FRANCO

Catedráticos que supieron, en su oportunidad orientar, estimular y apoyar a los estudiantes con verdadero amor y cariño a su misión de educadores. Así como a tantos otros profesores de los que recibí sus conocimientos.

MUY EN ESPECIAL A LOS SEÑORES PROFESORES:

DON MANUEL IBARROLA. h.LS.

e

M. en I. FRANCISCO JAVIER RIBE MARTINEZ DE VELASCO.

A TODA LA COMUNIDAD LASALLISTA.

a la Srita. Hortensia Negretti Rodríguez
(siempre estimada "NENA")

Muy en especial al;

SR. ING. RAFAEL ESCARTIN

que gracias a su apoyo se logró la
realización de este trabajo.

A LA GENERACION 1979

de

INGENIERIA CIVIL LA

MEJOR

AL ING. RICARDO PEREZ B.

E

ING. GERMAN CECIN DIEP.



Al Pacante Señor:

Francisco Javier Alfredo Peña Ferrer

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Ud., a continuación, el tema que aprobado por esta Dirección, propuso como Asesor de Tesis el M. en I. Francisco Javier Ribé Martínez de Velasco, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero Civil.

"LA INGENIERIA CIVIL Y LA CONSTRUCCION CON MATERIAL REFRACTARIO"

con el siguiente índice:

	INTRODUCCION
CAPITULO I	MATERIAL REFRACTARIO
CAPITULO II	RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION DE MATERIAL REFRACTARIO EN UN HORNO PARA CEMENTO
CAPITULO III	INSTRUCCIONES Y RECOMENDACIONES DE INSTALACION DE MATERIAL REFRACTARIO
CAPITULO IV	OTRAS APLICACIONES Y CAMPOS
	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFIA
	ANEXO I

Ruego a Ud., tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

ATENTAMENTE
"INDIVISA MANENT"
ESCUELA DE INGENIERIA

México, D.F., a 10 de Enero de 1995

M. en I. FRANCISCO JAVIER RIBE
MARTINEZ DE VELASCO
ASESOR DE TESIS

ING. EDMUNDO BARRERA MONSIVAIS
DIRECTOR

UNIVERSIDAD LA SALLE

BENJAMIN FRANKLIN 47, TEL. 518-99-60 MEXICO 06140 D.F.

**LA INGENIERIA CIVIL Y LA CONSTRUCCION CON
MATERIAL REFRACTARIO**

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	I
CAPITULO I MATERIAL REFRACTARIO	
I.1 Antecedentes	1
I.2 Generalidades	2
I.3 Materia Prima de los Refractarios	8
I.4 Fabricación de los Refractarios	13
I.5 Especialidades Refractarias	23
I.6 Control de Calidad	24
I.7 Clasificación de los Refractarios	26
CAPITULO II RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION DE MATERIAL REFRACTARIO EN UN HORNO PARA CEMENTO	
II.1 Generalidades	31
II.2 Descripción	32
II.3 Mecanismo de Destrucción del Refractario	38
CAPITULO III INSTRUCCIONES Y RECOMENDACIONES DE INSTALACION DE MATERIAL REFRACTARIO	
III.1 Instalación con Ladrillo	66
III.2 Recomendaciones para la Instalación del Revestimiento de Hornos Rotatorios	74
III.3 Instrucciones para la Instalación y secado de Concretos Refractarios	88

III.4	Instrucciones para la Instalación y secado de Plásticos Refractarios	104
III.5	Detalles de Instalaciones Monolíticas	114
III.6	Comparación de un Revestimiento Monolítico y un Revestimiento de Ladrillo Refractario	121
CAPITULO IV OTRAS APLICACIONES Y CAMPOS		
IV.1	Antecedentes	123
IV.2	Otras Aplicaciones	123
IV.3	Otros Campos Posibles	126
CONCLUSIONES		127
BIBLIOGRAFIA		131
ANEXO I		A

**LA INGENIERIA CIVIL Y LA CONSTRUCCION CON
MATERIAL REFRACTARIO.**

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

REFRACTARIO; (del latín REFRACTARIUS), cuerpo que no se funde a Altas Temperaturas.

Presentar este tema como desarrollo de una tesis profesional tiene como principal objetivo adentrar al lector en forma sencilla en el conocimiento del Material Refractario.

Qué es un Material Refractario, de qué se compone, cómo se produce, este es el punto de partida de este trabajo. En el primer capítulo, se explica en términos simples lo que es un refractario, desde su recolección en las minas de todos los componentes de estos, hasta su terminación final, pasando por sus diferentes procesos industriales, las especialidades refractarias, el control de calidad y su clasificado.

Qué usos tiene, en el capítulo dos, se plantea la utilización de estos materiales en una forma práctica; es el revestimiento de un horno rotatorio para cemento, en éste se explica, paso a paso el proceso de instalación de los diferentes tipos de refractarios por zonas de operación y calidades en el revestido del horno. También se indican los

mecanismos de destrucción que operan en estos materiales.

En el tercer capítulo, de una manera amplia, se explica la forma de trabajar con estos productos por medio de sencillas instrucciones y recomendaciones, las que sin embargo, son totalmente indispensables para obtener el máximo rendimiento del refractario.

Para concluir, en el último capítulo se exponen los diferentes campos en los que estos productos refractarios intervienen en el presente, así como otros campos en los que se ha proyectado dar excelente servicio.

Como segundo y último objetivo, se pretende mostrar a las actuales generaciones de profesionistas y alumnos; así como a las futuras; que la Ingeniería Civil, es algo más que los grandes proyectos de infraestructura o los simples de edificación, sino que gracias a la formación académica, en la que se inculca una mentalidad práctica, objetiva, disciplinada y abstracta el educando podrá incursionar con facilidad en otras disciplinas afines a la carrera, y en otras ocasiones no, con óptimos resultados, como ya ha sido patente en la vida de la nación.

C A P I T U L O I

M A T E R I A L R E F R A C T A R I O

C A P I T U L O I

M A T E R I A L R E F R A C T A R I O

I.1	Antecedentes	1
I.2	Generalidades	2
I.3	Materia Prima de los Refractarios	8
I.4	Fabricación del Refractario	13
I.5	Especialidades Refractarias	23
I.6	Control de Calidad	24
I.7	Clasificación de los Refractarios	26

CAPITULO I

MATERIAL REFRACTARIO

I.1. ANTECEDENTES

El material refractario ha sido por más de 75 años un producto básico en el desarrollo de la infraestructura mundial.

Como su nombre lo indica el " MATERIAL REFRACTARIO ", es aquel que sirve para aislar o refractar el calor, el cual es generado por temperaturas superiores a los 1000° C., y que por tanto evita que el daño a los elementos internos y externos así como mecánicos de un horno sufran mayores consecuencias.

Al refractario lo podemos definir como un material cerámico, inorgánico, que tiene una estructura no metálica y con la característica de resistir las fuerzas destructivas que se generan en el interior de un horno (siendo éstas tanto mecánicas como químicas), en condiciones propias de trabajo, variando éstas bajo la acción común de la temperatura.

Estas fuerzas destructivas a las que nos referimos son las que constituyen realmente las condiciones de operación a las que se sujeta este material comportándose siempre de acuerdo al medio de operación.

La importancia de este material se basa, en que toda

industria que trabaje con calor, fundición o bien el de calentar materiales a altas temperaturas, tendrá por fuerza que hacer uso del material refractario, tanto para poder lograr obtener las temperaturas deseadas, así como el lograr los resultados deseados, protegiendo a su vez sus equipos mecánicos.

Se tienen refractarios para aislamiento de calor o temperaturas, así como para provocar la fundición y fusión de materiales.

En los materiales refractarios encontramos; ladrillos, concretos, morteros, arcillas, plásticos apisonables, etc., materiales que serán utilizados de acuerdo a las necesidades de uso.

La diferencia entre estos materiales refractarios y los conocidos comunmente por los constructores, son los componentes de su fabricación. Los hay con ligas o mezclas de aluminio y carbono, silicio y magnesio, etc..

Todos éstos son materiales que por lo general no son utilizados en la construcción ordinaria.

I.2 GENERALIDADES.

Un refractario es un material cerámico, inorgánico, no metálico, resistente a la fusión o a otros efectos de la alta temperatura. Aún cuando todos los materiales son suficientemente resistentes para ser usados como refractarios.

Dichos refractarios deben resistir además del calor, otras fuerzas destructivas cuando se hayan en operación tales como cambios bruscos de temperatura, ataque químico, esfuerzo bajo carga a altas temperaturas y abuso mecánico.

Los materiales refractarios tienen diferentes resistencias a las fuerzas destructivas, razón por la cual, varios tipos de refractarios son requeridos para diferentes aplicaciones.

Los refractarios en la industria con pocas excepciones son óxidos o combinaciones de óxidos de elementos químicos. Los cuales ofrecen una base para su clasificación de acuerdo a sus constituyentes químicos.

Los refractarios se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

SILICO - ALUMINOSOS
DE SILICE
BASICOS
REFRACTARIOS ESPECIALES

Estos a su vez en otros tipos por composición como se puede ver a continuación:

	Arcilla Refractaria
Silico Aluminosos	Alta Alúmina
Silice	Cromo Magnesita
Básicos	Cromo-Magnesita (pred. el Cromo) Magnesita-Cromo (pred. Magnesita)
Refractarios	Carturo de Silicio Electrofundidos de Alúmina Carbón Zircon
Especiales	

REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSOS.- Los refractarios de este grupo poseen de un 15 a 90 % de alúmina, siendo la sílice el otro componente de mayor porcentaje.

Estos materiales refractarios se subdividen a su vez en:

REFRACTARIOS DE ARCILLA, aquellos que contienen hasta un 50% de alúmina, y **REFRACTARIOS DE SILIMANITA**, procedentes de la KIANITA u otro compuesto natural que tenga alrededor de un 60% de alúmina.

Los materiales sílico-aluminosos, varían en su refractabilidad, siendo ésta directamente proporcional al contenido de alúmina, debido a su estructura mineralológica, no poseen una temperatura definida de fusión, sino que ésta se realiza en un rango de temperatura comprendida entre la fusión de la primera partícula hasta que la masa total se funde. Por eso no existe en estos materiales la tendencia a quebrarse o deformarse bajo carga en caliente. La resistencia a estos fenómenos es directamente proporcional al contenido de alúmina. Se puede decir que la mayor parte de estos materiales tienen buena resistencia al choque térmico.

LADRILLO DE ARCILLA - Es el de uso más frecuente llegando a ocupar el 70% de la producción total de refractario. Estos ladrillos son fabricados de mezclas naturales como silicatos aluminosos hidratados, arcillas y sílice libre. Se dispone de cuatro clases de ladrillos de arcilla conocidos como baja calidad, calidad intermedia, alta calidad y calidad superior. Esta clasificación se basa principalmente en su punto de fusión o equivalente al cono pirométrico de la escala Orton. Sin embargo, en algunos casos se toman en consideración algunas otras propiedades.

Ladrillos de Alta Alúmina.- Estos son fabricados a partir de materiales altamente aluminosos, tales como: Arcilla Burley y Bauxita, en combinación con arcillas. Sus características son similares a los ladrillos de arcilla, pero prácticamente en todos sus aspectos ofrecen una mayor resistencia a la destrucción. Ellos son subdivididos de acuerdo a su contenido de alúmina tales como 50, 60, y 70% de alúmina, ladrillos que son de uso más específico.

Ladrillos de Silimanita.- Poseen ventajas sobre los ladrillos de alta alúmina, de composición química similar, ya que pueden soportar mejor los ataques químicos y físicos debido a la naturaleza de los minerales usados como materia prima para su fabricación, que son la KIANITA, SILIMANITA Y ANDALUCITA.

Refractarios de Sílice.- Los refractarios de sílice contienen arriba del 95% de SiO_2 (óxido de silicio), y son fabricados de sílice pura, proveniente de depósitos naturales, con adiciones del 2% de cal para ligar a los granos de sílice. El mineral natural cuarzo, sufre cambios durante el quemado y es convertido a sus formas cristalinas conocidas como TRIDIMITA y CRISTOBALITA.

El ladrillo de sílice tiene una mayor refractabilidad que los de arcilla, muestra expansión a altas temperaturas y tiene una excelente resistencia a la deformación bajo cargas a temperaturas cercanas a su punto de fusión. Posee una buena resistencia al ataque de fundentes pero son susceptibles a quebrarse durante rápidas fluctuaciones de temperatura abajo de los 538° C.. Debido a estas características los ladrillos de sílice son ampliamente utilizados y su consumo representa cerca del 18% de todos

los refractarios conocidos.

Refractarios Básicos.- Los refractarios básicos comprenden a los productos hechos a base de magnesita u óxidos de cromo. Como un grupo los materiales básicos en contraste a los grupos de los silico-aluminosos y de sílice exhiben mucha más refractabilidad y mejor resistencia al ataque químico de escorias y de óxidos de fierro, pero tienden a romperse y quebrarse a altas temperaturas, mientras que los de óxido de cromo no se quiebran o fracturan a altas temperaturas, como los de magnesita, pero tienen una pobre resistencia a los ataques por óxido de fierro. Ambos materiales pueden ser mezclados para formar productos refractarios y de esta manera combinar sus mejores características.

Principalmente cuatro tipos de ladrillos básicos son producidos de Cromo - Magnesita (mezcla en la cual el mineral de cromo predomina) y Magnesita - Cromo, (en la cual predomina la magnesita).

Refractarios Especiales.- Los refractarios especiales incluyen los fabricados sintéticamente y otros elaborados de materiales naturales, los cuales poseen características particulares, tales como buena resistencia a la carga de alta conductividad térmica, resistencia al ataque por acción química específica, etc., los cuales determinan su uso. Estos refractarios son producidos en cantidades relativamente pequeñas, por lo que su costo es alto. El carburo de silicio, electrofundidos de alúmina, carbón, grafito y zircón; son ejemplos típicos de esta clase de refractarios.

Refractarios aislantes.- Las propiedades más importantes que deben reunir los materiales aislantes son: baja conductividad térmica, con lo cual consiguen pérdidas por conducción muy reducidas, y baja densidad, con objeto de

que el almacenamiento de calor sea pequeño. La relación entre la densidad del aislante, la conductividad y la capacidad térmica es casi lineal.

La baja densidad de éstos materiales es conseguida por aumento artificial de la porosidad. La estructura porosa de los materiales mencionados tienen un efecto decisivo sobre la conductividad térmica. Los espacios diminutos de aire que constituyen la estructura del tabique refractario aislante, tienen un valor debido a la baja conductividad del aire y por consiguiente la conductividad final del tabique es sumamente baja, y es en función de la conductividad del material sólido y de las dimensiones de los poros que forman el tabique.

Se clasifican de acuerdo a su densidad y a la temperatura de servicio como se muestra en la tabla siguiente:

GRUPO	TEMPERATURA DE SERVICIO (° C)	DENSIDAD (gr/cm ³)
16	845	0.54
20	1065	0.64
23	1230	0.77
26	1400	0.86
28	1510	0.96
30	1620	1.09
32	1730	1.52
33	1790	1.52

I.3 MATERIAS PRIMAS DE LOS REFRACTARIOS.

Ya que la fabricación de los refractarios comienza realmente con la selección de los depósitos de materia prima y recuperación de las arcillas y minerales, es vital el conocimiento de estas para tener un panorama completo del producto terminado y su desempeño.

Materiales Silico-Aluminosos. - Las arcillas forman la base más amplia en la industria de los refractarios. Ellas son : Silicatos Hidratados de Alúmina, formados por LIXIVIACION de los constituyentes alcalinos de las rocas FELDESPATICAS. Dichas arcillas varían en apariencia física, ya que se presentan en formaciones duras, de aspecto rocoso y blandas en forma de lodo.

Las arcillas en su estado natural, son clasificadas de acuerdo a sus características físicas como: CAOLINES, que son unas arcillas suaves y blandas; arcillas FLINT, son unas arcillas de aspecto rocoso y son extremadamente duras; arcillas SemiFlint, arcilla dura pero más suave que la Flint; y arcillas PLASTICAS que son suaves y maleables.

El Caolín con punto de fusión más alto que todas las demás arcillas, es usado para fabricar refractarios de alta calidad y de calidad superior. Las arcillas Flint, tienen un punto de fusión alto pero poca o ninguna plasticidad, y por lo tanto, es poca su calidad de unión, debido a su refractabilidad son el principal constituyente de los ladrillos de calidad superior. Las arcillas Semi-Flint, poseen un análisis semejante a las Flint, pero vienen siendo más plásticas en su proceso y son usadas en ladrillos de alta calidad para propósitos de liga o unión.

Las arcillas plásticas tienen relativamente bajos puntos de fusión y son usadas como un constituyente menor

para la unión de ladrillos de alta calidad y como el mayor constituyente en la producción de ladrillos de baja calidad y de calidad intermedia.

Dos son los métodos para la recuperación de Arcillas:

CIELO ABIERTO
MINAS
TRADICIONAL

En operaciones a cielo abierto, las arcillas son removidas de la tierra por explosiones y son recuperadas por palas mecánicas para ser transportadas a la fábrica.

En las minas bajo tierra, la operación es similar al de las minas de carbón y es hecho por el sistema de cuatro apelados.

La materia prima utilizada para los ladrillos de alta alúmina son: el DIASPORE, la Arcilla BURLEY y la BAUXITA, que se presentan en forma hidratada de alúmina con contenido de arcillas, sílice libre y compuestos de fierro como impurezas. Las arcillas Burley contienen más arcilla que las Diaspore, y la Bauxita contiene más agua químicamente combinada que el Diaspore. Estos materiales son usualmente obtenidos en manto abierto.

Minerales Tipo Silimanita.- Hay un sinnúmero de minerales con composición semejante diferenciándose solamente en su forma cristalina. La Andalusita es una forma diferente de cristalización de la silimanita así como también la Kianita.

Se presentan en la naturaleza como silicatos

TIPOS DE
REFRACTARIOS

MATERIAS PRIMAS

PRODUCTOS TERMINADOS

	Arcillas	Caolín Flint SemiFlint Plásticas	Ladrillos Calidad Superior Ladrillos Alta Calidad Ladrillos Calidad Intermedia Ladrillos Baja Calidad Ladrillos Acido Resistentes Morteros Plásticos Concretos
Refractarios Silico-Alúminosos	Díaspore Burley Bauxita		Ladrillos de Alta Alúmina
	Kianita		Ladrillos de Silimanita Morteros de Silimanita
Refractario de Silice	Cuarzo (Ganister)		Aposonables de Silimanita Concretos de Silimanita Ladrillos de Silice
	Mineral de Cromo		Morteros de Silice Ladrillos de Cromo Ladrillos de Cromo-Magnesita Mortero de Cromo Plásticos de Cromo Concretos de Cromo-Magnesita
Refractarios Básicos	Mineral Magnesita		Ladrillos de Magnesita Ladrillos de Magnesita-Cromo Mortero de Magnesita Aposonable de Magnesita Concretos de Magnesita-Cromo
Refractarios Especiales	Carburo de Silicio Carbón Alúmina Fundida Zircón		Ladrillos Morteros

aluminosos y se encuentran como rocas.

Todos estos materiales se descomponen en Mulita y Cristobalita al ser calentados cerca de los 1555° C. cuando son puros, y a temperaturas más bajas cuando hay presencia de impurezas fundentes.

La refractabilidad de una arcilla está dada por el contenido de alúmina (Al₂O₃) que es el compuesto que da el punto de fusión más alto, por lo que la presencia de otros materiales que tienden a bajar el punto de fusión son considerados como impurezas. El cuadro siguiente es un análisis típico de la arcilla refractaria y de las arcillas con alta alúmina. Este análisis es en base natural.

FORMULA	ARCILLA PLASTICA SEMI/FLINT		ARCILLA FLINT BURLEY/F.		2º GRADO DIASPORE	1º GRADO DIASPORE
SiO ₂	46.86 %	49.72 %	42.68 %	28.26 %	20.51 %	8.41 %
Al ₂ O ₃	32.08 %	35.28 %	38.49 %	52.59 %	59.85 %	71.69 %
Fe ₂ O ₃	2.58 %	2.17 %	1.55 %	0.81 %	0.57 %	0.42 %
CaO	0.52 %	0.36 %	0.00 %	0.05 %	0.22 %	0.28 %
MgO	1.08 %	0.36 %	0.08 %	0.32 %	0.48 %	0.15 %
TiO ₂	2.00 %	2.08 %	2.90 %	3.33 %	3.69 %	3.70 %
K ₂ O	0.37 %	0.30 %	0.49 %	0.66 %	1.49 %	0.69 %
Na ₂ O	0.73 %	0.30 %	0.28 %	0.15 %	0.72 %	0.24 %
P.P.C.	13.35 %	9.50 %	14.07 %	13.05 %	12.43 %	13.54 %
=====						
	99.57 %	100.07 %	100.54 %	99.22 %	99.96 %	99.12 %

Materiales de Alta Silice.- El más usado de los materiales de Silice en refractarios es el GANISTER comunmente llamado Cuarzo. No todos los cuarzos se emplean en esta industria ya que deben de ser de alta fuerza y buena resistencia mecánica. El punto de fusión del cuarzo

es cercano a los 1700° C. y muestra un pequeño reblandecimiento antes del punto de fusión.

Este es uno de los valores claves para su uso en refractarios, ya que éstos deben resistir cargas a altas temperaturas. La mayoría de los refractarios de Silice son hechos en ladrillos o formas especiales, pero el Ganister en algunos casos se usa para apisonar, y formar la solera o crisol de algunos hornos. Recientemente los cuarzos han sido lavados para dar un total de impurezas de 0.5 % para la fabricación de ladrillos de Silice de calidad superior.

Materiales Básicos: La Magnesita en su forma original es un carbonato de Magnesio, conteniendo óxidos de fierro y otros elementos como impurezas. Se presenta en la naturaleza como mineral, en rocas y es también obtenida del agua del mar.

La magnesita natural es usualmente extraída en minas a cielo abierto y su composición es cerca del 50% en peso de CO₂ generalmente calcinada cerca del yacimiento. las temperaturas de calcinación son del orden de 1500° C. o más, el dióxido de carbono es expulsado y la Magnesita es convertida a su forma cristalina conocida como " PENCLASE " y así en esta forma es transportada a la fabrica de refractarios para su posterior proceso.

El mineral de Cromo está formado en Espineles complejos que incluyen óxidos de Cromo, de Aluminio, de Fierro y de Magnesio, y algunas impurezas principalmente de SiO₂.

Los minerales de Cromo están ampliamente distribuidos en el mundo aunque no todos los depósitos tienen el mismo

valor refractario.

Materiales Especiales.- Como ejemplo de los materiales especiales tenemos al: Carburo de Silicio y Carburo de Zircón. El Carburo de Silicio es un refractario sintético hecho por la reacción entre el coque y la sílice en un horno eléctrico, no posee un punto de fusión definido y parece ser poco afectado por el calor cerca de los 2500° C., cuando se disocia.

Los refractarios de Carbono son producidos de la materia prima Carbón, Coque y Grafito. El grafito es utilizado en su forma natural como producto de los hornos eléctricos. Zircón, el silicato de zirconio, es un material muy refractario y es obtenido en la India y Australia, frecuentemente como un producto del mineral ILMENITA. En la actualidad también se utiliza el óxido de zirconio como material refractario.

I.4 FABRICACION DE LOS REFRACTARIOS.

Para ilustrar el proceso de los ladrillos refractarios ha sido escogida la fabricación del ladrillo Sílico-Aluminoso que es altamente representativo pues incluye prácticamente todos los métodos y maquinaria usados en la industria de los refractarios. Además de que la producción de los sílico-aluminosos representa aproximadamente un 75 % de la producción total de los refractarios.

Aunque las operaciones varían un poco en cada material refractario todos los ladrillos tienen en común tres etapas

de fabricación que son:

Preparación de las materias primas
Formación del Ladrillo
Quemado del Ladrillo

a continuación se muestra los diagramas de flujo de los procesos de fabricación de los ladrillos refractarios. (ver hoja número 15).

Fabricación de Refractarios Sílico-Aluminosos.

El proceso se puede dividir en las siguientes operaciones:

Calcinación
Quebrado y Molienda
Clasificación de la Molienda
Mezclado
Secado
Quemado

Calcinación. Es un tratamiento a alta temperatura que se le da a ciertas materias primas con objeto de expulsar la materia volátil, efectuar ciertos cambios cristalinos y causar la contracción de la materia prima, con el fin de disminuir esta contracción en el ladrillo durante su quemado. Esta operación tiene lugar en hornos periódicos o en hornos rotatorios y a la arcilla calcinada se le denomina CHAMOTA o GROG.

Particularmente a la Kianita se le calcina para que desarrolle su forma cristalina, la Mulita, sufre su expansión y así se evita en el ladrillo durante su quemado suavisándose al mismo tiempo el material, facilitándose así su molienda.

DIAGRAMAS DE FLUJO PARA LA FABRICACION DE LADRILLO REFRACTARIO

LADRILLO SILICO - ALUMINOSOS

MATERIAS PRIMAS	QUEBRADO Y MOLIENDA	QUEBRADO Y CLASIFICADO DE MOLIENDA	MEZCLADO (agua)	Moldeado a mano Prensado mecánico en humedo - Reprensado Prensado mecánico en seco.
-----------------	---------------------	------------------------------------	-----------------	---

- Arcillas
- Diaspore
- Burley
- Bauxita
- Diamita

SECADO	QUEMADO	INSPECCION	PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD	ALMACENAMIENTO	EMBARCADO
--------	---------	------------	-------------------------------	----------------	-----------

LADRILLOS BASICOS

MATERIA PRIMA	QUEBRADO Y MOLIENDA	CRIBADO Y CLASIFICADO DE MOLIENDA	Proceso ladrillos no quemados -MEZCLADO (agua) - Moldeado a alta presión - Secado	Proc. lad. quemado - Mezclado (agua) - Moldeado - Secado - Quemado
---------------	---------------------	-----------------------------------	--	--

INSPECCION	PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD	ALMACENAMIENTO	EMBARCADO
------------	-------------------------------	----------------	-----------

LADRILLOS DE SILICE

MATERIA PRIMA	QUEBRADO	Molienda en humedo (agua y cal)	Moldeado a mano Moldeado mecánico
- Cuarzo		Molienda en seco (agua y cal)	Moldeado a mano Moldeado mecánico

SECADO

QUEMADO

INSPECCION

PRUEBAS DE
CONTROL DE
CALIDAD

ALMACENAMIENTO

EMBARQUE

Quebrado y Molienda: Prácticamente todas las arcillas son quebradas antes de pasar el proceso de molienda. Las masas de arcilla blanda usualmente son pasadas a través de quebradoras simples o de doble rodillo, que con rapidez parten los trozos grandes en partículas lo suficientemente pequeñas para las necesidades del proceso.

Quebradoras de quijada y giratorias se usan para arcillas duras, rocas y Greg, no se usan para arcillas blandas que contengan humedad, porque se forman masas que se adhieren a las quijadas y dificulta la operación.

Dentro de los molinos más usados e importantes en la operación de la molienda, se encuentran el molino tipo Chileno y el de Bolas. 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 cambiada por rejillas, de manera que el material triturado pueda pasar a través de ellas permitiendo una operación continua.

Con objeto de obtener molienda de granulometría muy fina se usa el molino de Bolas el cual en operación normal produce partículas de 12 micras de tamaño.

Clasificación de la Molienda.- En general es necesario clasificar los materiales porque solamente partículas de tamaño determinado pasarán al mezclado y después al prensado. Se utilizan varios tipos de clasificación, Una criba giratoria o Trommel, se usa a menudo para clasificar materiales donde puedan aplicarse cribas de diferentes

tamaños. Se puede usar un clasificador cilíndrico con objeto de obtener un producto con combinaciones de los tamaños deseados. Otros tipos de cribas son las vibradoras operadas por peso, normalmente en estas cribas se colocan varias mallas superpuestas con objeto de clasificar el producto en varios tamaños. Las cribas cerradas se usan para materiales pulverizados que puedan volatizarse. Para materiales abajo de la malla 60 se ha encontrado que es útil emplear separadores de aire y la clasificación que se obtiene con ellas es bastante satisfactoria pudiéndose manejar materiales abajo de 200 mallas y aún más finos.

Almacenamiento: Es necesario almacenar cierta cantidad de materia prima para prevenir las posibles interrupciones. La cantidad que es necesario tener depende de la capacidad de la fábrica. Cuando son molidas arcilla o grog, es indispensable tomar precauciones para evitar la segregación en la tolva de almacenamiento. En casi todos los procesos de manufacturas es esencial tener los materiales con un buen cribado. Cuando el material cae dentro de la tolva las partículas gruesas ruedan hacia las orillas y los finos forman un cono central, por lo tanto al salir el material se presenta demasiado fino y después muy grueso. Esta segregación puede reducirse por varios métodos, uno de ellos consiste en mover el material al descargarlo para evitar la formación del cono. Otro consiste en colocar varillas verticales en la tolva para prevenir que las partículas pesadas rueden fuera de la misma. En algunos casos la arcilla se almacena en casilleros abiertos o en pisos y se transporta con la maquinaria adecuada.

Mezclado.- En esta parte del proceso son mezclados los ingredientes necesarios para las diferentes calidades

existentes. El pesado de los materiales componentes de las mezclas correspondientes a los diferentes tipos de ladrillo se hace por medio de carros báscula con capacidad aproximada de 1 a 1,5 toneladas, estos carros tienen un mecanismo en la parte inferior para poder vaciar las arcillas a las mezcladoras de tipo plato giratorio y muelas verticales con descarga hidráulica; en la mezcladora se agrega el agua y algún ácido inorgánico en caso de que la mezcla lo necesite. Después se vacía a un elevador de cangilones que la descarga a una banda transportadora que la hace pasar a través de un desintegrador de martillos donde es recogida por otra banda que la conduce a las tolvas para mezclas de donde se pasa al proceso de moldeado.

Moldeado: Es necesario que la mezcla al pasar al departamento de moldeo contenga la humedad requerida de acuerdo al proceso de moldeo a utilizar, debido a que existen fundamentalmente tres métodos de moldeo que son:

Formado a mano.

Prensado mecánico en seco.

Prensado mecánico en húmedo.

Formado a mano: 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 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 prensado mecánico. La humedad de la mezcla para este método debe de ser de un 10% a un 15%.

Prensado Mecánico: A este método corresponde el prensado en seco y el prensado en húmedo, por medio de este sistema es posible tener una alta productividad, mayor porcentaje de uniformidad en las dimensiones del ladrillo, un porcentaje menor en la porosidad y una mayor resistencia mecánica.

Prensado en seco: En el proceso de prensa seca para la fabricación de ladrillos refractarios se le da a la arcilla consistencia y fuerza mecánica con un contenido de humedad que varía entre el 5 y el 8%. Esto se logra por medio de una prensa del tipo de palanca que puede prensar 4 ladrillos estándar a la vez, la presión es de 400 Kg/cm² y la producción en un turno de 8 Hrs. es de 10,000 piezas. Con muchos materiales la presión máxima está limitada por la compresión que se le da al aire atrapado, pudiendo producir al salir, fracturas en el ladrillo, sin embargo, recientemente muchas prensas han sido equipadas con aditamentos de vacío lo cual permite extraer el aire almacenado en el molde y de esta forma se evitan las roturas.

El proceso de prensa seca es muy usado, se estima que el 70% de los refractarios de Arcilla, Cromita y Magnesita, se obtienen por este método.

Prensado en Húmedo: En este proceso, los porcentajes de humedad van de un 10 a 15% y se utilizan máquinas extrusionadoras o galleteras con cámara de vacío para su elaboración. En estos equipos se vierten los ingredientes previamente mezclados y agua, hasta darle la consistencia necesaria, la masa plástica obtenida pasa por una cámara de vacío para extraerle el aire posible y es comprimida por un

tornillo sin fin, para que salga en forma de barra continua, por una boquilla en 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, con objeto de darle la forma definitiva a la pieza refractaria.

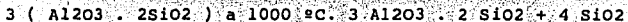
Por este método se obtienen ladrillos de muy baja porosidad muy perseguida en los refractarios para los hornos de vidrio y metalúrgicos. Sin embargo, los ladrillos obtenidos por este método, presentan poca resistencia a los cambios bruscos de temperatura, a causa de las líneas concéntricas de tensión que sufre la pasta en la extrusionadora, las cuales no se eliminan en el reprensado.

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

SECADO. - Los ladrillos al salir de las prensas tienen una humedad que es demasiado elevada para someterlos inmediatamente a la cocción, sobretodo cuando se trata de productos moldeados por el método húmedo. Cuando los ladrillos recién moldeados se llevan a los hornos donde el incremento de temperatura es demasiado acelerada, la humedad del material se convierte rápidamente en vapor y, al escaparse de la masa que lo encierra produce grietas y rajaduras, por estas causas, es preciso secar previamente las piezas formadas hasta llevarlas a un contenido mínimo de agua, preferentemente entre un 0.5 y 1.0% de humedad, ésto puede lograrse de varias formas; utilizando el propio

calor de los hornos, ya sea el emitido por radiación o 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 los que se encuentra el material húmedo y se controla la temperatura de secado entre 60 y 120 °C., además de ser rápido el secado se obtienen muestras con contenido menor de 0.5%. El tiempo de secado varía con el tamaño del ladrillo y generalmente oscila entre 24 y 72 horas.

QUEMADO.- Una de las etapas más importantes en la manufactura de refractarios es sin duda alguna el proceso correspondiente al quemado, ya que en él, la arcilla cruda es profundamente alterada y transformada a una masa consistente, en parte vitrificada. Todas las arcillas usadas en la industria del ladrillo refractario a base de sílice-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 prosigue el calentamiento, las arcillas comienzan a desprender el agua combinada químicamente, o sea los IONES OH que forman parte de las moléculas de arcilla, este desprendimiento se acentúa aún más a partir de los 450 °C., y el agua de composición es totalmente eliminada entre 550 y 650 °C., según la naturaleza de la arcilla y las condiciones en que se realice 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 cristalización de la caolinita. Durante el quemado de los ladrillos refractarios entre los 400 y los 600 °C., se produce una contracción por la pérdida de agua de composición, este fenómeno no es uniforme en toda la masa del ladrillo, ya que su superficie se encuentra a una 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 del tipo periódico o continuos tipo túnel. 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 aplicada muy alta y disgregación térmica del ladrillo debido al repetido calentamiento y enfriamiento.

Los hornos continuos tipo túnel, consisten en cámaras largas en las que se mantiene una temperatura constante que va aumentando en forma gradual 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:

- Permiten una producción continua con un mínimo de trabajo manual.
- Las temperaturas permanecen constantes en cada zona del horno.
- Disminución en el tiempo de quemado.

- Mayor economía en comparación con el horno periódico.

este tipo de horno tiene tres zonas que son:

- Precaentamiento
- Quemado
- Enfriamiento rápido

normalmente el tiempo de permanencia 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 4.5 mts/hr., y se puede obtener hasta 25,000 ladrillos por día.

1.5 ESPECIALIDADES REFRACTARIAS.

Además de la fabricación de piezas refractarias moldeadas y quemadas como son las variadas series de ladrillos en sus diversas formas estandarizadas, placas, piezas especiales, etc., también se fabrican las llamadas ESPECIALIDADES REFRACTARIAS, que incluyen revoques, morteros, concretos, apisonables y plásticos refractarios.

Todas estas especialidades han tenido un importante crecimiento, ya que han progresado enormemente en su uso, pues originalmente se utilizaban solo para remendar paredes de ladrillos. Actualmente los concretos, apisonables y plásticos se usan para revestir completamente diversos tipos de hornos en forma monolítica, llegando así en algunos casos a suplir totalmente a los ladrillos refractarios.

Con objeto de aumentar sus propiedades físicas como es

la resistencia a metales fundidos y escorias, se les adiciona carbón y grafito a ciertos concretos y plásticos refractarios, todo ésto para ampliar su campo de aplicación e incluirlos en zonas donde los ladrillos quemados son todavía considerados indispensables.

La mayoría de los concretos refractarios son normalmente limitados a temperaturas de operación de alrededor de 1500 °C., por las características del cementante hidráulico usado como aglutinante en su elaboración. Sin embargo, recientemente se han hecho cambios en el cementante hidráulico que permite a los fabricantes producir concretos refractarios para soportar temperaturas de 1650 °C., y dados los avances actuales, es seguro predecir una expansión continua en el uso de esta clase de refractarios.

En conclusión, es obvio que la industria refractaria no es solamente el negocio de formar arcillas en diferentes formas de ladrillos y quemarlos, sino que ha sido dirigida a grandes anhelos y ha adquirido las complicaciones, desilusiones y frustraciones que van con la madurez.

1.6 CONTROL DE CALIDAD.

El principal propósito del control de calidad es asegurar que el producto terminado cumpla con las normas de calidad establecidas, así mismo permita obtener un mínimo porcentaje de productos que no llenen las especificaciones establecidas.

El control de calidad en la industria de los refractarios, se inicia desde que se extraen las arcillas

en las minas durante el proceso y finalmente en el producto terminado.

Control de la Materia Prima .- Las materias primas de los refractarios siguen la ley fundamental de la naturaleza de la variación, la cual explica que aunque sean materiales de la misma especie nunca serán exactamente iguales, ya que las arcillas que se extraen de las minas tendrán composiciones diferentes; por lo tanto para tener una mejor selección de las arcillas y a su vez evitar un trabajo improductivo, es necesario hacer un análisis químico, así como también efectuarle pruebas físicas, tales como su equivalente al cono pirométrico y si los resultados así obtenidos están dentro de los límites fijados, proceder a extraerlos.

Control en la Preparación de la Materias Primas.- Ya en la planta algunas arcillas son calcinadas antes de entrar al proceso, por lo que se les debe determinar su grado de vitrificación, comparándolas con testigos patrones de cada material específico. Otro método utilizado y mucho más seguro es la determinación de la gravedad específica y la porosidad.

Control Durante el Proceso.- Durante el proceso de molienda y su clasificación granulométrica, el control debe ser llevado a cabo con sumo cuidado, ya que las propiedades que adquieren los productos terminados dependen del tamaño de partículas de los materiales, por lo que es necesario efectuar análisis granulométricos.

En el mezclado el control a seguir es fijar los pesos exactos de cada componente, la cantidad correcta de agua, así como también la cantidad de ácido en caso de que la

mezcla lo requiera.

Después del moldeado se deben verificar las medidas y el peso del ladrillo, evitando también que el tabique presente defectos, tales como segregación y fracturas.

El secado de los ladrillos es un punto crítico en el proceso, por lo que deberán ser controladas la temperatura y la humedad del aire a la entrada del secador.

Durante el quemado, proceso en el cual el ladrillo adquiere sus principales propiedades, las condiciones que tienen que ser debidamente controladas son, el tiempo de residencia del ladrillo en cada zona del horno y la temperatura en cada zona.

Pruebas al Producto Terminado. - Debido a la gran variedad de calidades de refractarios, se especifica que tipos de pruebas deben ser efectuadas a cada calidad, todo esto de acuerdo a la A. S. T. M. (American Society for Testing and Materials) y a la N. O. M. (Norma Oficial Mexicana), ésta última dependiente de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, que norma las calidades de refractarios producidos en México.

1.7 CLASIFICACION DE LOS REFRACTARIOS.

Como ya mencionamos anteriormente, el material refractario se utiliza de acuerdo al tipo de trabajo que se realice, de ahí la clasificación de éstos.

Los materiales refractarios se clasifican de la siguiente manera:

MATERIAL REFRACTARIO

LADRILLOS

MORTEROS Y ARCILLAS

CONCRETOS

PLASTICOS APISONABLES

Cada uno de éstos materiales se utilizará de acuerdo al tipo de trabajo a efectuar, así como el esfuerzo mecánico al que se someterá cada una de las piezas de material. Debido a esto, cada uno de los materiales enlistados anteriormente tienen una subclasificación:

LADRILLOS

REFRACTARIOS

AISLANTES

BASICOS

Los Ladrillos Refractarios, contienen un alto porcentaje de Alúmina (Óxido de aluminio) y Sílice.

Los Ladrillos Aislantes, al igual que el refractario está compuesto por Alúmina y Sílice pero en baja densidad, la cual limita su uso a zonas principalmente de secado o precalentamiento de materiales.

El Ladrillo Básico, a diferencia de los Refractarios o Aislantes, está formado de altos porcentajes de Cromo-Magnesita, o bien de Óxido de Cromo u Óxido de Magnesio. Estos ladrillos se entregan con forros metálicos o sin ellos o incluso con placas interiores.

El siguiente material en la lista son los Morteros o Arcillas.

Los morteros se subdividen en, alto contenido de alúmina, ácido resistentes, carburo de silicio o de liga fosfórica. Así como su fraguado puede ser al aire directo o bien, en caliente como a las temperaturas de operación que van desde los 1650 a los 1840 °C. Se tiene también morteros con 0.05 de óxido de magnesio y óxido de cromo.

Las arcillas refractarias son formadas por silicio aluminoso, son principalmente utilizadas para terminado de moldes para fundición, su temperatura de operación va de los 1565 a los 1680 °C., el porcentaje de alúmina excede del 42 %.

Los Concretos Refractarios.- Contienen entre un 28 y 97 % de óxido de aluminio con temperaturas de operación máximas recomendadas entre los 1200 y 1885 °C., dependiendo del porcentaje de alúmina.

El sistema de trabajo de éste, es mezclar el material con agua y vaciar en colado normal con cimbrado previo, con sus anclas como acero de refuerzo.

El concreto refractario se usa principalmente para el colado de toberas o zonas de carga de materiales.

Los Concretos Aislantes.- Se utilizan primordialmente para el revestido de ladrillos en boquillas de quemadores, carátulas y su instalación puede ser por colado o bien pistoleado, (lanzado).

Las temperaturas máximas de operación fluctúan entre los 870 y 1370 °C., dependiendo del porcentaje de alúmina (que es el elemento primordial de formado), que va de un 12 a un 39 % máximo.

El Concreto Especial.- el cual cumple con el mismo tipo de funciones

de los anteriores, sin embargo por su contenido de óxido de cromo en proporción mayor al óxido de magnesio es utilizable en áreas de esfuerzos mecánico fuertes o mayores a los normales. Además sirve para el asentado de ladrillos dándoles una mayor durabilidad.

C A P I T U L O I I

RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION DE MATERIAL
REFRACTARIO EN UN HORNO PARA CEMENTO

C A P I T U L O I I

RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION DE MATERIAL REFRACTARIO EN UN HORNO PARA CEMENTO

II.1	Generalidades	31
II.2	Descripción	32
II.3	Mecanismo de Destrucción del Refractario	38

II.1 GENERALIDADES.

Un horno rotatorio es un cilindro de 2.0 a 5.5 mts., de diámetro con un largo de 18.0 a 150.0 mts. Consiste en una coraza de placas de acero revestida interiormente con refractario. El horno se instala con una inclinación de 9.5 a 25.4 mm., por cada 0.30 mts. de longitud soportado por 2 ó más llantas de acero, que a su vez se deslizan sobre rodillos de acero, que a su vez se deslizan sobre rodillos de alta fricción; el horno se hace rotar a una velocidad de 0.5 R.P.M.

Todo este complejo mecánico queda montado sobre una estructura de concreto, la cual dé a los operarios la facilidad de movimiento alrededor de la instalación mecánica. Por el extremo superior la materia prima es alimentada continuamente al horno, la cual se transporta lentamente hacia el extremo inferior o de descarga, donde se localiza el quemador que proporciona el calor suficiente para que la materia prima reaccione y sea transformada en **CLINKER**.

El horno puede ser de diámetro constante o bien tener secciones de diámetro mayor en las cuales la mezcla tendrá un tiempo mayor de residencia.

Los hornos rotatorios que se usan normalmente para el proceso seco van desde 2.00 a 5.50 mts., de diámetro y una longitud de 18.00 a 150.00 mts., siendo capaces de producir desde 100 a 1500 Tons., de cemento por día.

Los hornos para el proceso húmedo son más largos que en seco, como ya habíamos mencionado, por lo cual nos ocupamos primero del proceso seco y posteriormente

DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO DE LA FABRICACION DE CEMENTO

ARCILLA

MOLIENDA

PREHOMOGENIZACION

MOLIENDA
DE CRUDOS

CALIZA

MOLIENDA

PRECALENTADOR

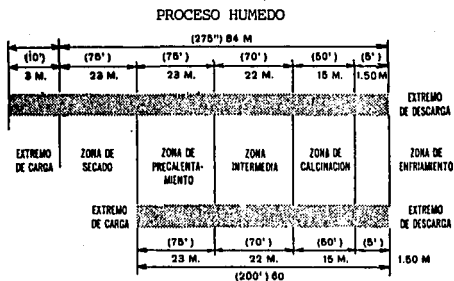
HORNO

ENFRIAMIENTO

MOLIENDA
DE CLINKER

EMBARQUE

mencionaremos las diferencias con el húmedo.



PROCESO SECO

DIAGRAMA MOSTRANDO LAS DIFERENTES ZONAS EN HORNO
PARA CEMENTO PARA AMBOS PROCESOS

II.2 DESCRIPCION

El horno, que para este capítulo tenemos para el ejemplo indicado, es para el Proceso Seco, y éste se divide en varias zonas de operación, las cuales aún cuando no se encuentran perfectamente definidas, se pueden considerar con las siguientes características.

- ZONA DE CARGA O CALENTAMIENTO.
(temperaturas aproximadas de 980 °C.)
- ZONA DE PRECALENTAMIENTO O INTERMEDIA.
(temperaturas aproximadas a 1370 °C.)

COMPOSICION PORCENTUAL											
CEMENTO	VALOR	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO LIBRE	MgO	PERDIDA AL FUEGO	NUMERO DE MUESTRAS	REQUISITOS EN EUA
TIPO I	Max.	67	31	14	12	3.4	1.5	3.8	2.3	21	
	Min.	42	8	5	6	2.6	0.0	0.7	0.6		
	Med.	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2		
TIPO II	Max.	55	39	8	16	3.4	1.8	4.4	2.0	28	Max. 8 % C ₃ A
	Min.	37	19	4	6	2.1	0.1	1.5	0.5		
	Med.	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	1.0		
TIPO III	Max.	70	38	17	10	4.6	4.2	4.8	2.7	5	Max. 15 % C ₃ A
	Min.	34	0	7	6	2.2	0.1	1.0	1.1		
	Med.	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6	1.9		
TIPO IV	Max.	44	57	7	18	3.5	0.9	4.1	1.9	16	Min. 40 % C ₂ S Max. 35 % C ₃ S Max. 7 % C ₃ A
	Min.	21	34	3	6	2.6	0.0	1.0	0.6		
	Med.	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	1.0		
TIPO V	Max.	54	49	5	15	3.9	0.6	2.3	1.2	22	Max. 5% C ₃ A Max. 20 % C ₄ AF 2 C ₃
	Min.	35	24	1	6	2.4	0.1	0.7	0.8		
	Med.	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	1.0		

VALORES TÍPICOS - EJEMPLOS DE COMPOSICION DE LOS 5 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

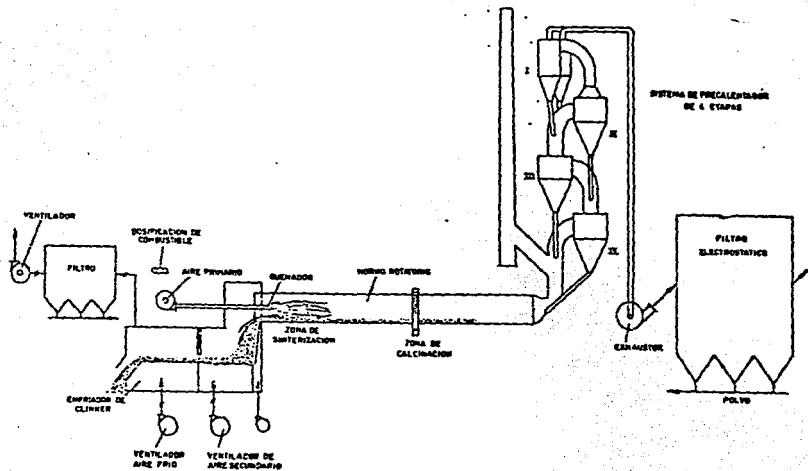
- ZONA DE CALCINACION O CLINKERIZACION.
(temperaturas aproximadas a 1650 °C.)
- ZONA DE ENFRIAMIENTO O DESCARGA.
(temperaturas aproximadas a 1400 °C.)

Debido a estos cuatro incisos es por lo que es necesario el revestimiento de las corazas de acero que forman el cilindro del horno, ya que por las altas temperaturas de operación, no es posible que ningún acero resista tal calor, la abrasión mecánica y las reacciones químicas que en el interior del horno se generan.

El espesor de este revestimiento generalmente es de 150 a 230 mm., variando la calidad del refractario según la zona de que se trate. La propuesta que se presenta para el revestimiento de un horno rotatorio de fabricación de cemento, se soporta exclusivamente en la breve experiencia obtenida en las diferentes actividades realizadas con los mismos, las características generales de operación, sin referirnos a algún tipo de horno o de fábrica en especial, aclarando que por muy parecidas que sean las condiciones de operación, la composición química de la materia prima y/o la capacidad de dos hornos comparados entre si, la duración de el revestimiento puede variar de una manera significativa, por lo que siempre deberá prevalecer como primer criterio la experiencia personal.

ZONA DE CARGA O CALENTAMIENTO. Localizada en el extremo de esta zona se encuentra una pequeña sección cónica, que tiene por objeto reducir el diámetro interior del horno en la nariz de entrada, esta reducción en el diámetro controla el tiro a la salida de los gases y evita que la carga salga del horno cayendo a la cámara de tolvas, el revestimiento refractario en esta parte puede efectuarse empleando formas normales o especiales de refractario y mortero de Alta

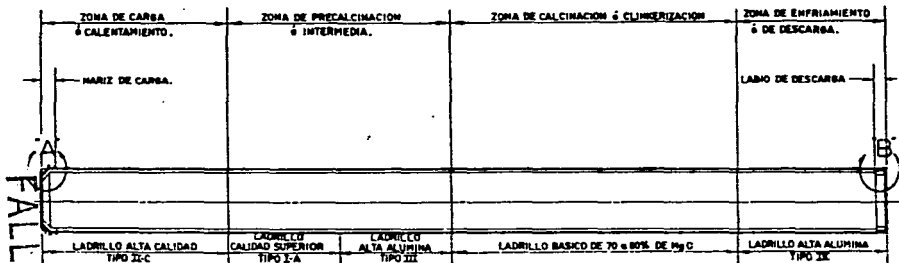
HORNO ROTATORIO PROCESO SECO



FALLA DE ORIGEN

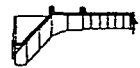
33-A

DISTRIBUCION DE CALIDADES DE REFRACTARIO POR
ZONAS EN UN HORNO ROTATORIO PROCESO SECO



FALLA DE ORIGEN

33-A

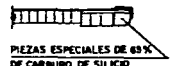


LADRILLO ALTA CALIDAD TIPO 2c-c

DETALLE "A"



CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MECANICA.



PIEZAS ESPECIALES DE 65% DE CARBURO DE SILICIO.

DETALLE "B"



APISONABLE DE 90% DE ALUMINA CON LIMA FOSFORICA.

Calidad (37 - 40% en Alúmina con 21 - 23% de porosidad), o bien utilizar un concreto de Alta Resistencia Mecánica.

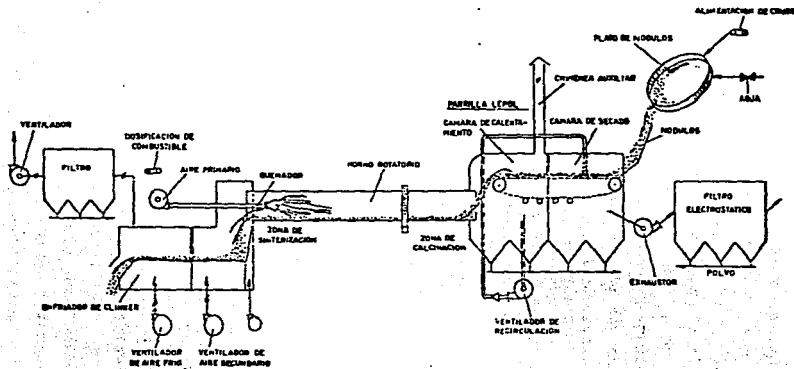
Hay casos en donde se usan placas metálicas, (laminas), dado que la abrasión mecánica no es muy severa; en algunas ocasiones se observa algo de degradación térmica en el refractario, pero esta falla obedece frecuentemente a que las piezas no son uniformes o que existen tensiones mecánicas que inducen a creer que se trate de una degradación térmica.

En la zona propiamente llamada de carga, los factores que afectan al recubrimiento refractario son la temperatura, la abrasión y principalmente la penetración de finos de la materia prima a través de la junta de los tabiques, de ocurrir esto, se provocaría la caída o desprendimiento de anillos de refractario.

Se han hecho pruebas con ladrillos de Diatomita como revestimiento refractario aislante y no mostró resultados positivos, posteriormente se probaron dos capas concéntricas de ladrillos refractarios, siendo la interior de trabajo a base de ladrillo refractario y la exterior de ladrillo aislante, y durante el proceso de rotación el ladrillo refractario que es más pesado desgastó la capa del ladrillo ligero llegando a destruirlo completamente. Al suceder lo anterior el poder aislante desaparece y el revestimiento refractario queda a punto de desplomarse.

En otro tipo de pruebas se utilizaron bloques de ladrillo refractario que penetran dentro del aislante hasta

HORNO ROTATORIO PROCESO SEMI-SECO



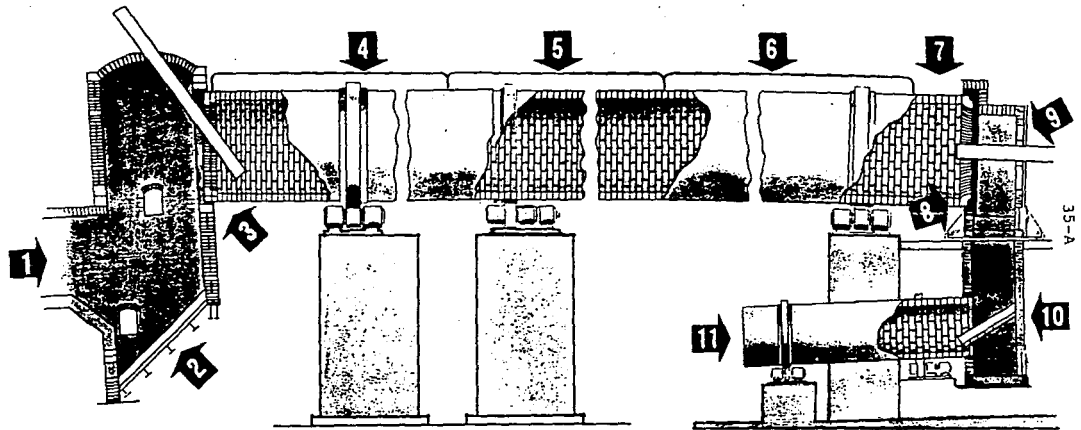
FALLA DE ORIGEN

estar en contacto con la coraza pero, tampoco mostró ser más efectiva esta práctica.

En épocas recientes se han desarrollado tipos de ladrillos refractarios ligeros que reducen las pérdidas de calor al exterior, con los cuales se han obtenido resultados tanto positivos como negativos, por lo cual se ha seguido tratando de balancear las propiedades del ladrillo y poder ser usados, con resultados satisfactorios en esta zona; ya que entre las ventajas de un revestimiento con ladrillo aislante podemos indicar las siguientes:

- Reduce considerablemente las pérdidas de calor por radiación obteniéndose una operación más económica.
- Reduce la temperatura de la coraza del horno con lo que se obtiene una vida mayor del revestimiento.
- Como tiene un calor específico mayor el calentamiento del horno es más rápido.
- El revestimiento se perjudica en grado menor por los cambios de temperatura en los paradas y arranques.
- Desarrolla una capa protectora en su superficie que aumenta su resistencia a la abrasión.

Por lo anterior, la calidad del material que se recomienda utilizar para esta zona, es un ladrillo semiaislante que posea una temperatura de fusión cerca de los 1700 °C., estabilidad mecánica adecuada, buena resistencia a la abrasión y baja conductividad térmica. En caso de no haber desarrollado aún un material con estas características, se puede utilizar un ladrillo de Alta



- 1.- DUCTOS: Temperatura 650 °C. EMPIRE M o KER para un servicio moderado. Deberá utilizar se mortero SAIRSET para pegar los ladrillos.
- 2.- COLECTOR DE POLVO: Temperatura 700 °C. Se emplea ladrillo en calidad EMPIRE M o KER en formas normales. Para una construcción monolítica se recomienda KAST-SET M o KAST-O-LITE M de acuerdo con la casa diseñadora del equipo.
- 3.- EXTREMO DE CARGA: Temperatura máxima 760 °C. En esta zona se recomienda REG en bloques circulares por su alta resistencia mecánica, su estabilidad estructural
- 4.- ZONA DE PRECALENTAMIENTO O DE SECADO: Temperatura 980°C. Se recomiendan bloques circulares de alta calidad EMPIRE M que son muy uniformes en sus dimensiones Se ha empleado ladrillo aislante T-23 con excelentes resultados.
- 5.- ZONA INTERMEDIA O DE PRECALCINACION: Temperatura de 1315 °C. Por su resistencia a los cambios de temperatura y la pureza de sus arcillas, se recomienda el MEX-KO M en bloques circulares.
- 6.- ZONA DE CALCINACION: Temperatura máxima de 1595 °C. Se requiere un ladrillo de alto contenido de alúmina que sea resistente al ataque químico. El KRUZITE M ha mostrado ser el ladrillo de 70% de Alúmina más adecuado para esta zona. El DV M de 85% de alúmina se utiliza para condiciones muy severas de operación.
- 7.- ZONA DE ENFRIAMIENTO: Temperatura 1370 °C. Se recomienda MIZZOU o KRUZITE M, en bloques circulares por su resistencia a la abrasión y a la disgregación.
- 8.- EXTREMO DE DESCARGA: Temperatura máxima 1205 °C. Los bloques para la nariz necesitan tener una gran resistencia mecánica, uniformidad dimensional y resistencia a la disgregación térmica. El material recomendable es el KRUZITE M 6 68 BM.
- 9.- CARATULA O CAJA DEL QUEMADOR: Temperatura de 1315 °C. Material recomendado MEX-KO M en formas normales, por su alta resistencia a la disgregación.
- 10.- DUCTO DE CLINKER: Temperatura 1205 °C. El REG cuenta con excelentes propiedades para resistir a la abrasión y disgregación moderada que son comunes en este ducto.
- 11.- ENFRIADOR ROTATORIO: Temperatura de 1095 °C. Es necesario usar un material como el REG en bloques circulares, por su resistencia a la abrasión y disgregación moderada.
- 12.- SECADORES MATERIA PRIMA: (No incluidos en el dibujo). Temperatura 650 °C. Recomendación de REG en bloques circulares, para resistir abrasión mecánica y disgregación moderada.

Calidad tipo II-C cuidando que sus dimensiones sean lo más uniformes posibles, pero que de preferencia sea fabricado con el proceso de prensa seca; ya que esta calidad es la que hasta ahora ha dado los mejores resultados.

Como observación, en esta zona no es recomendable usar un concreto refractario, debido a que la temperatura hace que los álcaliz contenidos en la materia prima se volatilicen y ataquen al cementante del concreto y esto aunado a la abrasión provocarían un desgaste excesivo en el recubrimiento.

ZONA DE PRECALCINACION O INTERMEDIA. Localizada entre la zona de carga y la de calcinación, de aquí que esta zona se caracteriza por tener un rango amplio de temperaturas.

Por lo que, las condiciones a que se encuentra el refractario son más drásticas en las secciones adyacentes a la zona de Clinkerización, inclusive se llegan a observar condiciones de operación que se creían inherentes sólo a la zona de calcinación. En algunas ocasiones ya se observa clinkerización de la materia prima y formación de anillos en el revestimiento refractario de esta sección y el desprendimiento de estos anillos producen tensiones de considerable cuantía sobre el revestimiento refractario total.

Existe también una reacción del clinker con el refractario formando una costra que mientras se encuentra adherida al refractario lo protege del calor directo y al desprenderse lo expone directamente a la flama, con lo cual se obtienen cambios bruscos de temperatura. Hay así mismo variaciones en el acortamiento o alargamiento de la flama

Calidad tipo II-C cuidando que sus dimensiones sean lo más uniformes posibles, pero que de preferencia sea fabricado con el proceso de prensa seca; ya que esta calidad es la que hasta ahora ha dado los mejores resultados.

Como observación, en esta zona no es recomendable usar un concreto refractario, debido a que la temperatura hace que los álcaliz contenidos en la materia prima se volatilicen y ataquen al cementante del concreto y esto aunado a la abrasión provocarían un desgaste excesivo en el recubrimiento.

ZONA DE PRECALCINACION O INTERMEDIA. Localizada entre la zona de carga y la de calcinación, de aquí que esta zona se caracteriza por tener un rango amplio de temperaturas.

Por lo que, las condiciones a que se encuentra el refractario son más drásticas en las secciones adyacentes a la zona de Clinkerización, inclusive se llegan a observar condiciones de operación que se creían inherentes sólo a la zona de calcinación. En algunas ocasiones ya se observa clinkerización de la materia prima y formación de anillos en el revestimiento refractario de esta sección y el desprendimiento de estos anillos producen tensiones de considerable cuantía sobre el revestimiento refractario total.

Existe también una reacción del clínker con el refractario formando una costra que mientras se encuentra adherida al refractario lo protege del calor directo y al desprenderse lo expone directamente a la flama, con lo cual se obtienen cambios bruscos de temperatura. Hay así mismo variaciones en el acortamiento o alargamiento de la flama

que logra en ocasiones estar en contacto con el refractario.

Como recomendación puede decirse que un ladrillo refractario de Alta Alúmina tipo III con un contenido de 70% de alúmina y resistente a los cambios bruscos de temperatura es lo adecuado. En la ausencia de una capa de clínker el ladrillo que tenga aproximadamente un 42% de Alúmina, calidad que se usa normalmente en esta zona pero en la sección más fría o sea en la adyacente a la zona de carga, puede destruirse rápidamente bajo los efectos de la temperatura muy elevada durante la fase de reacción del material.

En la parte más fría de esta zona donde las condiciones son menos drásticas o sea cerca de la zona de carga se recomienda utilizar un ladrillo de Calidad Superior tipo I-A de un contenido de 42% de Alúmina aproximadamente. Habrá ocasión en que esta calidad superior se prolongue hacia la zona de carga sustituyendo una sección del ladrillo aislante, si éste es el que se ha empleado.

ZONA DE CALCINACION O CLINKERIZACION

Localizada entre las zonas de Precalcinación y Descarga a esta zona de calcinación se le puede considerar como la más importante ya que en ella se efectúan las reacciones químicas que dan como producto el Cemento Portland. Teóricamente esta es la zona que determina el tiempo de operación de un horno, por lo tanto es un factor vital en la economía de una planta.

Debido a la gran importancia de esta zona, en este trabajo se mencionan primeramente los principales agentes que intervienen en la destrucción del refractario analizando separadamente cada uno de los factores.

Se examina también la evolución que han sufrido los refractarios de esta zona en forma general, mencionando las diferentes propiedades de los refractarios que se han usado.

Además se analizan las posibilidades de que, estudiando los factores principales que afectan la duración del refractario en la zona de calcinación de un horno en especial, se pueda obtener un refractario que para las condiciones de operación de dicho horno sea el más adecuado.

II.3 MECANISMO DE DESTRUCCION DEL REFRACTARIO.

Antes de entrar a analizar los mecanismos de destrucción, hay que considerar la gran evolución que han tenido los hornos de cemento en los últimos años, los cuales ahora son mas eficientes, de mayores producciones, mejorándose además la calidad del Clinker obtenido, ocasionando esto condiciones más drásticas en la zona de calcinación, por lo que los refractarios están siendo continuamente sustituidos por otros que resistan mejor las nuevas tendencias de operación.

Anteriormente se usaba en esta zona refractarios de Alúmina, los cuales debido a las altas temperaturas

alcanzadas en los hornos, así como la dificultad de retener un forro protector, etc., no dieron resultados económicos satisfactorios, siendo sustituidos por el refractario básico.

A continuación analizaremos los principales factores que intervienen en la destrucción del refractario básico, que es el comúnmente usado en la zona de calcinación.

ESFUERZOS MECANICOS. - El tabique en operación está sujeto a diferentes esfuerzos mecánicos, los cuales pueden ser de tal magnitud que ocasionan fracturas, con el consiguiente desprendimiento de pedazos del ladrillo.

Estos esfuerzos son generados por los siguientes factores y siendo directamente proporcionales a ellos:

- La diferencia de temperatura entre la cara caliente y la fría, genera diferencias de expansión entre ellas, con los consiguientes esfuerzos internos en el ladrillo.
- La deformación de la coraza al girar el horno, sabemos que esto ocurre en todos los hornos, pero se incrementan cuando existen problemas mecánicos en las llantas, irregularidades en el casco, mal alineamiento del horno, etc., provocándose esfuerzos de gran magnitud que trituran el ladrillo refractario.
- Peso sobre el refractario.
Carga estática - es la suma del propio peso del refractario más el peso de la costra.
Carga Dinámica - es el peso e impacto del material que se está calcinando.

Estos factores varían dependiendo únicamente del tamaño y capacidad del horno.

CAMBIOS DE TEMPERATURA.- El ladrillo en operación está sujeto a variaciones de temperatura que son ocasionadas por diferentes causas, siendo las principales las siguientes:

La Variación de Temperatura, por cada revolución del horno al enfriarse cuando pasa bajo la cama del material y al calentarse, al ser expuesto a la flama. Estas diferencias de temperatura son mayores cuando no se cuenta con un forro adecuado o se pierde éste, ya el forro es un buen aislante; así como también los cambios de temperatura provocados al encender y apagar el horno, variando éstos de intensidad de acuerdo con método seguido al efectuar estas operaciones.

La magnitud de estas diferencias de temperatura, así como el tiempo en que se efectúan, son proporcionales a los esfuerzos de compresión, tensión, etc., provocados por las diferencias de expansión de ambas caras, llegando a ser tan violentas que destruyen la estructura del ladrillo.

REACCIONES QUIMICAS.- Debido a algunos de los componentes del crudo y de los combustibles, así como las condiciones de operación del horno, el refractario está sujeto a varias reacciones químicas que afectan su duración, siendo las más adversas las siguientes:

- El SO_3 (sulfito) al penetrarse en el ladrillo ayudado por el efecto de catalizadores, como el hierro, a temperaturas entre 600 y 900 $^{\circ}\text{C}$., tiende a combinarse con el MgO . (óxido de Magnesio), formando MgSO_4 , (sulfato de Magnesio), que es un compuesto de bajo punto de fusión.
- El SO_3 y el Na_2O se combinan formando Na_2SO_4 , (que es el ácido sulfúrico), el que en presencia de atmósferas reductoras pasa a sulfuro de sodio, aumentando y disminuyendo su volumen al cambiar el compuesto, creando los consiguientes esfuerzos en la estructura del ladrillo.

- Al mismo tiempo el Na_2O y el Na_2SO_4 reaccionan con la sílice de la fase vítrea, formando un silicato de sodio con puntos de fusión entre 790 y 1100 °C.
- El K_2O , (óxido de potasio), reacciona con la sílice en forma similar formando también compuestos de bajo punto de fusión.
- Se ha encontrado también que el Na_2O ataca a la cromita formando cromatos de sodio con bajo punto de fusión.
- En la cara caliente del ladrillo se forma el mineral MONTICELITA, ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$), el cual también tiene bajo punto de fusión.
- Por otro lado, los cambios de atmósfera reductora y oxidante provocan que el óxido férrico pase a óxido ferroso y viceversa, teniendo diferente volumen.

Los cambios volumétricos mencionados anteriormente ocasionan la destrucción de la estructura interna del ladrillo, principalmente cuando éstos se vuelven cíclicos.

Además todos los compuestos de bajo punto de fusión mencionados, emigran hacia las zonas frías donde se solidifican provocando al cristalizarse esfuerzos adicionales, densificando también la zona fría, por consiguiente la porosidad de las zonas más calientes se ve aumentada y la fase vítrea de unión se disminuye teniendo una zona de baja resistencia en el refractario.

INESTABILIDAD DE LA COSTRA. - La inestabilidad de la costra es generalmente provocada por problemas de operación y cambios en el análisis químico del crudo, esta inestabilidad se ve aumentada en los hornos de gran Diámetro, por los esfuerzos que actúan sobre ella, como son su propio peso y el menor acuíñamiento o trabajo de arco.

Esta inestabilidad tiene varios efectos adversos al

refractario y como veremos posteriormente, un forro estable y de buenas dimensiones es uno de los principales factores para obtener un buen rendimiento del ladrillo básico.

EFFECTOS PRODUCIDOS POR LA INESTABILIDAD DE LA COSTRA.- Cuando hay desprendimiento de la costra y debido a la liga que existe entre ella y el refractario, se pierden junto con ella una capa de refractario que puede llegar a ser hasta de 50 mm. de espesor.

Al caer la costra la zona del ladrillo que queda directamente al fuego sufre un gran cambio de temperatura en un periodo de tiempo muy corto creando esfuerzos en el ladrillo, como ya se explicó anteriormente.

Este mismo aumento de temperatura origina una migración de los compuestos de bajo punto de fusión hacia zonas más frías provocando: densificación de la zona fría, mayor porosidad de la zona caliente y pérdida de parte de la liga cerámica de la zona caliente.

Por el efecto anterior y al estar pasando al material directamente sobre el ladrillo, éste se destruye por erosión.

En lo expuesto anteriormente se observa, que si esta pérdida de costra es frecuente, la vida del refractario básico se verá disminuida drásticamente.

PROPIEDADES BUSCADAS EN LOS REFRACTARIOS DE LA ZONA DE CALCINACION.-

Por lo visto anteriormente se observa que las principales propiedades que se buscan en el refractario de esta zona serán:

- Alta resistencia bajo carga a altas temperaturas.
- Resistencia a los ataques químicos de los componentes del crudo y de los combustibles.
- Resistencia a los cambios bruscos de temperatura.
- Mayor habilidad para mantener la costra de Clinker.

De estas características buscadas, es posible balancearlas para desarrollar los refractarios que mejor se adapten a las condiciones de operación, aunque en algunos casos es necesario sacrificar algunas de ellas para mejorar otras.

REFRACTARIOS BASICOS.- Los refractarios básicos son fabricados principalmente con Magnesita y mineral de Cromo. Estos dos elementos con que se cuenta tienen las siguientes características principales:

La Magnesita está formada principalmente por cristales de PERICLASA en forma de cubos y octaedros. Los porcentajes de MgO en ellos son variables, existiendo hasta de un 99% de pureza. Su punto de fusión es de 3200 °C., aproximadamente. Tiene una gran resistencia a los ataques alcalinos, tiene baja resistencia a los cambios bruscos de temperatura, en altas temperaturas reaccionan tanto con los sulfatos como a la sílice. Es resistente al ataque corrosivo de los óxidos metálicos.

El mineral de Cromo es un espinel muy complejo, que incluye al óxido crómico, óxido de aluminio, óxido ferroso y óxido de magnesio en su composición.

El grado refractario del Mineral de Cromo varía en su composición de la siguiente forma:

grado 30 a 48 % de Cr₂O₃
grado 12 a 30 % de Al₂O₃
grado 12 a 15 % de FeO
alrededor de 17 % de MgO, además de algunas impurezas como SiO₂ y CaO.

Con la Magnesita y el Mineral de Cromo variando sus proporciones en la fabricación de los refractarios básicos, se pueden elaborar ladrillos de muy distintas calidades y especificaciones, pudiéndose separar estos en tres grandes grupos.

Refractarios Liga Química.
Refractarios Liga Cerámica.
Refractarios Liga Directa.

De estas tres calidades básicas, pueden obtenerse muchos tipos diferentes, dependiendo del porcentaje de Mineral de Cromo y Magnesita con que se fabrique.

Ahora trataremos de analizar las razones que se tuvieron al cambiar las calidades y procesos de fabricación de los refractarios básicos, usados en la Industria del Cemento.

Refractarios Liga Química.- Estos refractarios fueron los primeros que se utilizaron para sustituir los ladrillos de Alta Alúmina que por años se usaron en la zona de calcinación. En un principio los resultados de los materiales

básicos comparados con los de Alúmina fueron satisfactorios pero, más adelante veremos las razones de los cambios de calidad y propiedades de los refractarios que se necesitarían años después.

Refractarios Liga Cerámica.- Debido a que los consumidores de cemento exigen productos de mejores características ocasionados por los avances tecnológicos en la Industria de la Construcción, así como los nuevos desarrollos en el campo de Cementos Especiales, los fabricantes se vieron precisados hacer cambios bruscos en la composición química de sus crudos, incrementos en la temperatura de calcinación, etc., provocando una disminución en los rendimientos de los refractarios químicamente ligados, teniéndose entonces la necesidad de fabricar un refractario con mejores propiedades, surgiendo el Refractario de Liga Cerámica.

Las propiedades principales de este ladrillo fueron las siguientes:

- Liga Cerámica entre los componentes del refractario.

Esto fué necesario ya que se observó que en el caso de Liga Química no había temperatura suficiente para lograr una liga cerámica entre los componentes del ladrillo, si existía la suficiente para perder la liga hidráulica, obteniéndose una sección de la pieza de baja resistencia.

- Mayor resistencia bajo carga en caliente.

Fué necesario tener ésta condición puesto que el refractario empezó a estar sujeto a esfuerzos mecánicos más altos por los cambios de temperatura, espesores e inestabilidad de la costra.

- Una mejor resistencia a los cambios de atmósferas.

Esto se obtenía en su fabricación puesto que existía una mayor estabilidad de los compuestos que se formaban durante el quemado controlado del refractario,

obteniéndose espineles y compuestos como el Magnesio-Ferrita y la Forsterita, que eran más resistentes a los cambios de atmósferas reductoras y oxidantes, dando además con este método de fabricación una mayor protección al espinel de Cromita.

- Menor cantidad de fase vítrea.

Lo anterior era necesario, ya que al estar operando los hornos a mayores temperaturas con forros de menores espesores, la temperatura en los refractarios químicamente ligados aumentaba, provocando que, las fases líquidas del mismo emigraran hacia las zonas más frías debilitando la cara caliente del ladrillo y además al tener una mayor porosidad en estas zonas la concentración álcalis y compuestos del Clinker era mayor, teniéndose esfuerzos adicionales en el refractario.

En la actualidad y como veremos más adelante, fué necesario el desarrollo de nuevos tipos de refractarios de los que surgieron los llamados de Liga Directa.

Refractarios de Liga Directa.- En los últimos años y debido a la tendencia en el aumento en las dimensiones y producciones de los hornos de cemento, se han hecho más drásticas las condiciones de operación, incrementándose las siguientes variables que intervienen en la duración del refractario en las zonas de calcinación:

- Mayor temperatura en la zona de clinkerización.
- Menor espesor en la costra de clinker.
- Menor estabilidad mecánica de la costra.
- Mayores esfuerzos mecánicos en el refractario, provocados por las mayores deformaciones de la coraza.
- Aumento en la carga estática y dinámica a que está sujeta el ladrillo.
- Menor estabilidad mecánica del refractario.

Aunque no se tiene gran experiencia en el uso de los refractarios de Liga Directa en hornos de cemento, sus propiedades hacen pensar que para algunos casos darían buenos resultados, sobre todo en las secciones más drásticas de las zonas de calcinación.

Los refractarios de Liga Directa son fabricados con una mezcla que varía del 20 al 40 % de Mineral de Cromo y del 60 al 80 % de Magnesita de 98 % de MgO, con bajos contenidos de óxido de fierro y sílice, quemados a temperaturas mayores de 1800 °C.

El ladrillo de 70 % de Alúmina tipo III debido a su alta resistencia a los cambios bruscos de temperatura y a su baja conductividad térmica puede utilizarse en esta zona principalmente en arranques de hornos nuevos que estarán sujetos a frecuentes cambios de temperatura y a paradas, ya que todo equipo nuevo requiere ajustes que obligan a interrumpir la operación.

Posteriormente al tener una operación continua y definida de esta zona, se recomienda utilizar refractario básico de 70 a 80 % de MgO y de preferencia de Liga Directa. O bien combinando el de Liga Directa para unas secciones y en otras con materiales de liga Cerámica.

ZONA DE ENFRIAMIENTO O DESCARGA.

Esta zona es usualmente corta y se localiza a continuación de la zona de Calcinación, de aquí que las condiciones que se encuentran son con temperaturas lo suficientemente altas para causar reacciones químicas entre el Clinker y el refractario formando costra en la sección adyacente a la zona de calcinación; no así en la sección

cerca de la descarga del horno donde la temperatura no es tan alta como para que se forme una costra protectora.

Otros de los factores que afectan al refractario son la abrasión ocasionada por el Clinker y la disgregación térmica provocada por la entrada de aire secundario proveniente del enfriador al horno.

De igual manera que en la zona de Precalcinación la flama tiene una influencia muy marcada en el revestimiento refractario de esta zona, ya que el tipo de flama ya sea larga o corta afectará directamente esta sección, que aunada a la variedad de tensiones a que se encuentra sujeta, hace difícil una recomendación con absoluta seguridad de un tipo de ladrillo.

Por lo que, el revestimiento de esta zona debe ser resistente a los cambios de temperatura, a la abrasión y a la disgregación térmica. Un ladrillo de alto contenido de Alúmina de 80 % tipo IV o bien uno de 85 % tipo V con o sin liga química es lo adecuado, ya que tienen la facilidad de formar costra con el Clinker, la cual los protege de acciones futuras de estos agentes.

NARIZ DEL HORNO EN ZONA DE DESCARGA. - Las condiciones de operación de los últimos anillos del revestimiento refractario de un horno rotatorio en particular la del anillo final o sea la nariz de descarga del horno pueden variar considerablemente.

Un conjunto de placas metálicas de acero de aleación especial (Cromo-Níquel), son instaladas en la boca del horno para prevenir que el revestimiento se deslice hacia el extremo inferior del horno. Este anillo metálico debe ser protegido del calor con un material refractario capaz

de resistir los siguientes factores:

- Tensiones mecánicas y abrasión ocasionada por la corriente del Clinker caliente que cubre el revestimiento periódicamente.
- Choque térmico debido a la entrada del aire secundario.
- Enfriamientos rápidos que se producen cuando la planta se para y la carátula o cámara de combustión es separada del horno.
- La fuerza transmitida por el revestimiento refractario que presiona al último anillo contra las placas metálicas.

Por lo que las propiedades buscadas en el material refractario para este anillo son:

- Resistencia a la degradación.
- Los ladrillos deben ser de dimensiones uniformes y fuertes mecánicamente.
- Buena resistencia a la abrasión.

Se han utilizado varios tipos de refractarios con distintos contenidos de Alúmina que aún siendo altos en ésta no han dado un resultado satisfactorio.

Recientemente se han utilizado ladrillo de un contenido de 65% de Carburo de Silicio para las últimas hiladas de la zona de descarga y al parecer por los resultados obtenidos tiene sus ventajas, ya que no se forma reacción entre el Clinker y esta calidad.

Es necesario hacer hincapie en la importancia que tiene la colocación correcta de los últimos anillos de refractario sobre la placa metálica final.

De lo anterior nuestra recomendación es utilizar ladrillos de 65% de Carburo de Silicio, diseñados en forma especial para lograr un correcto ajuste entre las piezas que forman este anillo.

O bien, proteger el extremo final del horno mediante el uso de un apisonable refractario de un contenido aproximado de 90% de Alúmina con liga Fosfórica, el cual es muy resistente a la abrasión.

Con la aplicación del apisonable en esta zona se tiene ventajas sobre el uso de ladrillo, ya que se logra un revestimiento monolítico, más fácil de instalar y fácil de reparar en caso necesario. Se recomienda que el apisonado de esta sección tenga como mínimo 30 cms., de longitud y un anclaje adecuado.

HORNO ROTATORIO - PROCESO HUMEDO.

En los hornos rotatorios por vía húmeda se pueden distinguir las mismas zonas que en las de proceso seco descritos anteriormente y como también se había mencionado, las únicas diferencias entre uno y otro es la longitud del horno y el método de molienda y mezclado de la materia prima que alimenta a éstos.

Dicho incremento de la longitud se debe a la existencia de una zona de secado cuyo objeto es eliminar el agua contenida en la materia prima, la cual varía de un 20 a 40% debido al método usado para la molienda y mezclado.

Las dimensiones para los hornos de este proceso van de 2.4 a 5.5 mts., en Diámetro y de 45 a 150 mts., de Longitud.

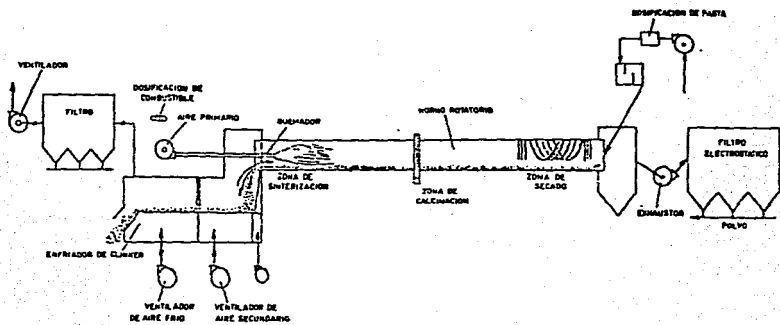
Con excepción de la zona de secado, las recomendaciones para las demás zonas son iguales a las ya expuestas en el proceso seco.

Zona de Secado.- En la zona de secado, la temperatura normalmente es menor a los 650 °C. Por lo que para facilitar el intercambio de calor se instalan placas y cadenas que aumentan la superficie de contacto entre los gases calientes y el material alimentado. Estas cadenas además sirven para agitar la mezcla ayudando a un secado más rápido.

Los factores que afectan al refractario en esta zona son:

- Abrasión mecánica provocada por las cadenas.
- Penetración de la humedad y del polvo a través de las juntas del revestimiento.

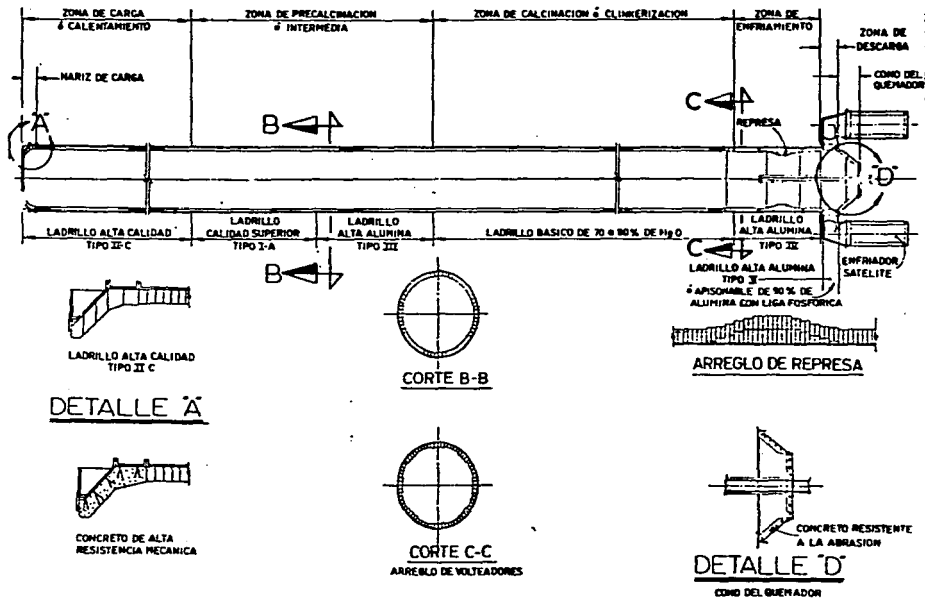
HORNO ROTATORIO PROCESO HUMEDO



51-A

FALLA DE ORIGEN

**DISTRIBUCION DE CALIDADES DE REFRACTARIO POR ZONAS
EN UN HORNO ROTATORIO CON ENFRIADORES SATELITES**



FALLA DE ORIGEN

Por lo tanto la principal propiedad que debe poseer el refractario para esta zona es una buena resistencia a la abrasión, por lo cual recomendamos un ladrillo de Alta Calidad tipo II-c ó un concreto refractario resistente mecánicamente.

Con frecuencia la instalación con ladrillo es muy difícil y laboriosa debido a la existencia de los soportes de las cadenas que ocasionan un alto costo a causa del sinnúmero de cortes requeridos. Obviamente el uso de un concreto facilita la instalación y provee a esta zona de un revestimiento más sólido, por lo que se aconseja utilizar este tipo de recubrimiento.

En algunos hornos se emplea Cemento Portland para revestir una sección a la entrada de esta zona, esto dependerá básicamente de la temperatura que se tenga; así mismo en ocasiones el anillo metálico de carga no lo revisten y tan solo colocan placas de acero de aleación especial para resistir el golpeo del material que se alimenta.

HORNOS CON PRECALENTADOR.

Se ha desarrollado entre los fabricantes y diseñadores de hornos rotatorios para cemento una carrera, por obtener un mejor aprovechamiento del combustible utilizado en la producción del cemento.

Es fácil comprender que en países en los que el combustible es caro y la energía eléctrica es barata, se realicen modificaciones al proceso enfocadas a obtener el máximo aprovechamiento del combustible utilizado.

Básicamente estas modificaciones consisten en

utilizar precalentadores para la materia prima.

La característica común de los sistemas en los precalentadores del crudo en polvo, es el intercambio de calor de los gases de salida del horno con las partículas de la materia prima. Exteriormente se identifican en la forma de una torre ubicada a continuación del horno rotatorio, la cual soporta un sistema de ciclones individuales, pares de ciclones o un sistema de tubos. En ellos el calor es transmitido de los gases residuales del horno en su recorrido, desde la boca de este hasta la parte superior, el crudo mantenido en suspensión por los gases calientes entra frío y seco por la parte más alta del sistema. Visto en su conjunto el precalentador trabaja según el principio de contracorrientes, pero antes y dentro de cada ciclón funciona según el sistema de la transmisión del calor en serie.

En el precalentador, el crudo en polvo que entra frío y seco es calentado en varios escalones de temperatura hasta unos 730 - 800 °C., descarbonatándose de un 12 a 15%.

Simultáneamente los gases residuales se enfrían desde 1100 - 1200 °C., hasta 390 - 400 °C., a la salida. Como puede apreciarse las temperaturas de operación aquí no son muy altas, por lo que los principales problemas que hay que considerar para los revestimientos refractarios de éste equipo son :

- La erosión producida por las partículas de materia prima arrastradas por los gases.
- Penetración del polvo a través de las juntas del refractario.

- La vibración existente en estos sistemas debido a sus características de operación.

Con objeto de obtener una producción más favorable desde el punto de vista costos, se ha incrementado la tendencia de pasar del proceso húmedo a procesos por vía seca con precalentador, por ésto, los sistemas que se usen variarán pero siempre se tratará de aprovechar el intercambio calorífico y evitar las pérdidas por radiación, que se puede lograr con el uso de un buen revestimiento refractario.

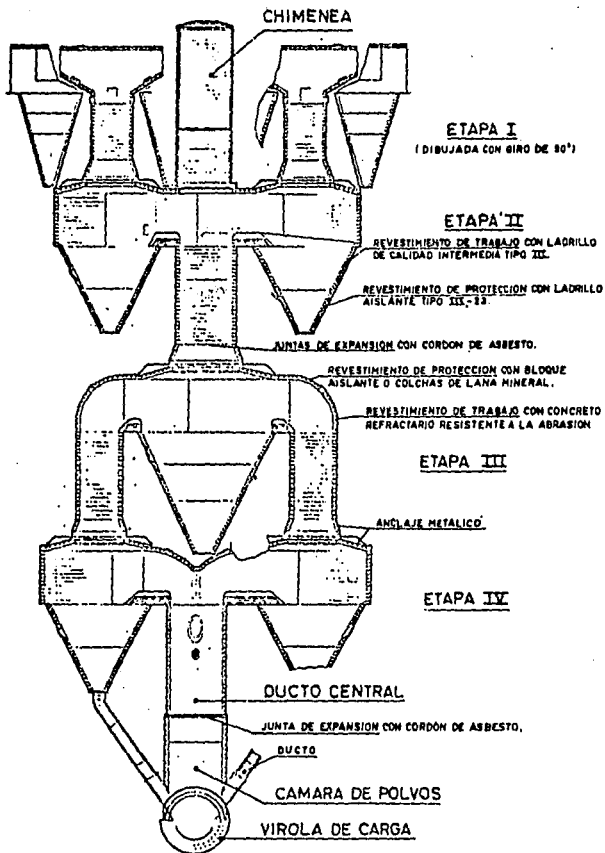
Recomendamos que esta protección refractaria consista en un doble revestimiento donde su cara interna será la del trabajo y la externa, la pegada a la coraza, será la de protección.

Para el revestimiento de trabajo recomendamos un refractario de calidad intermedia tipo III, que es capaz de resistir correctamente los factores antes mencionados, siempre y cuando se tenga una buena instalación para evitar la penetración del polvo a través de las juntas y un anclaje adecuado para resistir la vibración.

En el revestimiento de protección se recomienda el uso de un ladrillo Aislante tipo III-23, con objeto de disminuir las pérdidas de calor.

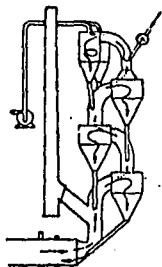
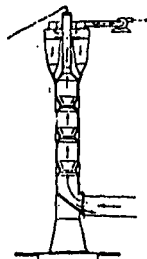
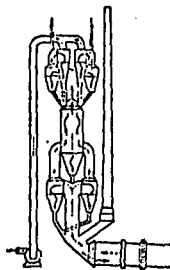
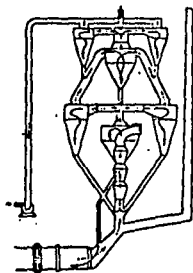
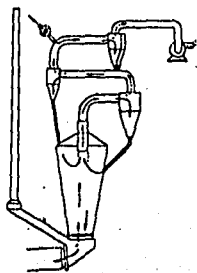
Debido a la forma que generalmente presentan estos equipos, como es, en los ciclones que constan de un cuerpo cilíndrico, su tapa y un cono inferior. Además de los ductos cilíndricos, la construcción del revestimiento refractario con ladrillo se dificulta en ciertas áreas, donde es preferible utilizar un concreto refractario

54-A



PRECALENTADOR DE CUATRO ETAPAS

FALLA DE ORIGEN

TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR POR SUSPENSIÓN DEL CRUDO EN LA VENA DE LOS GASES.HUMBOLDTKRUPPPOLYSIUSWEDAGMIAO

FAMILIA DE ORIGEN

resistente a la abrasión soportado con un buen anclaje y como revestimiento posterior se sugiere el uso de Bloque Aislante o Colchonetas de lana mineral.

Cabe aclarar, que un revestimiento monolítico para todo el precalentador, sería lo más adecuado por las ventajas que presenta sobre el empleo del ladrillo. Sin embargo, el concreto tiene la desventaja de un costo más alto y el tiempo adicional requerido para darle un tratamiento de secado y quemado, punto fundamental para conseguir su máximo rendimiento.

Por lo cual, recomendamos una instalación refractaria combinada, es decir, usar ladrillo Aislante tipo III-23 y ladrillo refractario Calidad Intermedia tipo III; en aquellas secciones en que se dificulta la instalación con ladrillo, usar un concreto refractario resistente a la abrasión con un anclaje apropiado y como revestimiento aislante utilizar Bloque Aislante o bien colchonetas de lana mineral.

CARATULA

Con excepción del horno rotatorio equipado con enfriadores de satélites, este equipo está normalmente localizado en el extremo final o de descarga del horno, se distingue como una especie de caja semicircular apoyada sobre ruedas metálicas que a su vez descansan en rieles, para así poderla separar del horno y permitir el acceso a éste en caso necesario.

La carátula sirve para tapar la boca del horno, de ahí el porqué de su forma semicircular que continúa el perfil del horno. Sostiene además al quemador una vez que éste es introducido al horno.

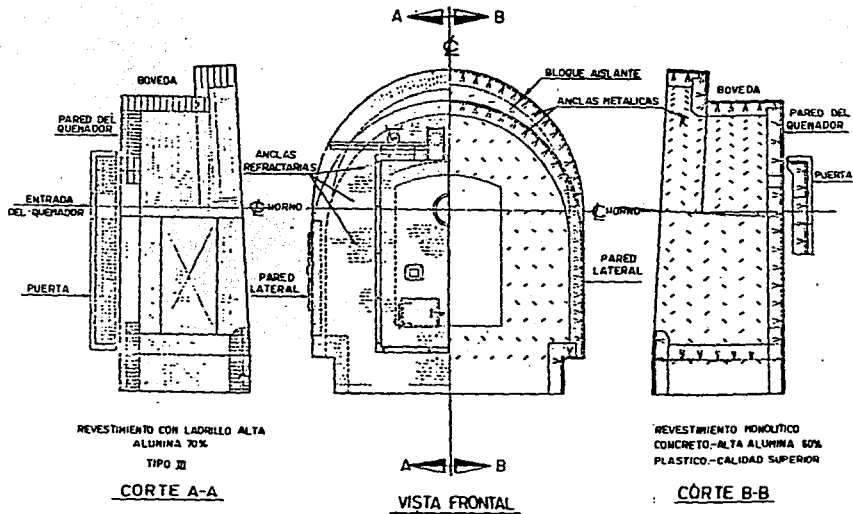
En su pared posterior se localizan mirillas de inspección, orificios donde se colocan aparatos de control, como puede ser la cámara de televisión y una puerta de hombre que sirve además para colocar el cañón que se usa para derribar los anillos y aglomeraciones de Clinker, que en ocasiones se forman dentro del horno.

FACTORES QUE AFECTAN AL REFRACTARIO.

Los factores que afectan al revestimiento en la carátula son:

- La temperatura que es aproximadamente de 1500 °C.
- Disgregación térmica debida a la entrada del aire secundario y a los paros del horno.
- El movimiento producido al retirar la carátula del horno cuando se requiere tener acceso a este ultimo.

CARATULA



FALLA DE ORIGEN

Por lo anterior, el revestimiento de esta unidad puede ser llevado a cabo con ladrillo, concreto o plástico refractario.

Para el revestimiento con ladrillo se recomienda una calidad de Alta Alúmina de un contenido de 70 % de Al₂O₃ tipo III, la cual resiste muy bien la temperatura y la disgregación térmica.

Las fallas que se presenten en los revestimientos de ladrillo en las carátulas obedecen principalmente a problemas de tipo estructural más que a problemas térmicos o de desgaste, los cuales obligan a hacer frecuentes reparaciones.

Estas fallas se deben a que una construcción con ladrillo no permite el empleo de suficiente anclaje, por lo cual, el polvo penetra por las juntas, se deposita entre la coraza y el revestimiento empujando a éste hacia el interior, deformando el muro y provocando finalmente su caída al ceder al empuje del polvo acumulado.

Por lo que, para el diseño del revestimiento refractario, además de los factores ya mencionados se deben de tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Anclaje apropiado.
- Juntas de expansión y construcción.
- Penetración de polvos.
- Vibración de la unidad.
- Reducción de espesores.

Analizando los aspectos anteriores conjuntamente con los factores que afectan al revestimiento, una instalación monolítica presenta ventajas sobre el recubrimiento

convencional de ladrillo. Ya que, una construcción monolítica permite utilizar un anclaje adecuado y suficiente que provea de una máxima estabilidad estructural sujetando firmemente al revestimiento contra la coraza.

La expansión se absorbe por el bloque aislante que va pegado a la coraza y que se utiliza como revestimiento aislante. Las juntas de construcción definidas por el colado en secciones, en el caso del uso de un concreto refractario, o bien, los cortes de construcción cuando se utiliza un plástico refractario, absorberán parte de las fracturas que normalmente se presentan en una instalación monolítica provocadas por calentamiento y enfriamiento alternos.

El revestimiento monolítico permite una construcción libre de juntas con lo cual se evita la penetración de polvos.

Con el uso de este tipo de instalación ya sea con concreto o plástico y con bloque aislante pegado a la coraza, se obtienen menores pérdidas por calor, que con la construcción de ladrillo en igualdad de espesores.

Por lo tanto, nuestra recomendación para el revestimiento de la carátula es el uso de una instalación monolítica, con concreto refractario de 60% de Alúmina, resistente a los cambios bruscos de temperatura, que esté dentro de la clasificación de los Concretos Resistentes a Temperaturas muy Elevadas según designación de la A.S.T.M.

O bien, el hacer uso de un plástico refractario de calidad superior, de fraguado al aire que tenga aproximadamente un 50% de Alúmina y que desarrolle una resistencia mecánica fuerte a cualquier temperatura.

ENFRIADORES

Son prácticamente los últimos equipos del proceso del Cemento Portland que necesitan de protección refractaria, se encuentran localizados en la descarga del horno rotatorio y su propósito, como su nombre lo indica, es el de enfriar el Clinker que sale del horno. El Clinker una vez ya frío es transportado a los molinos donde se le practican los últimos procesos mecánicos y la preparación para su venta.

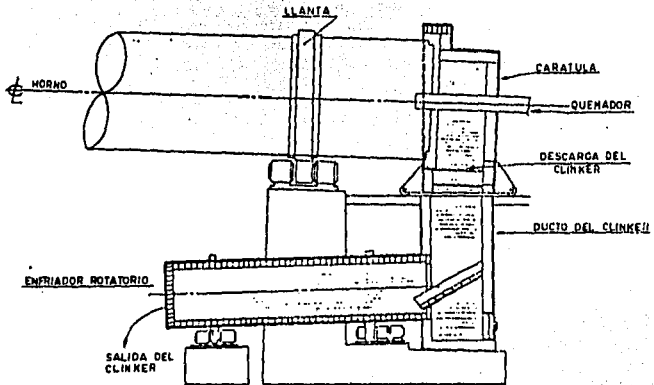
Entre los tipos de enfriadores que comúnmente se usan podemos citar los siguientes:

- ENFRIADORES ROTATORIOS.
- ENFRIADORES DE PARRILLA.
- ENFRIADORES DE SATELITES O PLANETARIOS.

Los enfriadores rotatorios y los de satelites o planetarios solo los enunciaremos ya que para el tipo de hornos de Cemento, los enfriadores que se usan son los de Parrilla.

ENFRIADORES DE PARRILLA.- Este grupo comprende a la mayoría de los enfriadores que se utilizan actualmente en las fábricas de cemento. El diseño de estos equipos es básicamente una caja rectangular, en donde el piso esta constituido por placas o rejillas móviles, horizontales o inclinadas, que desplazan el clinkera lo largo de todo el enfriador hasta la descarga. El enfriamiento es muy efectivo, ya que se aprovecha casi toda el área de contacto, este enfriamiento es a contracorriente con el aire que es alimentado al enfriador.

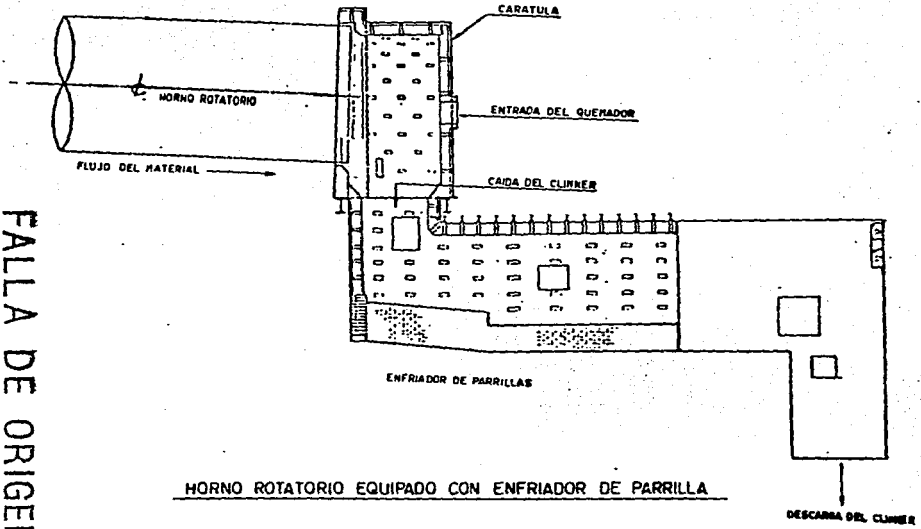
59-A



HORNO EQUIPADO CON CARATULA Y ENFRIADOR ROTATORIO

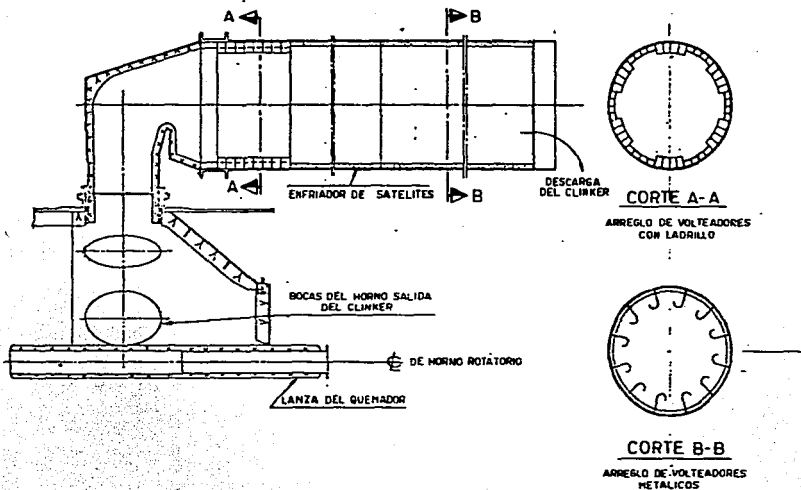
FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN



HORNO ROTATORIO EQUIPADO CON ENFRIADOR DE PARRILLA

FALLA DE ORIGEN



HORNO ROTATORIO EQUIPADO CON ENFRIADOR DE SATELITES

Las partes de este equipo que requieren de un revestimiento refractario son las paredes y el techo, lógicamente en el piso no se coloca revestimiento alguno para no impedir el libre movimiento de las placas o rejillas. En las uniones de las paredes con este piso, se refuerza el revestimiento en el desplante de las paredes aumentando el espesor del mismo hasta cierta altura, dependiendo de la capa de Clinker, a estos refuerzos se les denomina paredes de desgaste.

Los principales problemas que se presentan generalmente, en el revestimiento de enfriadores de parrillas tanto horizontales como inclinadas, son fallas de tipo estructural más que de desgaste, las cuales ocasionan paros para reparación.

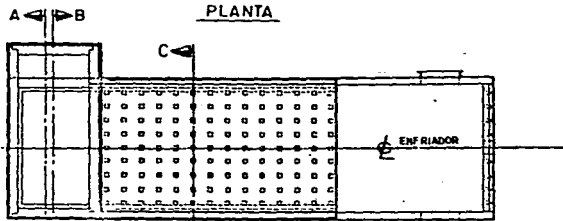
Para un buen diseño del recubrimiento y disminuir las fallas antes mencionadas se deben de tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Anclaje apropiado.
- Soportación adecuada de las paredes metálicas.
- Expansión y contracción del refractario.
- Penetración del polvo.
- Vibración de la unidad.
- Abrasión del Clinker.
- Soporte estructural del techo.
- Eficiencia del balance térmico.
- Minimisar fugas de aire.
- Balance económico en cuanto al costo inicial y al mantenimiento del revestimiento.

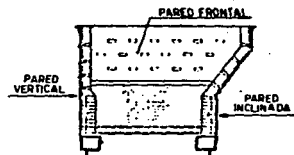
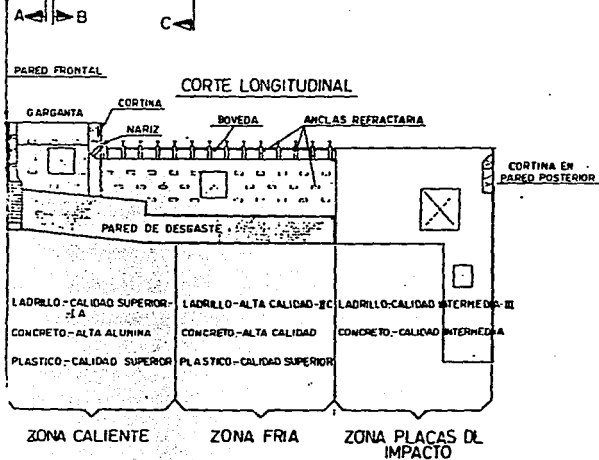
La construcción con ladrillo estándar no puede ser provista de un anclaje suficiente que soporte el revestimiento y al mismo tiempo que sea capaz de resistir la constante vibración y la penetración del polvo a través de las juntas del ladrillo, que empuja a éste y causa que

ENFRIADOR DE PARRILLA

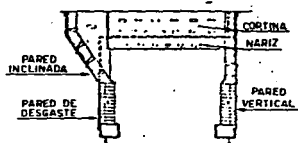
PLANTA



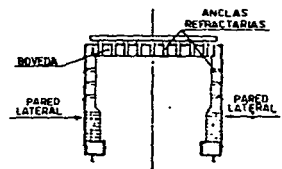
CORTE LONGITUDINAL



CORTE A-A



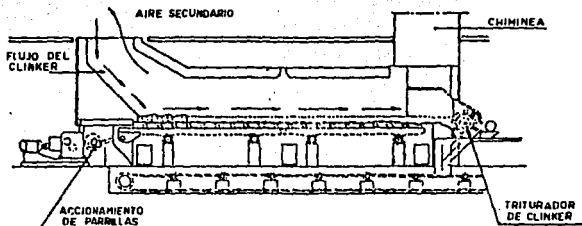
CORTE B-B



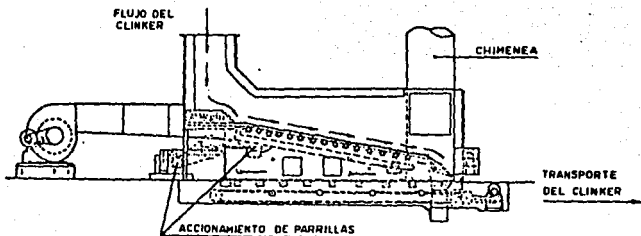
CORTE C-C

FALLA DE ORIGEN

60-B



ENFRIADOR DE PARRILLAS HORIZONTALES



FALLA DE ORIGEN

ENFRIADOR DE PARRILLAS INCLINADAS

se caiga parte del muro y haga necesaria una reparación

Con el empleo de concretos o plásticos refractarios se logran revestimientos monolíticos, instalados en secciones grandes de una sola pieza, que permiten construcciones libres de juntas, por donde pueda penetrar el polvo, además de que pueden ser suficientemente bien anclados obteniendo magnífica estabilidad del revestimiento.

Estudio del Diseño Refractario.- Con objeto de determinar la calidad del material refractario adecuado a las condiciones de operación de estos equipos; hemos dividido al enfriador de parrilla en tres zonas que denominaremos:

- ZONA CALIENTE.
- ZONA FRIA.
- ZONA DE PLACAS DE IMPACTO.

Zona Caliente.- En esta zona se encuentra el entronque con la carátula que se conoce con el nombre de garganta, la cual comprende la pared frontal, paredes laterales vertical e inclinada, la cortina y la nariz del techo suspendido; esta zona incluye también parte de las paredes laterales (después de la garganta) y bóveda.

La zona caliente se caracteriza por tener la más alta temperatura que se puede encontrar en estos equipos, aproximadamente 1100 °C., la cual aunada a la abrasión y al abuso mecánico ocasionados por el Clinker caliente constituyen los principales factores de desgaste del revestimiento.

Nuestra recomendación para esta zona, es una instalación mixta, formada por un ladrillo de Calidad Superior tipo I-A, según clasificación de N.O.M., para la

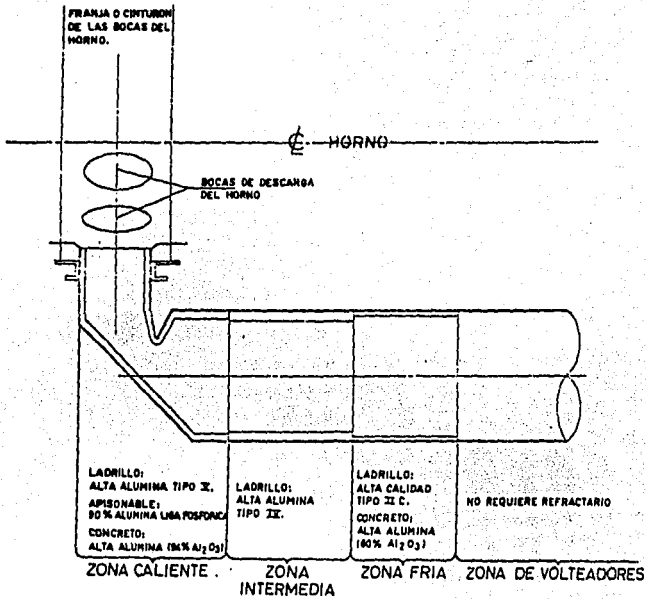
pared de desgaste y un revestimiento monolítico para el resto de la zona, que puede ser hecho a base de un concreto refractario de un contenido de 60% de Alúmina, resistente a la abrasión y a la alta temperatura; o bien para el revestimiento monolítico usar plástico de Calidad Superior, de un contenido de 50% de Alúmina, resistente a la abrasión. Estos revestimientos deberán estar sujetos a la coraza metálica por medio de un buen anclaje y como protección a la misma proponemos el uso de bloque aislante o colchoneta de lana mineral en la parte posterior del revestimiento monolítico.

Zona Fría.- Esta zona comprende una sección de paredes laterales y bóveda en la parte intermedia del enfriador. Los principales factores de desgaste del revestimiento son los mismos que en la zona anterior con excepción de la temperatura que es más baja, aproximadamente 650 °C.

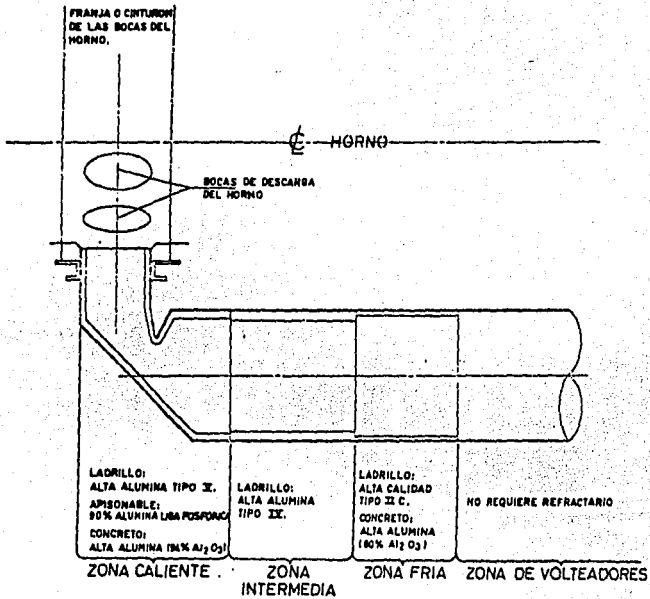
Al igual que en la Zona Caliente, nuestra recomendación para el refractario es una instalación mixta con ladrillo de Alta Calidad tipo II-c, según clasificación N.O.M., en la pared de desgaste y un revestimiento monolítico puede efectuarse con un concreto de Alta Calidad, resistente a la abrasión y un contenido de Alúmina del 42%, o instalar un plástico refractario de Calidad Superior que posea un 50% de Alúmina. Un buen anclaje es necesario para obtener una mayor duración del revestimiento, así como un aislamiento adecuado en el revestimiento monolítico.

Zona de Placas de Impacto.- Es la zona final del enfriador de parrilla. Comprende el resto de las paredes laterales, pared posterior y techo. Las condiciones de operación que prevalecen son: Baja temperatura,

ENFRIADOR DE SATELITES.



FALLA DE ORIGEN

ENFRIADOR DE SATELITES.

FALLA DE ORIGEN

aproximadamente 300 °C., la cual no es determinante, en cambio la abrasión sí lo es, ya que es muy severa, razón por la cual en esta sección se acostumbra usar placas de aleación especial en las paredes para resistir los impactos del Clinker, de aquí el nombre de esta zona, siendo el único refractario un revestimiento intermedio, que actúa como protección entre las placas y la coraza metálica. La calidad del refractario que recomendamos para este revestimiento, es un ladrillo de Calidad Intermedia tipo III, según N.O.M.; o bien un colado de concreto refractario también de calidad Intermedia.

Debido al diseño de estos equipos y a la baja temperatura, no se requiere del uso de refractario tanto en el techo como en la pared posterior, aunque es práctica usual instalar una especie de cortina en la parte superior de la pared posterior a la altura de piqueras y mirillas de inspección, a todo el ancho de la pared. Recomendamos que esta cortina sea colada con un concreto de Calidad Intermedia, soportada a la coraza con un anclaje adecuado.

EQUIPOS AUXILIARES.

En esta parte hemos incluido a ciertos equipos, los cuales en algunas fábricas de Cemento Portland requieren de algún revestimiento refractario, aclarando que en la mayoría de los casos estos revestimientos resultan como consecuencias muy particulares de esas plantas y están, por lo tanto, sujetas a muy diversas condiciones de operación. Consideramos como equipos auxiliares, entre otros a:

- DUCTOS DE CLINKER CALIENTE.
- SECADORES DE MATERIA PRIMA,

- CHIMENEAS.
- DUCTOS ESPECIALES.
- CAMARAS O COLECTORES DE POLVOS.

Dichos equipos tienen funciones muy variadas, como sus nombres lo indican, pero podemos decir que, con excepción de los ductos de Clinker caliente, los factores que justifiquen la existencia de revestimientos refractarios para estos equipos o para alguna parte de los mismos son:

- Condiciones de operación moderadas.
- Temperaturas no muy altas, (menores a 700°C.).
- Poca o ninguna abrasión.
- Gases que puedan condensarse y atacar a la coraza metálica.

Como se puede apreciar, de los factores antes mencionados, la recomendación para el revestimiento refractario será en base a procurar el mayor funcionamiento de estos equipos y prevenir al mismo tiempo la posibilidad de fallas de tipo estructural más que de desgaste, por lo que nuestra recomendación es instalar, debidamente soportado con anclas metálicas un concreto a un plástico refractario de Alta Calidad, como revestimiento de trabajo, y para aquellos equipos, como los ductos de Clinker, que estén sometidos a condiciones de operación más severa recomendamos usar concretos o plásticos refractarios de Alta Calidad y Resistente a la abrasión, como recubrimiento de trabajo y para protección y disminuir pérdidas de calor por radiación recomendamos emplear entre el revestimiento de trabajo o la coraza, un concreto aislante, o bien bloque aislante o colchonetas de lana mineral. El uso de ladrillos refractarios para estos equipos no se recomienda por la complejidad del diseño de los mismos, lo que resultaría en instalaciones laboriosas por el gran número

de cortes que habría que hacerles a las piezas para
ajustarlas.

C A P I T U L O . I I I

**INSTRUCCIONES Y RECOMENDACIONES DE INSTALACION
DE MATERIAL REFRACTARIO**

C A P I T U L O I I I

INSTRUCCIONES Y RECOMENDACIONES DE INSTALACION DE MATERIAL REFRACTARIO

III.1	Instalación con Ladrillo	66
III.2	Recomendaciones para la Instalación del Revestimiento de Hornos Rotatorios de Cemento.	74
III.3	Instrucciones para la Instalación y secado de Concretos Refractarios	88
III.4	Instrucciones para la Instalación y secado de Plásticos Refractarios	104
III.5	Detalles de Instalaciones Monolíticas	114
III.6	Comparación de un Revestimiento Monolítico y un Revestimiento con Ladrillo.	121

III.1 INSTALACION CON LADRILLO.

Para el tipo de construcciones con ladrillos refractarios se requiere de conocimientos generales tales como detalles de instalación, métodos de junteo, arreglos de juntas de expansión y otros detalles particulares sobre el equipo que se pretende revestir. Toda esta información se debe tener siempre presente sobre todo si es la primera vez que se reviste el equipo o bien tener antecedentes de la instalación original cuando se trata de una reconstrucción.

Pero, recordemos que dada la complejidad del diseño de los diferentes equipos, es imposible el tener un método unico de instalación, por lo que se recomienda siempre que sea posible recurrir a un especialista.

Con objeto de entender la terminología que se usa en este tipo de construcciones consideramos conveniente mencionar los siguientes aspectos.

FORMAS DE LADRILLOS.- Los ladrillos refractarios son producidos siguiendo determinadas formas llamadas normales o estándares, en los que se distinguen las líneas del sistema inglés y la del métrico, que difieren entre sí sólo en sus dimensiones, pues en ambos sistemas se mantienen las formas fundamentales. En la siguiente figura, podemos apreciar estas formas independientemente de sus dimensiones. A veces estos ladrillos reciben otros nombres; nosotros hemos preferido llamarlos con aquellos nombres por los cuales son más conocidos en México.

Se fabrican otros tipos, pero sólo se ilustran los de mayor uso. En cuanto a las dimensiones se consideran únicamente aquellos de producción estandar, puesto que en todos los catálogos de los fabricantes, se encuentra toda la información adicional.

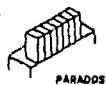
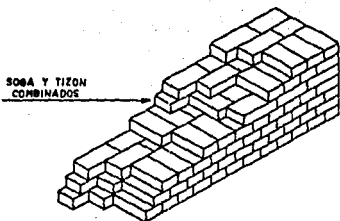
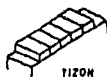
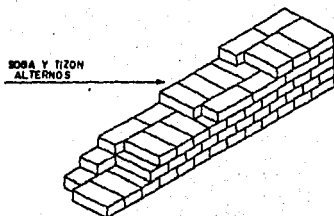
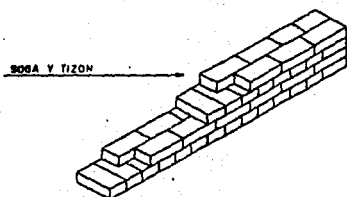
Se fabrican además un número muy considerable de las llamadas piezas especiales refractarias para usos específicos, como es el caso del horno rotatorio, techos colgantes de los ciclones en los precalentadores, techos colgantes de los enfriadores, etc.

MÉTODOS PARA COLOCAR LADRILLOS.- Hemos considerado importante las distintas formas de colocar los ladrillos al concluir una mampostería con ladrillos planos. En la siguiente figura se muestran los distintos métodos empleados, así como los nombres que se les da en México.

A veces las paredes de los hornos se construyen empleando varias calidades de ladrillos, por ejemplo: en el interior ladrillos refractarios sometidos a altas temperaturas, y en el exterior ladrillos porosos aislantes, o ladrillos rojos ordinarios para evitar pérdidas de calor excesivas aún en paredes muy gruesas, entre los refractarios y los aislantes se intercalan refractarios de menor calidad.

JUNTAS DE EXPANSION.- Todas las construcciones hechas con ladrillos refractarios deben estar provistas de juntas de expansión cuyas dimensiones dependen de las características del ladrillo utilizado. El no proveer de juntas de expansión o el hacerlas incorrectamente, es arruinar todo el trabajo realizado.

67-A



METODOS PARA COLOCAR LADRILLOS PLANOS

FALLA DE ORIGEN

Se debe dar atención al método de soporte de la instalación y a las varias partes que determinan en cuales direcciones se expandirá el material y los espacios de que deben estar provistos.

En los soportes metálicos tales como ganchos, pernos o ángulos que se encuentran parcialmente ahogados por las paredes de ladrillos se deben dejar huecos tales que permitan que la expansión del revestimiento no afecte dichos soportes. Se recomienda también si es posible proveer de ventilación a cualquier soporte metálico que se encuentre ahogado.

La localización, el tipo y el número de juntas requeridas en una instalación con ladrillo depende directamente de factores como:

- Estabilidad en cuanto al volumen de ladrillos.
- Tamaño promedio de la junta de mortero empleado.
- Espesor de la pared.
- El uso de ladrillo aislante posterior.
- Rango de temperatura esperado.
- Variación en intensidades de temperatura para las diferentes zonas expuestas en la misma pared.
- No debe de haber más de cuatro metros entre una junta y otra.
- Deben construirse juntas en las esquinas de los equipos, y si es necesario distribuirse uniformemente en las paredes.
- Deben ser herméticas y lo suficientemente libres para permitir el desplazamiento de la obra cuando ésta alcance su temperatura de trabajo.
- Debe hacerse el grueso de la junta de acuerdo con las características del ladrillo empleado.

Si el ladrillo ha sido seleccionado adecuadamente su volumen permanecerá prácticamente estable a través del rango de temperaturas a que estará sujeto, con lo cual el problema de la expansión se simplifica grandemente. Todos los ladrillos son por supuesto, sujetos a una expansión térmica reversible por lo que cualquier prevención puede normalmente hacerse de una manera fácil. Si el ladrillo seleccionado fuera alguno que tuviera un cambio

lineal permanente muy grande o fácilmente sujeto a resquebrajamiento el problema de la expansión es difícil de resolver, como es el caso de los ladrillos de sílice y sobre todo cuando su contenido es mayor al 65% ya que, estos crecen rápidamente al incrementar la temperatura, otro problema muy serio que se presenta es la expansión en el sentido vertical.

En algunos casos se recomienda el uso de una junta de expansión para separar zonas de diferentes temperaturas en una misma pared, especialmente donde se pueda apreciar zonas de trabajo distintas.

Esto es particularmente deseable si el ladrillo que se instala se une con un mortero de características de pegado fuertes.

Resumiendo para el problema de la expansión reversible y dado que el junteo no tendrá las mismas o la misma fuerza de pegado, normalmente es suficiente el dar al revestimiento juntas verticales escalonadas a través del revestimiento a intervalos de 1.2 a 1.5 mts. y colocando paquetes de expansión en donde se unan dos paredes. Dado que la expansión depende directamente de la temperatura, siempre se desarrollará del centro del revestimiento hacia sus extremos.

Si el revestimiento refractario de trabajo tiene en su parte posterior aislamiento, las juntas en expansión no deberán llegar hasta el aislamiento y se escalonarán para prevenir cualquier posible expansión del revestimiento de protección.

Donde quiera que se necesite dejar una junta de

expansión para separar dos zonas de diferente temperatura la parte exterior de la junta se debe rellenar para prevenir cualquier infiltración de aire, para lo cual, se recomienda usar un material fácilmente compresible, como asbesto o lana mineral. Las juntas en el interior de la pared se pueden rellenar con algún material inflamable como cartón o madera; esto es con objeto de que la junta quede limpia al finalizar la construcción. Los huecos de las juntas entre dos paredes se llenarán con cualquier compresible como asbesto, fibra de asbesto o lana mineral para aseguraraar que la junta no se llene con mortero durante la construcción.

El olvido de un adecuado aprovisionamiento para expansión puede producir que el revestimiento se rompa o se resquebraje restándole vida al revestimiento, ya que, ocurre que la cara de trabajo está expuesta a un mayor calentamiento y por lo tanto tendrá mayor expansión que la cara posterior que se encuentra a menor temperatura.

Se debe poner especial atención en la instalación con ladrillos a detalles como, procurar mantener niveladas las hiladas de los ladrillos, mediante el uso de guías, plomadas, niveles, etc. La junta de mortero debe ser sólo necesaria para la unión de los ladrillos, estimando un espesor de junta de mortero de 1 a 2 mm; y se debe ir rompiendo juntas en el sentido vertical, para lo cual se puede usar ladrillos de 3/4 o medios ladrillos en los extremos de las hiladas. En caso de encontrarse huecos o irregularidades en la coraza éstos deben ser rellenos. En el caso de tener revestimientos dobles se recomienda que las paredes sean amarradas entre sí cada cuatro o cinco hiladas.

Mientras más cuidado se tenga en estos detalles durante la instalación se asegurará un rendimiento mayor del equipo y del revestimiento, lo cual reditúa lógicamente una operación continua del equipo, ya que, se tendría menos paros para reparación y por lo tanto una mayor economía.

TECHOS EN FORMA DE ARCO.- En la construcción de techos, puertas, hogares, etc., se emplean arcos hechos a base de cuñas de punta o de canto, estos arcos son de distintos ángulos aproximadamente desde 40° hasta 180° (arcos de medio punto). El ángulo de estos arcos es seleccionado de acuerdo con varios factores, tales como el espacio entre las paredes en que se soporte, espacio para la combustión, circulación para los gases, etc.

Para la instalación de estos arcos se debe tener especial cuidado tanto en el diseño como en el trabajo que se va a realizar, si se quiere tener una obra duradera, de otro modo se deteriorará rápidamente el trabajo e incluso puede resultar peligroso. Las juntas de mortero entre las cuñas no deben pasar de 1mm., de espesor y el grueso del arco o de la bóveda debe guardar cierta relación con el claro, o sea el espacio entre las paredes que soporten el techo:

- 115 mm de espesor para claros hasta de 1.5 mts.
- 230 mm de espesor para claros hasta de 3.5 mts.
- 340 mm de espesor para claros hasta de 5.0 mts.
- 460 mm de espesor para claros de más de 6.0 mts.

Debe entenderse que estas cifras pueden tener algunas variaciones prudentes.

Los esfuerzos horizontales de los arcos deben ser

neutralizados por una estructura metálica diseñada con suficiente margen de seguridad; por regla general se emplean soportes angulares o canales a lo largo de las impostas soportadas por vigas "I" posición vertical, bien ancladas en su base y en su parte superior por tensores de acero. Las bóvedas de los arcos deben estar provistas, al igual que las paredes, de juntas de expansión siguiendo las mismas instrucciones dadas anteriormente.

Además existen techos planos contruidos con piezas de forma especial que se sujetan por medio de vigas de acero. Estas piezas refractarias tienen formas muy variadas, de acuerdo con los diseños de cada fabricante del equipo. Este tipo de construcción tiene el inconveniente de emplear gran cantidad de acero, pero su principal ventaja es la mayor durabilidad de la obra y su fácil reparación.

III. 2 RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION
DEL REVESTIMIENTO DE HORNOS
ROTATORIOS DE CEMENTO

El propósito de esta parte, es describir los diferentes métodos de instalación de revestimientos para hornos rotatorios, y señalar algunas de las precauciones que deberán ser observadas.

INSTALACION DEL REVESTIMIENTO.- Al empezar a forrar un horno rotatorio, lo mejor es comenzar por el extremo de descarga del horno, avanzando hacia el extremo de alimentación. De esta forma la inclinación pendiente del horno hace más fácil la colocación de un anillo con el que se puso anteriormente y ayuda a obtener juntas circunferenciales más fuertes. Gran cuidado se debe tener en la instalación original (primera), para mantener los anillos individuales del forro a todo lo largo del horno, perpendiculares al eje del mismo. Cuando se repara la sección, la perpendicularidad del anillo existente del forro adyacente al punto de iniciación deberá comprobarse. Lo anterior se puede comprobar fácilmente por medio de medidas a distintos puntos alrededor del horno desde la cara del anillo existente hasta una junta circunferencial en la coraza del horno.

Por lo tanto, el primer anillo del nuevo revestimiento deberá colocarse perpendicularmente al eje del horno, igual que con el cuidado observado en la primera instalación. Los anillos en algunas secciones del horno después de cientos de vueltas, tenderán a cambiar ligeramente su posición. En este caso algunos ladrillos del primer anillo tienen que ser de

un espesor menor. Un error en el inicio del primer anillo con respecto a su perpendicularidad, será, el resultado de una reparación difícil y mediocre, así los errores en el primer anillo se multiplican en los anillos subsecuentes.

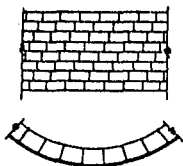
En los anillos finales el ladrillo debe ser cortado para que encaje. El anillo de ladrillo, encima de los anillos finales debe descansar sólidamente contra el anillo de retención más no debe ser cortado ya que este anillo sostiene todos los anillos incluidos hasta llegar al siguiente anillo de retención.

COLOCACION DE CARAS ALTERNADAS.- Los ladrillos de hornos rotatorios, especialmente los hechos por el método de la prensa seca, son ligeramente más largos en la cara donde llevan la marca que se encuentra en la otra cara. La cara del frente es ligeramente más larga y ancha que la otra cara debido a la salida del molde en el cual los bloques son prensados. Esta salida es necesaria para que se pueda extraer el bloque del molde sin ser dañado. Este factor no se le toma mucho en cuenta al colocar los bloques. La delineación del bloque puede ser compensada por simple vuelta de la cara.

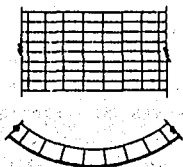
TIPOS DE JUNTAS O UNIONES.- Los ladrillos de los hornos pueden unirse en las construcciones de varias formas. Una manera es que la junta entre bloques debe coincidir con el centro del ladrillo del siguiente anillo. Pueden ser unidas también en forma de bloque donde las juntas están en una línea recta de arriba a abajo del horno o de una forma que estaría entre las dos explicadas anteriormente.

Muchos operarios han preferido la construcción del tipo donde las juntas se rompen cada $1/3$ ó $1/4$ de ladrillo.

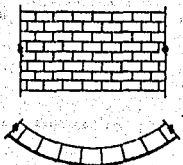
JUNTAS A CADA TERCIO DE LADRILLO.



JUNTAS CORRIDAS.



JUNTAS A MEDIO LADRILLO.



TIPOS DE JUNTAS O UNIONES.

FALLA DE ORIGEN

Con esta secuencia, entre juntas de anillos adyacentes, no hay un gran momento de flexión en el ladrillo y la tendencia a cuartearse se reduce notablemente, no obstante el desquebrajamiento mecánico y la tendencia a ranurarse.

El tipo descrito primeramente es el más usado ya que da buena estabilidad y resistencia a la disgregación de la o las esquinas. Una desventaja, sin embargo, es que una grieta se forma muy seguido en el centro de los ladrillos.

Algunos operarios creen que la construcción en línea recta es más fácil de construir y más fácil de reparar y mantener, una barra longitudinal se solda al horno y hace más fácil la instalación de los bloques. Una desventaja es la dificultad de tener juntas longitudinales perfectamente rectas, por las pequeñas variaciones en las dimensiones de los ladrillos. Donde se encuentran las cuatro (4) esquinas, es donde más se desarrolla la disgregación y en algunos casos ranuras que han llegado a deteriorar los ladrillos a lo largo de las juntas longitudinales.

CALZAS PARA ALINEAR LOS LADRILLOS BASICOS.- Debido a la variación de dimensiones de los bloques, así como por las irregularidades de la coraza del horno frecuentemente es necesario el uso de calzadas auxiliares que son suministradas en cada embarque.

Calzas angostas se utilizan para mantener cada hilada perfectamente alineada y para asegurarse que las líneas radiales son mantenidas paralelas al eje del horno.

Calzas de caballete se usan para mantener la posición radial real y para un ajuste exacto con la coraza del

horno. Si los ladrillos tienden a girar muy rápido, entonces el doble borde se coloca en la cara de trabajo o cara caliente. El uso de calzas dobles es indeseable e innecesario. Frecuentemente esto causa sobrecorrección. Antes de usar calzas dobles en la cara caliente, debe ponerse uno, dos ó más ladrillos para determinar que ladrillo se sale de la posición radial verdadera. Si los bloques forman un círculo muy grande, entonces la calza doble deberá colocarse hacia la cara fría o del lado de la coraza. El recubrimiento de metal, o posición de la calza deberá estar frente al siguiente bloque.

Calzas rectas se utilizan para ajustar y cerrar cada hilada. En ningún caso deberá haber más de una calza, de cualquier tipo, en cada junta radial.

TECNICAS Y METODOS DE INSTALACION.- Varios métodos se utilizan para instalar los ladrillos. Cada método así como sus variantes, pueden proporcionarnos una buena forma de colocación de los ladrillos, si se tiene el cuidado necesario. El método de gatos es el usado más frecuentemente para hornos de tamaño chico o mediano y algunas modificaciones a éste como la "cimbra de arco" ó "cercha", son usualmente preferidos para hornos largos.

Una buena colocación de ladrillos para hornos requiere de apropiadas juntas y anillos perfectamente cerrados. Esto requiere cuidados y ajustes apropiados para cada ladrillo.

METODO DE GATOS.- El revestimiento se empieza por el fondo del horno y se colocan las piezas por los dos lados hacia arriba hasta que se llega a la línea central del horno. El número de hiladas se determina por la facilidad con que el material se puede colocar cerca del obrero. Una sección de



CALZAS ANGOSTAS



LADRILLOS FORMANDO UN CIRCULO MUY GRANDE



CORRECCION CON CALZAS DE CABALLETE
COLOCANDO EL DOBLE BORDE HACIA LA CARA
FRIA O SECA DEL LADO DE LA CORAZA.



CALZAS DE CABALLETE



CORRECCION CON CALZAS DE CABALLETE
HACIENDO MAS SOLIDA LA UNION ENTRE LADRILLOS



FORMA DE RELLENAR PARA COMPENSAR UNA
CORAZA ONDULADA Y MANTENER EL CONTOURNO
DE LOS LADRILLOS.

CALZAS PARA ALINEAR LOS LADRILLOS BASICOS

FALLA DE ORIGEN

2 a 3 metros de largo es usualmente lo más conveniente. En la colocación de ladrillos básicos, hay que estar seguros de que se colocan con el cartón de expansión hacia la parte exterior del ladrillo, así que, si se usan martillos, sea sobre el cartón y no sobre el refractario.

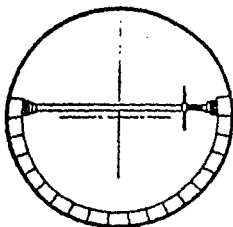
Se utilizan polfines colocándolos longitudinalmente a lo largo de cada lado del horno, ligeramente abajo de la línea del centro.

Los gatos se instalan entonces y se ajustan contra los maderos y se colocan separados de 0.45 a 0.90 metros para sostener los ladrillos en su lugar cuando el horno se gira.

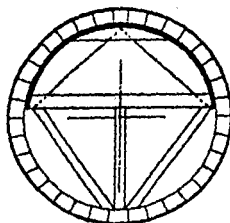
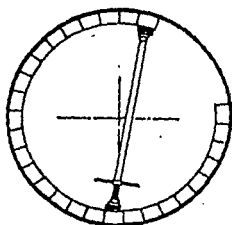
Los maderos deberán ser cuando menos de 76 mm x 152 mm ó 76 mm x 203 mm. Pequeñas cuñas se colocan entre el borde del madero y los ladrillos para sostener en escuadra al madero con el gato y apretarlo contra cada anillo, pero es mejor hacer una curva en la cara del madero para que ajuste exactamente con la curvatura del recubrimiento del horno. Un apoyo uniforme y positivo es esencial en la colocación del último ladrillo de cada anillo.

Después de que se ha ajustado con el gato el ladrillo en su lugar, el horno se gira aproximadamente 100° colocando ladrillos hasta llegar a la línea central del horno y en cada anillo se continúa.

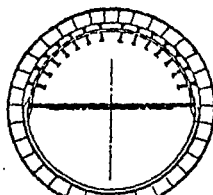
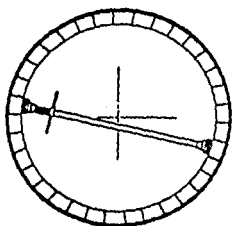
Finalmente el horno se gira otros 90° y se completan todos los anillos. Los gatos y maderos se pueden quitar entonces.



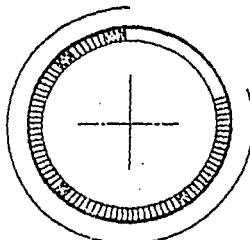
PASO I

METODO DE CIMBRA
DE ARCO

PASO II

METODO DE FORMACION
DE ANILLO

PASO III

METODO DE GATOSMETODO DE RESINA
EPOXI

FALLA DE ORIGEN

METODO CIMBRA DE ARCO.- Las variaciones del método de formación de cimbra de arco tiene una ventaja definitiva en la que el horno no tiene que ser girado. Los bloques son colocados primeramente en el fondo del horno, hasta llegar a un punto un poco más abajo de la línea del centro. Entonces se coloca una estructura de madera. Generalmente la estructura no es muy larga porque debe ser movida hacia adelante y apuntalarse después de que cada anillo o de que varios anillos se han cerrado. La práctica más usual es moverla con cada anillo. Algunas veces la estructura está hecha de tal forma que sostiene los bloques contra la coraza del horno. Más frecuentemente la estructura tiene un pequeño espacio libre para hacer posible la colocación de los anillos más fácilmente y entonces cada ladrillo es detenido y apretado contra la coraza por medio de una cuña entre el ladrillo y la estructura.

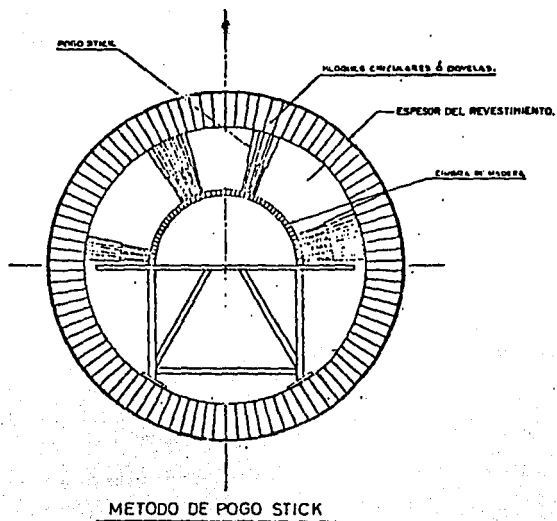
METODO DEL "POGO STICK".- Es otra variante del método de cimbra de arco porque la mitad de arriba se hace con un espacio de 0.60 a 0,75 metros, entre la estructura y la cara interna de forro del horno. Palos de resortes regulados, construidos bajo el mismo principio de un palo de pogo de niños, se utilizan para detener cada ladrillo en su lugar hasta que se cierra el anillo. La estructura es lo suficientemente ancha para poder instalar 5 ó 6 anillos antes de ser movida.

METODO USANDO RESINA EPOXY.- Uno de los métodos más modernos para revestir hornos es utilizando resina epoxy, cubierta por la patente, No. 3,246,442 emitida a favor de United States Gypsum Company.

La ventaja principal es la reducción de tiempo de

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

79-A



FALLA DE ORIGEN

paradas del horno especialmente por reparaciones, este tiempo se reduce por eliminación de la movilización y uso de gatos y plataformas. Todos los ladrillos se colocan en la mitad de abajo del horno.

Básicamente, 6 a 20 ladrillos sueltos se colocan en el fondo del horno y son sostenidos en su lugar a uno y otro lado por ladrillos pegados con resina epoxy. Después de esto se gira el horno y se repite el proceso.

INSTALACION DEL BLOQUE DE CIERRE

Los comentarios siguientes se aplican a cualquier método usado para colocar los ladrillos. El ladrillo de cierre es el más importante en el anillo y el ajuste apropiado de este ladrillo es un arte.

CIERRE DE LADRILLO BASICO.- El amarre de ladrillo básico se facilita por el uso de tejas cortadas longitudinalmente de ladrillos enteros, en forma tal que la pieza de cierre quede de un espesor entre $2/3$ y $3/4$ partes del espesor del ladrillo por cortar. Una teja de estas es generalmente suficiente para cada anillo. Ninguna hilada deberá tener más de dos de estas tejas.

GATOS PORTATILES AYUDAN A OBTENER CIERRES AJUSTADOS.- como se han estado construyendo hornos rotatorios en diámetros más grandes ha sido de gran importancia que no haya aflojamiento en los anillos antes de colocar el ladrillo de amarre. Para llevar a cabo esto, es necesario un gato hidráulico chico, en el espacio donde se va a colocar el ladrillo del cierre, aplicando una presión para ajustar el anillo. La presión necesaria no se puede determinar, más

que por observación. Generalmente el espacio de cierre puede incrementarse de 12 a 20 mm., en un horno de 3.00 mts., de diámetro. Cuando el movimiento de los bloques en el anillo cesa, el anillo ha sido ajustado lo suficiente. El gato hidráulico, aunque chico, puede ejercer bastantes toneladas de presión y deberá tenerse cuidado para no dañar el revestimiento por presión excesiva.

Se quita el gato y se selecciona un ladrillo que esté en perfectas condiciones, para el cierre. El ladrillo se mide y se marca según el espacio que se tenga para el cierre. Es muy importante que se tenga suficiente luz para dejar perfectamente marcada la pieza y el corte que se le practique sea perfecto. El corte se practica con una sierra de albañil o bien con un disco de carbón.

COLOCACION DEL LADRILLO DE CIERRE.- El ladrillo deberá cortarse de tal forma que pueda deslizarse en el hueco aproximadamente 12 mm., al ser colocado a mano. Después se pondrá en su posición con golpes de martillo, este deberá de suavizar los golpes con un pedazo de madera dura sobre la superficie del ladrillo. Nunca se deberá utilizar un martillo de acero sobre la pieza refractaria en forma directa.

Si el ladrillo se desliza en el espacio sin ser golpeado sáquese y sustitúyase por otro que entre con mayor presión, en el caso de que ya introducida la pieza no se aloje en su totalidad puede cortarse o bien puede ser sustituida por otra que embone perfectamente bien.

Siempre compruebe que el ajuste del ladrillo tenga un apoyo uniforme desde la cara caliente a la cara fría. Nunca deje un ladrillo que ajuste herméticamente en la cara

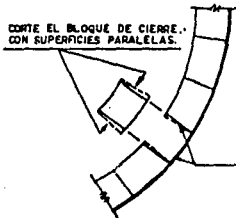
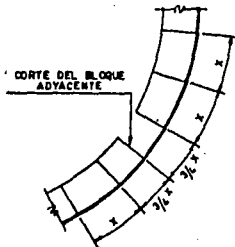
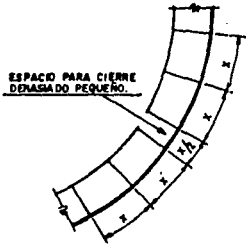
caliente, pero si que tenga una junta abierta cercana a la coraza. Si un ladrillo de cierre o uno adyacente se raja durante el golpeo, debe quitarse y reemplazarse por uno nuevo.

Un ladrillo de cierre no debe ser muy chico porque es muy fácil que se rompa mientras se coloca o después durante la operación del horno. Si el espacio libre es menor de la mitad de un ladrillo, entonces córtese un ladrillo adyacente para tener un espacio suficiente.

El ladrillo adyacente y el de cierre deberán cortarse ambos con líneas radiales. El ladrillo de cierre debe ser introducido por el lado donde se hizo el corte radial.

LADRILLO DE CIERRE DEL "ULTIMO ANILLO". - Puesto que el ladrillo se ha cortado radialmente para que ajuste con el ladrillo adyacente, este ladrillo tiene la cuerda interior menor que la del lado de la coraza y deberá colocarse desde afuera. Esto trae muy seguido la pregunta, ¿ cómo se coloca el ladrillo de ajuste en el último anillo de una sección, cuando la parte media de la zona de quemado se repara?.

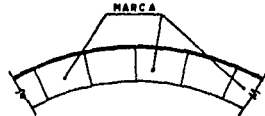
En este anillo el ladrillo de cierre debe colocarse perpendicular al eje del horno en vez de de lado. Esto significa que el ladrillo de cierre para el último anillo debe ser cortado con superficies paralelas y los extremos de los ladrillos adyacentes también deben ser cortados paralelos. Como este ladrillo no tiene adovelamiento que lo mantenga en su lugar deberá tenerse bastante cuidado al cortarse para tener un ajuste perfecto. Deberá ser pegado con un mortero de secado al aire de gran adhesión a alta temperatura. La adhesión del mortero ayuda a mantener el ladrillo en su lugar.



CORTE LOS BLOQUES ADYACENTES DE MANERA QUE ESTAS SUPERFICIES SEAN PARALELAS.



COLOCACION DE CARAS ALTERNADAS



LADRILLO DE CIERRE DEL ULTIMO ANILLO

FALLA DE ORIGEN

USO DE CALZAS PARA LADRILLOS DE ARCILLA Y LOS DE ALTA ALUMINA.

Una práctica bastante dudosa, y por lo tanto no recomendable en el uso de calzas para ajustar ladrillos de arcilla y alta alúmina. Sin embargo, algunos operarios utilizan calzas para ajustar los anillos, eliminando el cortar los ladrillos de cierre. Aunque este método es usado, el revestimiento se afloja debido a que las placas de fierro pronto se oxidan o funden según se usa el horno. Una atención especial a las buenas prácticas de albañilería eliminan la necesidad de calzas. Esto se aplica para los ladrillos refractarios de Arcilla y Alta Alúmina ya que los ladrillos Básicos se surten con calzas. La reacción en el ladrillo básico entre la calza de hierro y la Magnesita es benéfica.

CALENTAMIENTO DEL HORNO - Cuando se hacen reparaciones ordinarias al revestimiento, la pregunta de ¿Qué tan rápido debiera calentarse el horno?, es contestada de acuerdo con la urgencia existente de tener el horno en operación. Cuando las reparaciones causan pérdidas de producción, los hornos se llevan a la temperatura de operación, tan pronto como es posible sin dejar tiempo para el secado del revestimiento refractario. Hay dos preguntas difíciles de contestar respecto a esto y son: ¿Cuánto se daña el revestimiento? y ¿Cuánta pérdida de producción se ahorra?.

Por otro lado, es un hecho bien conocido que algunas instalaciones nuevas deben ser secadas cuidadosamente y llevadas a su temperatura de operación gradualmente. Cuando se empieza a usar un horno rotatorio nuevo o después de revestir una gran sección de otro, la práctica más usual

es usar un quemador auxiliar para alcanzar una temperatura a la cual el quemador principal se pueda prender. Los hornos deberán girarse despacio, un cuarto de vuelta cada 15 minutos para minimizar la formación de bolsas de aire caliente en la parte superior del horno.

La flama de los pilotos de aceite o gas para sistemas de ignición, no son generalmente suficientes para los propósitos de secado del revestimiento del horno. Cuando el quemador no puede ser operado a un flujo suficiente para elevar la temperatura despacio, se puede prender una o dos horas y luego apagar por un tiempo igual. Mientras el quemador está apagado la compuerta de tiro deberá estar cerrada para mantener el calor dentro del horno.

CONSTRUCCION DE LA SECCION DELGADA.- Existen corazas de hornos que tienen dos o tres diámetros diferentes. Algunas veces la sección de mayor diámetro está en la zona de quemado y otras veces está muy cerca del extremo de alimentación. El cambio de diámetro se distingue generalmente por una sección cónica y un adelgazamiento en el horno.

Afortunadamente, la mayoría de los hornos tienen un adelgazamiento gradual. Antaño, algunos de éstos se revistieron con formas especiales, pero más y más operarios están usando formas estándar.

Las formas estándar tienen varias ventajas. La promesa de entrega es normalmente más corta que para formas especiales. Las formas estándar se pueden hacer por el proceso de prensa seca por la gran uniformidad y su mejor textura para resistir la disgregación. El costo de

manufactura así como el precio de las formas estándar es menor y no hay gastos debido a los moldes nuevos.

Un revestimiento con formas estándar es, por lo tanto, más económico.

Los ladrillos se colocan perpendiculares al eje del horno justamente como los demás del revestimiento. Esto significa que cada cara de los bloques se apoya sólidamente con el siguiente en el anillo y proporciona juntas ajustadas alrededor del anillo.

Al colocar los bloques siguiendo el método anterior, queda un pequeño espacio debajo de ellos. Este espacio debe ser relleno para dar a los bloques un soporte mejor; una mezcla de mortero y pedacera de ladrillo es recomendada.

CONSTRUCCION DEL ANILLO DE RETENCION EN LA DESCARGA Y MAMPARAS.- Para este servicio, un concreto bien anclado tiene muchas ventajas. Algunas son: menos peso, vida más larga, revestimiento refractario firmemente sujeto a la coraza, no requiere de adovelamiento para mantenerse en su lugar y tiene menos juntas donde penetre el polvo o la fase líquida.

Muchos hornos usan en la actualidad anillos de retención con ladrillos estándar para hornos rotatorios en la descarga. Este tipo de construcción se puede hacer con ladrillos que se tienen en existencia y elimina así tardanza por el uso de piezas especiales. Un mortero deberá ser usado en estas construcciones. Si estos ladrillos son colocados secos o con arcilla refractaria, la rotación y la acción oscilante del horno pueden ocasionar el aflojamiento de la construcción.

El uso de piezas estándar para el anillo de retención de la descarga y mamparas, tiene las mismas ventajas descritas para las secciones que se adelgazan.

El espesor del recubrimiento varía 76 mm., por etapa al usar varias combinaciones de ladrillos. En cada etapa dos caras del ladrillo están expuestas al calor y carga, por lo tanto los extremos expuestos se desgastarán rápidamente por la abrasión y posiblemente desgajamiento hasta que se redondean, en tanto que la velocidad de desgaste es muy rápida al principio, pronto se reduce hasta una velocidad normal de desgaste en el resto del horno.

UN factor que debe considerarse en este tipo de construcción usando piezas estándar es su estabilidad. Todo horno rotatorio tiene una ligera flexión al girar. Esta construcción utiliza anillos concéntricos de ladrillos y donde los anillos no están colocados con habilidad y donde no se usó Mortero, probablemente se aflojen y eventualmente los ladrillos se caigan. Ha habido casos donde el anillo de ladrillos cercanos a la coraza se han desgastado entre la coraza y la parte inferior del anillo, por la ligera flexión que sufre el horno, y este desgaste ha sido causa suficiente para que la construcción se afloje y se caiga.

MORTERO.- Si se van a colocar bloques de Alta Alúmina, déjense secar y después úsese un Mortero de fraguado al aire para ponerle una capa. El Mortero deberá mezclarse hasta que tenga una consistencia cremosa, un poco más delgada que la usada para inmersión, para que sea lo suficientemente delgada y penetre en las juntas. Cepílese esta capa con una escoba para asegurarse de que el Mortero penetre en todas las juntas.

Aún cuando en algunos lugares la instalación del refractario para hornos rotatorios se lleva a cabo sin mortero, nuestra recomendación es el uso de éste para obtener máxima protección en las juntas así como una mayor estabilidad mecánica en el revestimiento.

III.3 INSTRUCCIONES PARA LA INSTALACION Y SECADO DE CONCRETOS REFRACTARIOS.

Los concretos a que se refiere aquí, son definidos como el grupo de concretos refractarios que tienen un fraguado con liga hidráulica. Se embarcan secos y desarrollan su resistencia cuando se mezclan con agua. Esta información no se refiere a materiales especiales, tales como refractarios con liga Fosfórica, que son algunas veces llamados concretos refractarios.

Estas instrucciones cubren principios básicos aplicables a todos los concretos.

NO USAR CONCRETOS REFRACTARIOS QUE SE HAYAN DETERIORADO DURANTE SU ALMACENAMIENTO.

Para que un concreto refractario permanezca en buen estado el máximo tiempo, deben tomarse las mismas precauciones que en el almacenamiento del cemento Portland, en otras palabras, deben mantenerse en condiciones totalmente anhidridas. No deben almacenarse en donde pueda lloverles, o donde hubiera goteras que mojen los sacos. En el caso de que los sacos de material sean protegidos con una cubierta de plástico, deberá tenerse ventilación suficiente con objeto de evitar la condensación que pudiera humedecer los sacos. No deben almacenarse los sacos en el suelo húmedo o de concreto.

Cualquier concreto refractario se convertirá

eventualmente en inadecuado para su uso aún en condiciones adecuadas de almacenamiento, ya que generalmente permanecen en buenas condiciones por seis meses considerados a partir de la fecha de manufactura. Este período de tiempo está en consideración de unas buenas condiciones de almacenaje (como se describen en el párrafo anterior). En algunas ocasiones, los concretos refractarios que han sido almacenados bajo condiciones ideales, con baja humedad relativa en el aire ambiente, están aún en buenas condiciones después de transcurrido dos veces el tiempo ya mencionado.

No es recomendable usar concretos refractarios que contenga terrones o grumos. A los concretos que han sido almacenados en pilas muy altas, se le formarán terrones a los sacos de la parte inferior, pero son devueltos fácilmente a su tamaño original de grano presionándolos con los dedos si el material no ha fraguado. Si se encuentran terrones duros, definitivamente el material ha fraguado convirtiéndose en inadecuado para su uso.

Si el concreto refractario no fragua en el tiempo normal o desarrolla una resistencia pequeña, es probable que se haya dañado durante su almacenamiento, aunque esto también puede ser causado por condiciones de temperatura muy baja o contaminación como se explica más adelante.

No hay manera de reprocesar el concreto refractario una vez que se haya dañado durante su almacenamiento.

USAR EL ANCLAJE RECOMENDADO. - Los tipos de anclaje utilizados para concreto estructural no son adecuados para las instalaciones refractarias. En concreto estructural, se utilizan varillas largas o malla de acero electrosoldada,

colocadas paralelamente a la superficie, dando buenos resultados, pues el cambio de temperatura raramente excede a 32 °C., (90 °F.). Sin embargo, las condiciones son completamente diferentes en el caso de los concretos refractarios, los cuales están destinados a operar a temperaturas mucho más altas. El acero expande aproximadamente dos y media veces lo que el concreto refractario por cada incremento de un grado de temperatura, por lo tanto, una varilla larga o una malla electrosoldada expande mucho más que el refractario y en lugar de reforzar el concreto refractario, la expansión del metal causará el rompimiento del mismo.

Otro problema es que la armadura de varillas o malla es calentada a la misma temperatura que el concreto que la rodea pues no hay manera de enfriarla. A menos que la temperatura sea más bien baja, el refuerzo de metal será sobrecalentado, causando que se oxide, resultando en un excesivo crecimiento del diámetro de la varilla con el consiguiente rompimiento del concreto refractario.

Se han desarrollado sistemas de anclaje basado en anclas metálicas de una aleación adecuada o anclas refractaria para soportar las condiciones de temperatura.

Excepciones a lo anterior se hacen cuando se tienen capas delgadas de concreto, operando a temperaturas inferiores a 425 °C., (800 °F.), que pueden anclarse con malla de alambre de acero o galvanizada. También los concretos refractarios son a menudo anclados colocando malla hexagonal de acero a temperaturas tan altas como 650 °C., (1200 °F.) en servicios donde exista abrasión fuerte.

IMPERMEABILIZADO DE MOLDES POROSOS Y PARTE POSTERIOR DEL COLADO .

Es de mucha importancia recordar que un concreto refractario desarrolla su resistencia y endurece debido a una reacción entre el material de liga hidráulica y el agua agregada para mezclado. Si no se agrega suficiente agua, esta reacción no llega a ser completa y el concreto refractario no desarrolla su resistencia total. Las cimbras de madera que no han sido impermeabilizadas a una pared porosa pueden absorber el agua que el concreto necesita para desarrollar su liga hidráulica.

Un método para evitar que salga el agua de la mezcla de concreto, es cubrir el molde, cimbra o parte posterior con algún tipo de cubierta impermeable, como aceite, parafina fundida o pintura de aluminio. Algunas ocasiones es más conveniente usar una lámina impermeable de plástico como subpiso antes de vaciar el concreto refractario.

Cuando no son practicables estos métodos para impermeabilizar una superficie vieja de refractario, puede rociarse varias veces con agua, hasta saturar el área, no debiendo dejar charcos de agua cuando el concreto sea vaciado.

REVOLVER TODO EL MATERIAL DEL SACO AUN CUANDO SE USE SOLAMENTE UNA PARTE DE EL.

Durante el transporte y manejo, puede tomar lugar alguna segregación de partículas finas y gruesas. Si se utiliza algo de material del saco sin premezclarlo, la parte usada puede no tener el porcentaje adecuado de agregado y material de liga, obteniéndose un trabajo pobre.

Por lo tanto es necesario premezclar el concreto cuando se vaya a usar parte del contenido del saco.

EVITAR LA CONTAMINACION. - Si se introduce un material contaminado dentro del concreto refractario durante el mezclado o su instalación, esto puede:

- Causar que el concreto refractario frague lento o parcialmente.
- Fraguar más rápidamente de lo que debía y no permitir suficiente tiempo para que quede instalado adecuadamente.
- Originar que el concreto tenga baja resistencia.

Cualquier fuente de contaminación debe eliminarse. Debe estar limpio el equipo de mezclado y manejo del concreto.

El cemento Portland, por ejemplo, contamina muchos concretos refractarios. No agregar ningún material extraño. Los concretos refractarios han sido cuidadosamente y no debe de agregárseles nada, excepto agua limpia. Algunos materiales que causan contaminación son: aceite, sal, azúcar, harina, bórax, otros cementos, morteros y algunos tipos de plásticos refractarios; esto desde luego es solo una lista parcial.

USAR LA CANTIDAD CORRECTA DE AGUA. - Como se explicó anteriormente una cierta cantidad de agua es necesaria para desarrollar la liga hidráulica.

Una cantidad menor de agua reducirá la resistencia. Un material demasiado seco, no tiene la trabajabilidad adecuada y es difícil trabajar o compactar en una masa sólida que tenga la resistencia necesaria.

Por otro lado, demasiada agua reduce la resistencia del concreto refractario igual que un exceso de agua menoscaba la resistencia del concreto Portland ordinario. También con una mezcla demasiado húmeda, puede haber segregación de los agregados y el material de liga, cuando se coloca.

Un método conveniente de comprobación para el contenido adecuado de agua en la mayoría de los concretos refractarios es lanzando al aire un puñado de mezcla varias veces tratando de formar una pelota, que es cuando la consistencia del concreto es la adecuada, si está seco se romperá en pedazos y si está demasiado húmedo, se escurrirá entre los dedos esparciéndose.

Generalmente en el saco se indica la cantidad de agua requerida, y esta cantidad puede ajustarse con mayor precisión con la prueba de la pelota, ya mencionada, con objeto de obtener la mejor trabajabilidad. Puede haber una pequeña variación en la cantidad de agua necesaria de una carga de concreto a otra y factores tales como el tipo de equipo de mezclado y tiempo de mezclado, pueden afectar la cantidad de agua requerida.

Una cantidad menor de agua reducirá la resistencia. Un material demasiado seco, no tiene la trabajabilidad adecuada y es difícil trabajar o compactar en una masa sólida que tenga la resistencia necesaria.

Por otro lado, demasiada agua reduce la resistencia del concreto refractario igual que un exceso de agua menoscaba la resistencia del concreto Portland ordinario. También con una mezcla demasiado húmeda, puede haber segregación de los agregados y el material de liga, cuando se coloca.

Un método conveniente de comprobación para el contenido adecuado de agua en la mayoría de los concretos refractarios es lanzando al aire un puñado de mezcla varias veces tratando de formar una pelota, que es cuando la consistencia del concreto es la adecuada, si está seco se romperá en pedazos y si está demasiado húmedo, se escurrirá entre los dedos esparciéndose.

Generalmente en el saco se indica la cantidad de agua requerida, y esta cantidad puede ajustarse con mayor precisión con la prueba de la pelota, ya mencionada, con objeto de obtener la mejor trabajabilidad. Puede haber una pequeña variación en la cantidad de agua necesaria de una carga de concreto a otra y factores tales como el tipo de equipo de mezclado y tiempo de mezclado, pueden afectar la cantidad de agua requerida.



DEMASIADO SECO



DEMASIADO HUMEDO

FALLA DE ORIGEN



CANTIDAD DE AGUA CORRECTA

MEZCLAR APROPIADAMENTE.- Es importante usar el tipo correcto de equipo de mezclado. Nunca debe mezclarse un concreto refractario sobre un piso o una caja de mortero con escapes o vías de agua, donde algo del material de liga pueda ser arrastrado con el agua que escapa.

Pueden mezclarse pequeñas cantidades a mano, en un cubo, carretilla, o por medio de una caja de mortero y una cuchara de albañil.

Para el mezclado mecánico, se recomienda la mezcladora del tipo de paletas. Esta mezcladora, también llamada mezcladora de mortero o yeso, tiene cuchillas sobre un eje de rotación horizontal, el cual mezcla rápida y totalmente, desarrollando buena trabajabilidad con la cantidad mínima de agua.

Aunque las mezcladoras del tipo de tambor se han usado extensamente con algunos concretos refractarios, su acción de mezclado es menor que la de las mezcladoras de paletas. Este tipo de mezcladoras trabajan mejor para mezclas gruesas no plásticas tales como concreto estructural ordinario. Algunos de los concretos más adherentes se pegan a los lados del tambor impidiendo un mezclado adecuado y la carga no es vaciada completamente. El tiempo de mezclado es igualmente tan importante como el uso del equipo adecuado. Si el concreto refractario no es mezclado suficiente tiempo, tendrá que agregarse más agua para desarrollar la trabajabilidad adecuada para su instalación. Con una mezcladora de paletas, los concretos refractarios pesados requieren de 2 a 3 minutos de mezclado. No es prudente reducir el tiempo de mezclado a menos de 2 minutos.

Los concretos refractarios de peso ligero (aislantes), requieren una precaución adicional. Deben mezclarse suficiente tiempo para que el agua y el concreto queden íntimamente mezclados, ya que un tiempo de mezclado demasiado largo desintegra el agregado ligero, causando un mayor peso por metro cúbico cuando se instala reduciendo

totalmente la eficiencia del aislante. En concretos aislantes se usa un agregado a base de vermiculita para obtener un peso ligerísimo. Estos deben mezclarse solamente de medio a un minuto en una mezcladora de paletas para evitar el desintegrado de la Vermiculita. Ya que estos concretos requieren una cantidad de agua considerablemente mayor que para los pesados, el agua se mezcla más fácilmente y es permisible el tiempo.

Cuando se mezcla a mano, el agua debe agregarse gradualmente. Cuando se mezcla por medio de una maquina, la mayor parte del agua debe de ponerse en la mezcladora primero. Mientras se mezcla se agrega la cantidad adicional de agua necesaria para desarrollar la consistencia adecuada para su uso.

Cuando un concreto refractario se aplica con una pistola neumática a menudo se desarrolla mucho polvo, tanto que el operador no puede ver suficientemente bien para ejecutar un buen trabajo, aún con ventilación. En este caso es recomendable un premezclado con la justa y suficiente cantidad de agua, en una mezcladora de paletas, con objeto de reducir el nivel de polvo. Un beneficio secundario que se obtiene, es que se reducen las pérdidas por rebote. Es mejor introducir el agua a la mezcladora por medio de un rocío fino para así asegurar su distribución uniforme, agregando solamente la mínima cantidad de agua requerida para mantener bajo el nivel de polvo, es fácil para el operador controlar el agua en la boquilla y hay menos peligro de que el material salga demasiado húmedo causando un flujo no uniforme del material a través de la maquina.

INSTALAR EL CONCRETO REFRACTARIO DENTRO DEL TIEMPO RECOMENDADO.

La mayoría de los concretos refractarios fraguan considerablemente más rápido que los concretos estructurales ordinarios. Deben verse las instrucciones para el máximo tiempo permisible desde que se deja de agregar agua hasta que el concreto refractario ha sido instalado.

Si transcurre un período de tiempo largo antes de instalar el concreto refractario, este empieza a fraguar y pierde parte de su resistencia, y si se utiliza no se obtendrá una buena instalación. Una vez que el concreto refractario ha empezado a fraguar, no hay que agregar agua para volver a producir una consistencia trabajable, debe tirarse esta carga y mezclarse nuevo material.

Algunos concretos refractarios endurecen unos cuantos minutos después del mezclado por aglutinamiento, esta no es la acción del fraguado hidráulico y no perjudica al producto. Si el endurecimiento es causado por aglutinamiento y no por fraguado, se puede obtener nuevamente una buena consistencia trabajable simplemente mezclando nuevamente sin agregar agua.

VIBRADO O PICADO ADECUADO DEL CONCRETO REFRACTARIO PARA ELIMINAR BOLSAS DE AIRE.

Un vibrado o picado deficientes del concreto provoca oclusiones de aire que dan por resultado una estructura porosa con baja resistencia. Las bolsas de aire y cavidades deben eliminarse del material para obtener homogeneidad y una estructura resistente. Con una cuchara de albañil o pala

se trabaja bien para picar la mayoría de los concretos refractarios. Para algunos de los concretos más ligeros, es mejor emplear una pieza de madera y para grandes masas de concretos pesados, es bastante efectivo usar vibrador para concreto.

Aunque la causa de problemas más frecuentes es insuficiente vibrado, demasiado vibrado también es dañino; puede causar la segregación del material de liga hacia la superficie o concentrarlo cerca del cabezal del vibrador si éste no es movido continuamente. Retirando el vibrador muy rápidamente puede dejar un orificio en el concreto refractario. En el caso de concretos ligeros, demasiado vibrado puede comprimir o separar el agregado resultando un concreto más pesado y variando por lo tanto su poder aislante. Como norma general se recomienda no usar un vibrador con un concreto refractario aislante.

NO ALISAR LAS SUPERFICIES PARA OBTENER UN ACABADO TERSO.

Algunas veces el trabajador quiere hacer un trabajo bonito alisando la superficie hasta obtener un acabado terso; (pulido integral), esto causa que los finos lleguen a la superficie sellándola ocasionando un secado deficiente después de que ha sido terminado el período de curado. Esto también promueve el empolvamiento de la superficie cuando el horno es puesto en operación y en casos extremos, la delgada capa de la superficie puede desprenderse.

Es mejor raspar la superficie o nivel usando un tablón de madera. No alisar para obtener una superficie tersa usando una cuchara de acero.

EVITAR TEMPERATURAS EXTREMAS DURANTE LA INSTALACION Y MIENTRAS EL CONCRETO REFRACTARIO ESTA DESARROLLANDO SU LIGA HIDRULICA.

Son indeseables tanto bajas como altas temperaturas del concreto refractario y de la atmósfera en que es instalado. Las temperaturas ambiente más deseables están comprendidas entre 15 y 32 °C., (60 a 90 °F.).

A temperaturas más bajas, disminuye la velocidad a la cual el concreto refractario fragua o desarrolla su resistencia. A temperaturas ligeramente superiores a la de congelación del agua, el tiempo de fraguado del concreto aumenta a más de dos veces el requerido normalmente.

Si el concreto ha sido almacenado a temperaturas abajo del punto de congelación, úsese agua caliente para el mezclado, o mejor aún, colóquese el concreto en un cuarto con circulación de aire caliente por lo menos durante 24 Hrs. De otro modo, pueden formarse cristales de hielo en la mezcla resultando una trabajabilidad pobre y tendrá que agregarse demasiada agua. El concreto será siempre digno de confianza si se instala a temperaturas superiores al punto de congelación del agua.

Temperaturas muy altas incrementan la velocidad a la cual el concreto fragua o se endurece. Esto significa que habrá menos tiempo de mezclado y colocación del material. Si el concreto refractario está demasiado caliente al momento de mezclarlo, puede ser necesario usar agua fría para reducir la temperatura de la mezcla, de tal manera que permita suficiente tiempo para instalarlo antes de que empiece a fraguar. Por esta razón es preferible no almacenar el

concreto en la cercanía de un horno o expuesto al sol.

NO PERMITIR QUE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO SEQUE AL AIRE
EN LAS 24 HORAS SIGUIENTES A SU INSTALACION.

No debe permitirse que el concreto refractario se seque durante las primeras 24 horas después de su instalación ya que esto roba el agua que necesita para desarrollar su liga hidráulica. Esto promueve el empolvamiento de la superficie cuando se pone en operación el horno. Como se explicó anteriormente, la misma cosa ocurre cuando los moldes o parte posterior no son impermeables. Este período de curado debe incrementarse bajo condiciones atmosféricas frías, para permitir que el concreto refractario tenga el tiempo necesario para desarrollar su liga hidráulica.

Un modo de proteger la superficie del concreto refractario de la evaporación es rociarlo, a intervalos regulares, con una fina llovizna de agua. Debe permitirse que el concreto refractario frague parcialmente para que el agua de rocío no arrastre el material de liga. Cuando pueda frotarse la superficie del concreto con el dedo y no se manche, estará suficientemente duro como para empezar el rocío. Los concretos refractarios más ligeros no requieren rocío tan pronto ni tan a menudo como los concretos densos, pues se les ha agregado más agua para obtener la propia trabajabilidad para su instalación. En atmósferas calientes y secas, el rocío se requiere con más frecuencia. En general, es aconsejable rociar los concretos densos cada 30 minutos ó 1 hora, hasta que se termine el período de 24 horas de curado.

En tanto que con el método anterior se obtendrá un trabajo satisfactorio cuando se tenga cuidado; un método mejor es aplicar una cubierta de material para el curado a base de resinas cuando la superficie se ha terminado y no hay humedad libre sobre ella, (membranas de curación). Este tipo de material, desarrollado para proteger la superficie del concreto de la evaporación, forma una membrana impermeable la cual evita la evaporación del agua. El costo de mano de obra se reduce considerablemente y el método es más seguro que el de rocío de agua.

Una cubierta impermeable de plástico, tales como las que se usan como barrera de calor en construcción de edificios, es la más efectiva para instalaciones tales como pisos y cubiertas de carros. La hoja puede colocarse sobre el concreto refractario después de su instalación.

Cuando se revisten pequeños recipientes o ciclones, es posible sellar todas las aberturas para evitar la pérdida de humedad. La humedad relativa rápidamente se incrementa a 100 % en el interior y evita cualquier pérdida posterior de humedad en la superficie.

Como se mencionó, la protección contra las pérdidas de humedad toma importancia creciente cuando la temperatura del aire es alta y la humedad disminuye. Los concretos refractarios densos son más susceptibles a reducir su resistencia por evaporación de su superficie, pues éstos tienen más bajo contenido de agua que el de los concretos aislantes. En resumen, no debe permitirse que los concretos sequen al aire mientras desarrollan su liga hidráulica.

El periodo de curado, durante el cual el concreto refractario está siendo protegido contra el secado, puede

extenderse si se desea y se incrementará ligeramente la resistencia del concreto. Después que el concreto refractario ha desarrollado totalmente su liga hidráulica, puede permitírsele secar al aire por tiempo indefinido antes de aplicar calor para completar el secado y llevar el horno a su temperatura de operación.

Los concretos refractarios son similares a los concretos estructurales ordinarios en el aspecto de que pueden dañarse por heladas, particularmente en el período durante el cual desarrollan su liga hidráulica. El mejor procedimiento es prevenir las heladas que lo afecten hasta que se aplique calor para eliminar la humedad.

CALENTAR LENTAMENTE EL CONCRETO REFRACTARIO LA PRIMERA VEZ.

Como se explicó debe permitirse un mínimo de 24 horas al concreto para curado antes de empezar el secado y calentamiento. Déjese más tiempo cuando la temperatura sea baja.

Hay dos razones por las cuales no deben calentarse demasiado rápido los concretos refractarios la primera vez. Una es que éstos tienen una permeabilidad considerablemente más baja comparándola con ladrillo o plástico refractario. Si se calienta demasiado rápido, el agua al evaporarse desarrolla alta presión dentro del concreto, lo cual romperá el revestimiento arruinándolo.

La otra razón es que se puede causar el desarrollo de una distribución de grietas en la fase fría, las cuales se extienden dividiendo el concreto a través de la fase

caliente. Un programa de calentamiento rápido causa que la fase caliente saque y eleve su temperatura mientras que el resto del concreto se mantiene frío por la evaporación del agua. La fase caliente se expande causando el desarrollo de cuarteaduras en la fase fría. Como resultado el revestimiento de concreto refractario no es fuerte y se pierden algunas de las ventajas de un revestimiento monolítico.

Los siguientes programas de secado están basados en un revestimiento de un componente para un espesor de 229 mm., o menor.

<u>PROGRAMA</u>	<u>"A"</u>	<u>"B"</u>	<u>"C"</u>	<u>"D"</u>
Incremento máximo de temperatura por hora.	55°C.	40°C.	30°C.	15°C.
Mantener temperatura cte. por cada 25mm. de espesor a:				
120°C.	1/2 Hr.	1/2 Hr.	1/2 Hr.	1 hora.
260°C.	1/2 Hr.	1/2 Hr.	1/2 Hr.	1 hora.
540°C.	--	1/2 Hr.	1/2 Hr.	1 hora.
815°C.	--	--	1/2 Hr.	1 hora.
Tipo de Concreto	muy ligero	ligero	denso	muy denso

Los siguientes comentarios pueden ayudar a explicar los programas de secado anteriores:

- Las temperaturas referidas son las temperaturas de los gases calientes en contacto con el concreto refractario más bien que las temperaturas del concreto mismo. Un termopar

colocado a alrededor de 13 mm., de distancia de la superficie del concreto, proporciona un buen medio de medida de la temperatura.

- La temperatura deberá medirse donde sea más alta, para evitar sobrecalentamientos localizados.
- Los concretos refractarios deben calentarse a una velocidad más lenta cuando se trabaja con un material más crítico en el horno, o cuando es deseable por otras razones. Por ejemplo, si la temperatura no puede controlarse con exactitud, tómese un programa más lento. También será necesario un programa más lento en un horno grande para evitar una excesiva diferencia de temperatura entre el quemador y el extremo opuesto de la unidad.
- Estos programas son para espesores de 229 mm., o menores. Para espesores mayores, es aconsejable un calentamiento a menor velocidad.
- En recubrimientos de dos o más concretos se requiere frecuentemente un programa más lento. Esto es particularmente importante cuando el horno tiene una camisa de vapor hermética y se utiliza concreto refractario aislante atrás de un revestimiento de servicio de un concreto refractario denso.

El programa de calentamiento debe basarse en el diseño del recubrimiento refractario de cada horno en particular.

Como un ejemplo, el siguiente es el programa que podría usarse para un recubrimiento de concreto refractario de 152 mm., de espesor calentandolo a 1200°C., por medio del programa "A".

1.- Incrementar la temperatura 55°C., por hora hasta 120°C.	2 horas
2.- Mantener a 120°C.	3 horas
3.- Incrementar la temperatura 55°C., por hora hasta 260°C.	2 1/2 horas
4.- Mantener a 260°C.	3 horas
5.- Incrementar temperatura 55°C., por hora hasta 1200°C.	17 horas
total	27 1/2 horas

En resumen puede notarse que la mayoría de las precauciones requeridas para un buen trabajo con concretos refractarios son las mismas que se siguen para un buen trabajo con concreto estructural. Las precauciones adicionales requeridas para los concretos refractarios son debidas al hecho de que éstos van a someterse a altas temperaturas mientras el concreto ordinario no.

III.4 INSTRUCCIONES PARA LA INSTALACION Y SECADO DE PLASTICOS REFRACTARIOS

Los materiales a los que nos referimos son aquellos refractarios de consistencia plástica que se utilizan para construcciones sólidas y revestimientos monolíticos de varios equipos en la industria del cemento, que involucren calor. Y dado que se presentan listos para emplearse se

aprovechan frecuentemente para parchar o reparar revestimientos de ladrillo ya deteriorados.

PREPARACION DEL PLASTICO REFRACTARIO PARA SU INSTALACION.

Los plásticos refractarios deben de ir envueltos en bolsas de polietileno para conservar su humedad y empacados en cajas de cartón, por lo cual estarán listos para emplearse, siendo únicamente necesario abrir los cartones y cortar la masa compactada de plástico en lajas, sin requerir ninguna otra preparación.

Dado que los plásticos contienen cierta cantidad de agua, alrededor de un 10% se verán considerablemente afectados por heladas, o si el clima es muy frío, por lo cual se recomienda proteger el material, conservándolo en un ambiente apropiado, las temperaturas del ambiente más deseables, para tal caso, están comprendidas entre los 15 y 32 ºC.

Un almacenaje prolongado también perjudica a estos materiales, ya que, pueden estar demasiado secos o muy húmedos, perdiendo de esta manera la trabajabilidad adecuada.

Una vez abiertos los cartones y cortada la masa de plástico en lajas debe procurarse usar inmediatamente, ya que, pueden ganar o perder humedad perjudicando la uniformidad del revestimiento. Bajo condiciones propicias el plástico ya desempacado puede conservar su trabajabilidad durante 8 o 10 horas.

USO DEL TIPO DE ANCLAJE RECOMENDADO.

En los revestimientos monolíticos hechos a base de plásticos en grandes reparaciones es necesario asegurar el plástico a la pared posterior por medio de anclas, que pueden ser refractarias o metálicas. Estas anclas soportan el plástico contra la pared posterior, que pueden ser de ladrillo refractario, común o directamente contra la coraza.

Debido a las varias condiciones de operación encontradas y en los numerosos tipos de equipo que requieren de un revestimiento plástico, es prácticamente imposible tener un solo tipo de ancla que pudiera dar un buen servicio bajo, cualquier condición. Cada tipo de ancla tiene una aplicación definida partiendo de un mismo principio básico de diseño, que es el de proporcionar libertad de movimiento al plástico durante sus expansiones y contracciones.

Más adelante se trata lo referente a los tipos de anclaje diferentes que se usan en instalaciones monolíticas.

IMPERMEABILIZACION DE MOLDES O CIMBRAS.

Es muy importante mencionar que algunos plásticos refractarios desarrollan su resistencia y endurecen en base a su liga hidráulica. Por lo que es conveniente que el plástico no pierda su humedad y pueda desarrollar su resistencia total. Las cimbras de madera que no han sido impermeabilizadas o una pared porosa pueden absorber el agua que el plástico necesita para desarrollar su liga hidráulica.

Normalmente la instalación de los plásticos refractarios no requiere del uso de cimbras especiales, con excepción de la construcción de techos, ya sean suspendidos o en forma de arcos en donde si son indispensables y deberán ser removidos a partir de que el plástico haya alcanzado una resistencia suficiente que le permita mantenerse por sí mismo en su lugar. Por lo general el revestimiento alcanza esta resistencia a las 24 horas de instalado.

INSTRUCCIONES PARA LA APLICACION.

En orden de formar una estructura monolítica con todas las lajas de plástico cortadas es necesario colocarlas continuamente en el sitio donde se va a aplicar, un mazo de 3 libras o una pisoneta neumática son las herramientas ideales para este propósito. Para construcción de paredes las lajas se deben colocar dejando un espacio de 6 a 8 mm., entre ellas el cual será cubierto por el plástico durante el martilleo, estos espacios deberán eliminarse para evitar dejar atrapado aire que pudiera producir fallas en el revestimiento posteriormente.

En el martilleo el mazo o la pisoneta deben guardar una posición inclinada de 45° con respecto a la masa que se está apisonando, procurando golpear contra la pared posterior.

El golpeo se empieza de la pared posterior hacia afuera, se repite el golpeo recorriendo las lajas de plástico. Después de que cada grupo de lajas ha sido martillado en su lugar se corta el chaflán que se forma en las filas (o sea el formado en la pared posterior y en el

piso). Esto produce que se mate el filo permitiendo que el siguiente grupo de capas se adhiera y al mismo tiempo lo empuje hacia la pared posterior.

Se recomienda que al terminar de martillar cada capa de plástico se pique ésta, para lograr que el siguiente grupo pueda adherirse mejor a la capa ya compactada.

Para el picado del plástico se suele usar un cepillo metálico, picahielo o un cuchillo pequeño, particularmente si las hojas están cortadas en cuadro. Se acostumbra para asegurarse de que la pared tenga el espesor requerido se vaya checando con las dimensiones de las anclas, ya que ellas van al ras del revestimiento, es necesario tener cuidado de no picar alrededor de las anclas.

Cuando se va instalar una pared alta, se debe colocar un cordel o una guía de la base al techo y la cara de esta pared debe ser picada o rascada con algo punzante con objeto de dejar rugosa la superficie y esto ayude a que escape fácilmente la humedad de la mezcla durante el quemado.

Un procedimiento satisfactorio para instalación de plástico en paredes rectas con pisonetas neumáticas consiste en martillar con una serie de golpes a lo largo de la cara superior del plástico adyacente a la pared posterior a una distancia conveniente. Esta sencilla fila de golpes con la pisoneta asegura temporalmente las lajas del plástico en posición.

La pauta de golpes por lo tanto sigue el método de mano; esto es, los golpes empiezan en la pared posterior y se trabaja hacia el lado interior, orilla de la pared de plástico.

Una superficie plana y a nivel de plástico es mantenida gracias a los intervalos en el golpeo acumulándose el plástico hacia la pared posterior y disminuyendo hacia donde se este golpeando, el martillo debe sostenerse en una posición inclinada contra la pared posterior conduciendo de esta manera el plástico hacia ella, esto prevendrá cualquier posible fractura en el revestimiento.

Después de que cada serie o cada dos series de lajas han sido instaladas en la pared el filo deberá ser cortado de igual manera que en la instalación con martillo de mano, igual que en lo otro, esto permite juntar y compactar el plástico más fuertemente.

Es importante aclarar que cuando se instalan anclas refractarias para sostener la pared se debe utilizar un martillo de mano para golpear el ancla que se va a colocar y el plástico que rodea a ésta, una vez que se ha colocado una hilada de anclas se debe tener mucho cuidado al volver a usar la pisoneta neumática para golpear la laja de plástico que se coloca sobre las anclas, ya que éstas podrían fracturarse.

En la construcción de techos suspendidos el plástico debe ser colocado en forma de cajas, la pisoneta o el martillo de mano deberá sostenerse en una posición inclinada que permita que se golpee al plástico contra el muro de apoyo que deberá estar previamente instalado, en estos casos es requerida una cimbra de madera y se recomienda usar un molde de madera con el mismo diseño del ancla al cual golpear más fuertemente contra el plástico, quitándolo posteriormente dejando el contorno del ancla dentro del plástico. Una vez hecho esto se procede a colocar en este espacio el ancla refractaria. Este molde esta equipado con

una superficie plana recubierta metálicamente para soportar el golpeo del martillo sin astillarse.

Para la colocación del molde en el plástico se corta una sección en "V" para introducir éste y posteriormente golpearlo hasta introducirlo totalmente. El uso de estos moldes mejora grandemente la rapidez de la instalación y elimina el rompedero de anclas refractarias.

SECADO DEL PLASTICO.

Un prolongado secado al aire de cualquier revestimiento plástico tendrá una mayor tendencia a presentar roturas o fracturas que si el material es quemado inmediatamente después de su instalación, los cortes de contracción reducen grandemente este tipo de roturas.

Siempre que sea posible la instalación del plástico deberá retrasarse hasta que el horno pueda ser prendido inmediatamente al terminar el trabajo. Cuando no sea posible hacer esto se debe de prevenir el secado al aire cerrando el horno y cubriendo las paredes con mantas húmeda, las cuales se pueden sostener al plástico con grapas o clavos. Con el horno cerrado la humedad de los sacos tenderá a desaparecer po lo que estos sacos deberán renovarse o rociarse con agua continuamente.

El secado al aire normalmente no va afectar el servicio refractario que se va obtener del revestimiento pero va reflejar una mala apariencia al suceder un excesivo resquebrajamiento, para quitar estas roturas, irregularidades y mejorar la apariencia se pueden cortar hasta una profundidad de 75 a 100 mm., y despues taponear

estos huecos con plástico húmedo y fresco. De igual manera que durante la instalación se debe martillar y quitar el exceso de material y picarlo. Con lo cual se logra mejorar la apariencia ya que, para antes del quemado no habrá evidencia de que la pared se resquebrajó.

Posiblemente el mayor peligro con un largo secado al aire es que el operador considere que el revestimiento ya está seco y encienda el horno y realice un rápido quemado con lo que se produce que una gran parte del revestimiento no se queme parejo dando posteriormente un trabajo deficiente, por lo cual, en resumen, el método más recomendable es el de mantener fresco el revestimiento y seguir las instrucciones para un quemado lento.

QUEMADO INICIAL.

Tan pronto sea posible y acabando de instalar el revestimiento se recomienda un lento quemado inicial. La madera es el mejor combustible para este propósito, de preferencia esta madera deberá colocarse en pilas alrededor del horno para producir un calentamiento uniforme; después de las primeras 5 ó 6 horas se puede agregar carbón. Procurar no dejar el fuego demasiado cerca de las paredes por lo menos a 300 mm. de distancia, se debe mantener siempre el fuego e ir incrementando gradualmente la temperatura, o sea que el fuego no decrezca y se apague.

Cuando la lumbre se acerca demasiado a la pared se puede causar que la superficie del revestimiento se sobrecaliente antes que todo el conjunto, con lo que se tenderá a que se desmorone la superficie debido a un movimiento interno del revestimiento; cuando el fuego se

deja bajar se produce un efecto similar, ya que el revestimiento tampoco va a adquirir una temperatura uniforme que provocará un flujo de calor a través del revestimiento y se producirá también un desmoronamiento; si se utiliza petróleo como combustible o gas, el control será más fácil pero es necesario tomar las debidas precauciones para evitar sobrecalefacción en las paredes.

QUEMADO DEL PLASTICO.

El quemado apropiado de un revestimiento plástico será siempre el motivo de muchas discusiones, pero podemos considerarlo como el punto en donde la mayoría del agua del revestimiento es eliminada antes que la temperatura llegue a un punto donde empiece a desarrollar su liga cerámica.

Durante el quemado inicial la mayor parte de la mezcla expulsa su contenido de humedad hacia los extremos calientes expuestos (esta es la razón por lo que recomendamos que el material se rasgue y se pique), y conserva la mezcla seca en la parte posterior de la pared.

La mayoría de los problemas que pueden causarse durante el quemado inicial son a causa de un quemado demasiado rápido que provoca que la cara expuesta se caliente mucho generando vapor. Este vapor se mueve hacia arriba choca con las paredes o con el techo que se encuentran más frías y se condensa dejando estas zonas demasiado húmedas y con la posibilidad de que se desmoronen. Entonces se debe tener mucho cuidado para incrementar la temperatura gradualmente de tal forma que este vapor se elimine y no se condense. Una vez que la mezcla ha empezado a calentarse a través de todo su espesor uniformemente, este peligro deja de ser de

consideración.

Una vez que la etapa anterior se ha adquirido, la temperatura se puede incrementar hasta el punto normal de operación del horno. Como el revestimiento plástico requiere de una temperatura mínima de 1000°C., para alcanzar su consistencia apropiada, se deberá mantener una temperatura un poco más alta por varias horas antes de apagar el horno.

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL QUEMADO.

Como una regla general un revestimiento complejo puede ser secado y quemado apropiadamente y dejar el horno para ser operado normalmente en un término de 36 a 48 horas. Tan pronto como la temperatura de las paredes este tibia, esto es, que se puede tocar con la mano y esto se logra normalmente en las primeras 24 horas del quemado, el calor se puede incrementar gradualmente durante las siguientes 12 a 24 horas hasta alcanzar la temperatura de operación.

En el caso de una reparación obviamente el tiempo de secado y quemado será más corto. Frecuentemente se debe checar el secado y el quemado como sea posible, particularmente en aquellos casos en que el operador no tenga experiencia con revestimientos plásticos. También se recomienda una corriente de aire seco que arrastre el vapor de agua evitando que este se condense en los techos durante las primeras 24 horas.

III. 5 DETALLES DE INSTALACIONES MONOLITICAS.

JUNTAS DE EXPANSION.

La juntas de expansión juegan una función importante en el éxito de la gran mayoría de las instalaciones de concretos y plásticos refractarios.

La expansión térmica crea líneas de fuerzas tanto horizontales como verticales a través del material refractario, por lo que se hace necesario utilizar métodos de construcción que faciliten el movimiento del revestimiento y no que se encuentre sujeto.

En ocasiones estas instalaciones se hacen bajo condiciones donde ocurre un secado rápido; tales como reparaciones, colocaciones en serie o bajo condiciones de alta temperatura. Bajo estas condiciones el rápido secado del revestimiento produce un resquebrajamiento de éste.

Es imposible determinar con certeza el monto de dicho resquebrajamiento, pero se debe tomar en consideración el colocar juntas de expansión en varios puntos de la instalación. Un material que contenga una alta densidad estará obviamente sujeto a un resquebrajamiento mayor que a un material menos denso durante el periodo del quemado. O sea que el tamaño de la junta de expansión está en relación directa con la densidad del material por instalar.

CORTE DE CONTRACCION (EN INSTALACIONES CON PLASTICO)

Cortes de contracción son juntas cortadas hechas sobre el revestimiento recién instalado para controlar la localización de rompimientos cuando el resquebrajamiento ocurre.

Con estos cortes localizados apropiadamente, el revestimiento plástico tendrá una tendencia a romperse en estos lugares durante el secado evitando que pudiera ocurrir un resquebrajamiento irregular que pueda proporcionar inestabilidad al revestimiento.

Estos cortes deben hacerse en el plástico a 50 mm., de profundidad en el sentido vertical y algunas veces en el sentido horizontal después del picado del plástico. Estos cortes se deben localizar aproximadamente a cada 2 metros, para lo cual puede usarse cualquier herramienta cortante.

Los cortes de contracción deberán localizarse preferentemente a la mitad de las líneas de anclas y nunca deberán extenderse sobre dichas anclas.

Normalmente se utilizan anclas metálicas adyacentes a los cortes de contracción y es importante recordar la localización de estas anclas para que los cortes no se hagan superpuestos a ellas.

Estos cortes de contracción se cerrarán cuando la expansión del revestimiento ocurra y se volverán abrir cuando el equipo no esté en operación, notándose que estuvieron cerrados durante la operación del equipo.

ANCLAJE.

Se entiende por anclaje el sistema utilizado para sostener firmemente el revestimiento refractario contra la pared posterior o contra la coraza.

Es importante hacer una buena selección del anclaje en base a las condiciones de operación del equipo que determina el espesor y el tipo de refractario, factores que a su vez determinan el sistema de anclaje.

Existen varios tipos de anclaje dependiendo del espesor del revestimiento. Básicamente se pueden considerar dos sistemas los metálicos y los no-metálicos cada uno con diferentes formas, según su aplicación, pero con el mismo principio básico en su diseño, el de proporcionar libertad de movimiento al refractario.

Anclaje Metálico. - Es aquel sistema constituido exclusivamente por elementos metálicos, los cuales pueden ser de acero al carbón y de aleaciones especiales.

Anclas metálicas de acero al carbón: El uso de este tipo de anclas está limitado a secciones donde la temperatura de operación no oxide el material de ésta. La temperatura donde empieza a oxidarse es aproximadamente de 650°C., lógicamente el poder de soportación se irá perdiendo si esta temperatura aumenta hasta el punto donde prácticamente quede el ancla quemada, por lo tanto puede ser usada en cualquier horno mientras las condiciones de operación lo permita. Por ejemplo, en las zonas de enfriamiento algunas veces se usan alternándolas con anclas refractarias para dar una seguridad adicional al revestimiento, también adyacentes a los cortes de contracción en revestimientos plásticos.

Las anclas metálicas por lo regular consisten en dos piezas, el ancla propiamente dicha y el soporte. El soporte es soldado a la coraza o sujeto a ésta por medio de pernos, sobre este soporte es donde se coloca el ancla para tener libertad de movimiento en todas direcciones. El ancla es ahogada en 3/4 partes del espesor del revestimiento y durante la instalación se utiliza una pieza de asbesto entre el soporte y el ancla para prevenir que el plástico o concreto al secar pudiera dejar inmóvil al ancla, ya que al quemarse el revestimiento se incinera la pieza de asbesto dejando hueco el espacio que ocupaba, permitiendo así el movimiento del ancla.

Anclas metálicas de aleación especial: Para instalaciones donde la temperatura es alta hasta 950°C., y no pueden ser utilizadas las anclas de acero al carbón se utilizan anclas con el mismo diseño pero fabricadas con una aleación de acero especial que soporta temperatura de 1050 a 1100 °C.

Sistema de Anclaje Metálico: Este sistema se utiliza normalmente para espesores de revestimientos que van desde 25 mm., hasta 350 mm., sin excluir los revestimientos de mayor espesor poco frecuentes, pero que también pueden anclarse por este sistema.

Para revestimientos de concretos de 25 a 38 mm., es usual anclarlos con malla de alambre sujeta a la coraza metálica con puntos de soldadura distanciados a 300 mm., entre centros y posteriormente se retira la malla de la coraza tanto como sea posible.

En revestimientos de concreto con espesores de 65 mm., se puede usar la misma malla metálica, que en este caso irá sujeta a la coraza por medio de pernos de acero. Esto es

recomendable utilizarlo abajo de temperaturas de 450 °C., por arriba de esta temperatura es mejor usar otro sistema.

También es muy común el uso de malla hexagonal cuando se tienen estos espesores de recubrimiento.

Para este tipo de recubrimientos que van en espesores menores de 75 mm., no recomendamos el uso del plástico refractario.

Cuando se trata de espesores de 75 mm., o mayores se recomienda el uso de anclas metálicas diseñadas en forma de "V" fabricadas con acero inoxidable y que pueden ser soldadas o sujetas por medio de un tornillo a la coraza metálica, estas anclas deben tener una longitud de 3/4 del espesor del revestimiento pero siempre conservando el mismo diseño.

Anclas Refractarias: Con objeto de proporcionar un campo más amplio en el anclaje de los revestimientos monolíticos se han desarrollado sistemas de anclaje hechos a base de anclas refractarias combinadas con soportes metálicos, que dan como resultado una mayor flexibilidad en cualquier aplicación, ya que, ésto combina el mismo principio de diseño de las anclas metálicas y proporciona una absoluta libertad al revestimiento al ser las anclas de la misma naturaleza refractaria; con lo que el ancla y pared refractaria se contraen o dilatan al mismo tiempo produciendo una mejor estabilidad.

El soporte metálico utilizado aquí tiene la misma aplicación que el usado con las anclas metálicas e igualmente se fija a la pared posterior o a la coraza por medio de pernos o de soldadura.

Otra de las ventajas de estas anclas es que soportan temperaturas más altas, siendo la única restricción la temperatura máxima que resiste el soporte, sin embargo, en el caso de querer utilizar este sistema de anclaje a temperaturas mayores se pueden utilizar soportes metálicos de acero con una aleación especial o proteger al soporte con algún material aislante, como asbestos o bloques aislantes.

Sistema de anclas Refractarias: Este sistema se utiliza normalmente para paredes laterales y techos suspendidos en revestimientos con espesores de 180 mm. en adelante; a diferencia que con los anclajes metálicos las anclas refractarias deben abarcar la longitud total del espesor del revestimiento, es decir, estas anclas deben quedar, ya instaladas, al ras o a paño del revestimiento.

Dado que el objetivo de un sistema de anclajes es proporcionar soporte y libertad de movimiento al revestimiento, se debe poner especial atención a que al colocar una ancla refractaria sobre su soporte, se asegure el instalador de que el ancla conserve facilidad para moverse y al mismo tiempo evitar que el soporte llegue a fracturar al ancla, si ésta está mal colocada.

Espaciamiento de anclas: El adecuado espaciamiento de las anclas es otro factor de vital importancia para el éxito de un revestimiento; mientras que es imposible cubrir todos los arreglos de anclas que puedan existir, ya que éstos dependen básicamente del diseño del equipo por revestir. Sin embargo, podemos mencionar las reglas fundamentales para cualquier distribución: para anclas metálicas se recomienda un espaciamiento a cada 300 mm., entre centros

de anclas en el sentido horizontal lo cual forma una hilada, y las siguientes hiladas deberán ser colocadas paralelamente a ésta, también a una distancia de 300 mm. Esto se debe a que se ha encontrado que este tipo de anclas soportan un área de 900 cm².

En cuanto a las anclas refractarias, el espaciamiento se puede considerar mayor, ya que éstas soportan una área de 2000 cm² y las distancias para un arreglo semejante al anterior puede ser a cada 460 mm., aproximadamente.

Las distancias arriba recomendadas son para un arreglo a "tresbolillo", ya que consideramos a éste, como el más funcional en la construcción.

III.6 COMPARACION DE UN REVESTIMIENTO MONOLITICO Y UN REVESTIMIENTO CON LADRILLO.

La calidad y servicio que se puede esperar de un revestimiento monolítico es mejor que la de uno a base de ladrillo en la mayoría de sus aplicaciones; si consideramos las siguientes ventajas:

- Eliminan juntas, las cuales son origen de posibles fracturas en el revestimiento con ladrillos.
- Eliminan el uso de mortero, que son costosos además de ser materiales que se requieren tener en almacenaje constante.
- Eliminan problemas de expansión que pueden ser considerables con el uso del ladrillo en espesores muy grandes.
- Eliminan costos de fletes y almacenamientos, ya que los ladrillos se deben tener en varias formas y tamaños, y que con los plásticos y concretos se puede dar la forma deseada.
- Eliminan pérdidas de material debidas a ladrillos que se rompen durante el transporte y su instalación.
- Los plásticos y concretos debido a la forma en que se envasan no son problema para su transporte.
- Los revestimientos monolíticos tienen mejor resistencia a la disgregación térmica que los ladrillos.

- Tienen menor conductividad térmica que el ladrillo por lo que se ahorra combustible.
- Los revestimientos monolíticos debidamente anclados eliminan los puntos débiles en las paredes cuando ocurren expansiones y contracciones frecuentes o algún accidente.
- Los revestimientos monolíticos son firmes y previenen infiltraciones de aire o polvo que puedan afectar la eficiencia de la combustión o daños a la coraza.
- Los revestimientos monolíticos soportados debidamente pueden ser reparados fácilmente en cualquier zona.
- Pueden ser instalados rápidamente siempre que se cuente con una apropiada supervisión.
- Mayor disponibilidad en el mercado.

Entre las desventajas de los revestimientos monolíticos se puede enumerar las siguientes:

- Su costo inicial es más alto.
- Su anclaje requiere de un diseño especial.
- Su instalación requiere herramienta y mano de obra especializada.
- Después de su instalación se necesita de cuidados adicionales como lo son: el curado, secado y quemado.
- Se conservan los plásticos y concretos en el almacén sólo por un tiempo determinado, (sólo por 6 meses).

C A P I T U L O I V

O T R A S A P L I C A C I O N E S

Y C A M P O S

CAPITULO IV

OTRAS APLICACIONES Y CAMPOS

IV.1	Antecedentes	123
IV.2	Otras Aplicaciones	123
IV.3	Otros Campos Posibles	126

IV.1 ANTECEDENTES

El ladrillo refractario, tal cual lo hemos venido reiterando en los capítulos anteriores, se relaciona exclusivamente con todo lo que trata con el calor, de ahí su nombre REFRACTARIO, (que disipa el calor en forma uniforme, así como el conservar las altas temperaturas de operación para los cuales fueron diseñados).

IV.2 OTRAS APLICACIONES

Esta tesis versó sobre los trabajos y usos del refractario en los hornos para cemento, en proceso seco y húmedo, pero no solo se utiliza este material para este tipo de hornos, ya que se aplica en otras diferentes formas en la industria donde se requiere el calor en altas y constantes temperaturas como lo son:

- La Industria Automotriz
- La Industria del Cal y Yeso
- La Minera
- La del Vidrio
- La del Acero
- La Alimenticia
- La de la Construcción

así como otras tantas más.

INDUSTRIA AUTOMOTRIZ: El uso principal se basa en la fabricación de partes y piezas, así como motores los cuales se elaboran primero a base de moldes que son hechos con arcilla refractaria y después se procesa en hornos por lo

general de techo plano a temperaturas de aproximadamente 1400 °C. (2550 °F.), en donde se funde el acero, fierro, hoja lata, aluminio y otros materiales usados en esta industria.

INDUSTRIA DEL CAL Y YESO: Para los hornos donde se procesa la materia prima de la fabricación de estos productos. En estos procesos se utilizan también los hornos rotatorios y en muy pocas ocasiones los de bóveda. Las temperaturas que se desarrollan para este proceso son muy similares a las del cemento.

EN LA MINERA: Para la creación de vapor a muy alta temperaturas, que sirven para el lavado de algunos productos, principalmente del tipo ferroso y de metales preciosos así como de piedras preciosas.

EN LA DEL VIDRIO: Para el revestido de hornos en los procesos de fundido del vidrio y la fabricación de éste en sus diferentes usos, por todos conocidos. En estos procesos se llegan a manejar temperaturas superiores a los 1800 °C., y se usan hornos del tipo "TORPEDO", y "OLLA", con bóvedas de medio arco o punto.

EN LA DEL ACERO: Así como en todo lo que se relaciona con la de la transformación para el revestido de hornos, calderas, peroles, ollas de vaciado, revestido de moldes de vaciado etc.

EN LA ALIMENTICIA: Revistiendo hornos y cámaras de pasteurización de alimentos.

EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION: En el revestido de hornos para la fabricación de piezas especiales de alfarería y cerámica vidriada, así como en la construcción de chimeneas industriales (en su desplante y tiro), en la residencial para el forjado de los hogares de chimeneas, etc.

Así como un sin número de industrias en las que no se puede uno imaginar la función del refractario en cualquiera de sus formas, (plásticos, concretos, arcillas, tabiques, dovelas o ladrillos). Y es que prácticamente todas las industrias grandes, pequeñas o micro que requieren del calor constante o fundente, y que saben conservar sus equipos, usan cualquier tipo de refractario de acuerdo al diseño propio de sus equipos.

IV.3 OTROS CAMPOS POSIBLES

Hacia las dos últimas décadas se ha apreciado que el refractario, por sus propiedades Químicas y Ferrosas es factible darle uso para la Industria Nuclear, Procurando con estos materiales proporcionar un revestimiento más seguro en los hornos donde se provoca la fisión de las partículas atómicas, ya que este resiste a su vez la contaminación atómica sin sufrir mayores alteraciones.

La NASA, (U.S. Administración Nacional del Espacio), ha estado estudiando la posibilidad de utilizar en los propulsores recuperables, y en algunas otras partes de los transbordadores; material refractario desechable para poder hacer reparaciones en órbitas alrededor de la tierra.

Solo hemos mencionado, enunciado algunas aplicaciones y campos donde el refractario puede, y es usado, la decisión final está en manos de los diseñadores y científicos que deciden si es aplicable ó no estos materiales, en forma directa o bien el seguir utilizándolos en forma indirecta; al salir de los hornos que están revestidos de refractario; los implementos, materiales y herramientas que se usan y usen en el futuro.

Lo que sí es un hecho es la baja contaminación que este material produce, ya que su composición es 100% de materia natural, por tanto es absorbida en su totalidad por la naturaleza al ser desechados.

Hacia el año 2000, que está prácticamente a un paso, todas las industrias relacionada con el uso del calor, continuarán ligadas a la industria del refractario.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Como corolario de esta tesis podemos apreciar como punto principal el conocimiento somero del material refractario en tres incisos.

- I ¿Que es el material Refractario?
- II ¿Para que nos sirve?
- III ¿Que lo relaciona con la Ingenieria?

I ¿Que es el material Refractario?

Como ya lo expusimos en el Capitulo I, el material refractario es básicamente la combinación de exclusivamente materiales 100% naturales, tales como; aluminio, arcilla, silicatos, magnésio, cromo etc., en diferentes proporciones y purezas.

Estos materiales, al ser mezclados y sometidos a los diferentes procesos, (molido, mezclado, secado, calcinado etc.) se usan para forjar y fabricar los diferentes productos refractarios, (ladrillos, tabiques, bloques, concretos, morteros, plásticos y productos especiales refractarios).

Tal como ya se expuso, las diferentes calidades de los productos terminados dependen exclusivamente de las purezas de las materias primas, (Vgr. si se tiene un ladrillo rico en cromo y bajo en magnesio será un ladrillo de cromo-magnesita, si es a la inversa será de magnesita-cromo).

Al ser procesadas las materias primas, éstas sufren una serie de reacciones químicas y físicas, las cuales son las que les dan las características propias a estos materiales.

En ningún momento son adicionados con algún producto químico y/o sintético que sirva para dar las propiedades a este producto, no, los ácidos, óxidos, hidróxidos etc., que se logran, resultan u obtienen, son sólo el resultado de la fusión de los materiales en los hornos, así como también a la fisión de sus moléculas.

Resumiendo, el material refractario es aquel producto formado por la mezcla de diferentes tierras y rocas, (arcillas, cuarzos, metales etc.) sometidas a procesos industriales de altas temperaturas que nos dan una serie de productos utilizables y básicos dentro del Mundo Industrial principalmente, pero, que también es usado en el campo habitacional, residencial, hotelero etc.

II ¿Para que sirve el material refractario?

Tal como su nombre lo dice, "**REFRACTARIO**"; (del latín refractarius) es un cuerpo o producto (en este caso), que no se funde a Altas Temperaturas."

Como hemos dicho ya, toda, absolutamente toda la industria, o negociación que maneje el calor más allá de los 150°C., deben forzosamente utilizar el refractario por economía propia.

La industria, y negociaciones invierten anualmente fuertes cantidades en la adquisición de equipos e implementos siendo en ocasiones inversiones muy

considerables; y si estas trabajan con altas y constantes temperaturas, deben de proteger sus equipos en las secciones correspondientes con un material capaz de:

- Resistir el embate químico
- Resistir el embate físico
- Resistir el embate mecánico
- Resistir la abrasión
- Conservar la temperatura de operación
- Proteja las instalaciones de la negociación

y ésto, sólo lo podemos lograr con la utilización del material refractario.

Por ésto, la Industria del Refractario produce una amplia variedad de productos los cuales, serán utilizados según el área, tipo de actividad y temperaturas deseadas.

Resumiendo, el material refractario nos sirve para proteger las instalaciones de equipos en los que se manejan altas temperaturas, constantes, ya sea desde un simple horno eléctrico casero o el horno de una estufa casera de gas hasta los grandes altos hornos de fundidoras.

Sirve para provocar las reacciones químicas y físicas en los diferentes materiales, como también para provocar y mantener en forma constante las temperaturas deseadas.

III ¿Que lo relaciona con la Ingeniería?

A simple vista, no se guarda relación alguna, sin embargo, se tiene, y quizá en forma estrecha.

Se puede decir que sí existe relación y estrecha, ya que de alguna manera la Ingeniería Civil, desde varias décadas atrás ha tenido una relación muy estrecha con la Minería, Geología y la Metalurgia. Solo en las últimas 4 o 5 décadas es cuando estas áreas se han desasociado y avocado a campos muy específicos de trabajo, sin embargo, aún hoy en día se conserva en la Ingeniería Civil ciertas operaciones que se vinculan muy estrechamente con las áreas o disciplinas mencionadas.

Durante el mecanismo de instalación de los productos refractarios, ya sea en obras industriales o residenciales, la industria de la construcción es, y ha sido la responsable de los revestimientos refractarios, aunque esto no ha sido privativo para otras disciplinas.

Tal como lo hemos explicado en el último capítulo de esta tesis, la producción refractaria es muy variada y versátil, y se utiliza en todos los campos de la productividad, ya sea en la Macro o en la micro industria y la Ingeniería ha estado en ella siempre presente; en diferentes porcentajes dependiendo de la disciplina de que se trate.

Como vinculación externa a la Ingeniería civil, podemos afirmar que todos los productos que son utilizados en la Industria de la Construcción, provienen de Industrias donde los productos se procesaron a altas temperaturas; ya sean los diferentes cementos, concretos, aceros, recubrimientos pétreos o cerámicos, vidrios etc.

Resumiendo, la Ingeniería está 100% vinculada a todas las facetas de la productividad Nacional y Mundial, es, ha sido y seguirá siendo un factor preponderante en el desarrollo del Mundo Moderno.

BIBLIGRAFIA

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

LIBROS TECNICOS

A.P. GREEN REFRACTORIES CO.
"FIREBRICK ENGINEERING MANUAL"
U.S.A. - 1969

HARBISON WALKER REFRACTORIES CO.
"MODERN REFRACTORY PRACTICE"
U.S.A. - 1950

A.P. GREEN REFRACTORIES CO.
"REFRACTORY POCKET CATALOG"
U.S.A - 1969

ARTICULOS DE REVISTAS Y BOLETINES TECNICOS

A.P. GREEN REFRACTORIES CO.
"APPLICATION OF A.P. GREEN REFRACTORIES IN
THE ROCK PRODUCTS INDUSTRIES"
U.S.A - 1969

E. DE NIGUEL FERNANDEZ
"EXPERIENCIAS EN EL RECUBRIMIENTO DE
MAMPOSTERIA DE HORNOS ROTATORIOS"
CEMENTO Y HORMIGON
ESPAÑA ENSO 1972

F.L. SMIDTH CO.

"HORNOS ROTATORIOS"

U.S.A. - 1970

TESIS PROFESIONALES

BADUI DERGAL SALVADOR
"LA COMPUTADORA APLICADA AL CONTROL DE
UN HORNO ROTATORIO"

FACULTAD DE QUIMICA, UNAM. - 1969

BRAVO JUAN MANUEL ING.

"SLAG RESISTANCE OF SOME SELECTIVE
REFRACTORIES"

IOWA STATE UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY - 1965

VALENZUELA MENDOZA ALFONSO
DE LEON Y D'HERAS JULIO FRANCISCO

"REFRACTARIOS EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO"

FACULTAD DE QUIMICA - 1975

NORMAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS,
U.S.A.

"ESTANDARES DE 1973 DE LA A.S.T.M."
(1973, annual book of A.S.T.M., standars)

part 9: cement: lime: gypsum (including cement
testing manual) and parts 10 to 14 and 33
index.

NORMA MEXICANA, N.O.M. 1975

"NORMAS EN VIGOR DE MEXICO"
MEXICO.

G L O S A R I O D E T E R M I N O S

A N E X O A

G L O S A R I O D E T E R M I N O S

" A "

ABRACION DE REFRACTARIOS.

Es el desgaste de la superficie del refractario por acción del frotamiento o impactos de sólidos en movimiento.

ABSORCION DE AGUA.

Es la cantidad de agua que puede absorber un refractario hasta saturarlo, y se expresa como porcentaje del peso del material seco.

ALABEO.

Es la curvatura o deformación que se produce durante la fabricación de ladrillos o piezas refractarias.

ALUMINA.

Es el óxido de aluminio (Al_2O_3), que se presenta en varias formas cristalinas, siendo las principales la alfa Alúmina y la gama Alúmina. Cuando es pura, tiene un punto de fusión de 2050 °C.

ANALISIS GRANULOMETRICO.

Es el proceso de separación de partículas en fracciones de dimensiones definidas para determinar el porcentaje de las mismas.

ANDALUCITA.

Es el mineral de fórmula empírica $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (62.9% de Al_2O_3 y 37.1 % de SiO_2) y que se presenta en diferentes formas cristalinas.

ARCILLA.

Es el material natural terroso o pétreo, constituido esencialmente por silicatos de aluminio hidratados, producto de la descomposición de rocas feldespáticas, que molidas, mezcladas y amasadas con una adecuada cantidad de agua adquiere plasticidad, endurece al secarse y toma aspecto vítreo o pétreo cuando es sometida a suficiente temperatura de cocción.

ARCILLA ALUMINOSA.

Es la arcilla de alta refractabilidad, cuyo contenido en óxido de aluminio es mayor del 45%, después de ser calcinada a temperaturas del orden de los 1000°C.; puede contener óxido de aluminio hidratado, amorfo o cristalizado, tales gibsita o hidrargilita, diáspore y bohemita.

ARCILLA BAUXITICA.

Es la arcilla generalmente caolinítica, que contiene menos del 50% de óxidos de aluminio hidratados, tales como: gibsita, bohemita y/o diáspore. La relación inversa es una bauxita arcillosa.

ARCILLA DIASPORE.

Es el mineral constituido esencialmente por granos de diáspore ligados por arcilla refractaria dura. Las arcillas diáspore comerciales de mayor pureza usualmente contienen entre 70% y 80% de alúmina, después de calcinadas a temperaturas del orden de los 1000°C.

ARCILLA ESQUITOSA.

Es el material arcilloso que se presenta con textura foliácea.

ARCILLA REFRACTARIA.

Es la arcilla cuya refractabilidad, medida por el cono pirométrico equivalente, no es menor que la del cono ORTON No. 19 (1541°C.).

ARCILLA REFRACTARIA DURA O APEDERNALADA ("Flint Clay").

Es la arcilla refractaria que se caracteriza por su dureza, compacta, de fractura concoidal, poco plástica y que a veces se presenta en forma de placas o lajas. Comercialmente se le denomina arcilla "Flint".

ARCILLA REFRACTARIA NODULAR.

Es la arcilla constituida por nódulos aluminosos y/o aluminio-ferruginosos, ligados por arcillas refractarias.

ARCILLA REFRACTARIA PLASTICA.

Es la arcilla refractaria generalmente sedimentaria de grano fino, con predominio de la variedad halosita, (grupo Kandita), que puede tener alto contenido de materia orgánica del tipo húmico y caracterizada por su gran plasticidad y alto poder ligante de materiales refractarios no plásticos.

ARENA.

Son los granos de relativamente pequeñas dimensiones de la roca Dentrítica generalmente silícea.

ASBESTO.

Es el mineral fibroso que se puede separar en fibras flexibles, siendo el componente mineralógico más común, el crisotilo, de fórmula empírica $3MgO.2SiO_2.2H_2O$, constituyendo el asbesto anfibólico.

ATAQUE QUIMICO.

Es la destrucción superficial del refractario por la acción química de agentes externos.

" B "

BADELEITA.

Es el mineral cuyo principal componente es el dióxido de zirconio (ZrO_2) cristalizado.

BAUXITA.

Es el mineral de alto contenido en óxido de aluminio hidratado, bajo forma de gibsita o hidrargilita ($Al_2O_3.3H_2O$) bohemita, o diáspore ($Al_2O_3.H_2O$), impurificada por minerales arcillosos, óxidos hidratados de hierro y cuarzo.

BAUXITA CALCINADA.

Es el mineral bauxita, calcinado a temperatura del orden de los $1600^{\circ}C.$, y con un contenido en óxido de aluminio no menor del 80% comunmente utilizado para la fabricación de refractarios de Alta Alúmina.

BENTONITA.

Es el mineral proveniente de la alteración de cenizas volcánicas, con predominio de montmorillonita, de extremada finura de partículas, generalmente muy plástica; algunas variedades poseen alto poder de absorción de agua con gran aumento de volumen.

BERILO.

Es el mineral constituido por un silicato de berilio y aluminio, de fórmula empírica, $Al_2O_3 \cdot 3BeO \cdot 6SiO_2$.

BOHEMITA.

Es el óxido de aluminio hidratado de fórmula $Al_2O_3 \cdot H_2O$, que por cocción a suficiente temperatura se transforma en alfa alúmina.

" C "

CALCEDONIA.

Es una variedad fibrosa cripto cristalina del cuarzo.

CALCINACION DE MATERIALES REFRACTARIOS.

Es el tratamiento térmico al cual se someten las materias primas refractarias, con el propósito de eliminar constituyentes volátiles, producir reacciones químicas, cambios de volumen y estructurales.

CALCITA.

Es el carbonato de calcio cristalizado.

CALOR ESPECIFICO.

Es la cantidad de calor requerida para aumentar, en un grado Celsius ($^{\circ}C$), la temperatura de la unidad de masa de una sustancia.

CAMBIO LINEAL PERMANENTE.

Es la variación de la dimensión de longitud de un ladrillo refractari, de medidas normalizadas, referida a la longitud original y expresada en porcentaje, cuando en determinadas condiciones se somete a la acción de la temperatura sin aplicación de cargas.

CAOLIN.

Es la arcilla de origen sedimentario o residual, con predominio de la variedad cristalina caolinita (grupo kandita), generalmente blanco por cocción, purificado por lavados, posee alta refractabilidad.

CAOLINITA.

Es una de las variedades cristalinas del grupo de las kanditas, silicato de aluminio hidratado, de fórmula empírica $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, con 39% de Al_2O_3 , 46.5% de SiO_2 y 14% de agua. Es el principal constituyente de los caolines y de muchas arcillas refractarias.

CARBURO DE SILICIO.

Es un producto sintético de fórmula empírica CSi . Los productos industriales generalmente poseen impurezas.

CIANITA.

Es uno de los tres minerales de igual fórmula empírica ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) pero de diferentes estructuras cristalinas (ver Andalucita y Silimanita).

COCCION.

Es el tratamiento térmico final en un horno, a que se someten los materiales refractarios elaborados, con el propósito de favorecer la liga cerámica y las propiedades químicas y físicas adecuadas.

COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA.

Es la medida de la capacidad de un material para transferir energía calorífica a través del mismo, expresada en $kcal.m/h.m^2$. La capacidad que varía con la temperatura de ensayo.

CONCRETO REFRACTARIO.

Es un producto constituido por una mezcla de materiales refractarios, de adecuada granulometría, con agregado de un cemento resistente al calor, que asegure el fraguado hidráulico cuando se mezcla con agua.

CONCRETO REFRACTARIO AISLANTE.

Es una mezcla de productos refractarios livianos, de adecuada granulometría con agregado de un cemento resistente al calor, que asegure el fraguado hidráulico cuando se mezcla con agua obteniéndose materiales de baja conductividad térmica y alta porosidad.

CONDUCTIVIDAD TERMICA.

Es la transferencia de calor a través de sólidos o líquidos sin movimiento.

CONO PIROMETRICO NORMAL.

Es una pieza moldeada de materiales refractarios en forma de pirámide trunca, de base triangular, de dimensiones normalizadas, que se identifica con un número característico, equivalente a una determinada temperatura, en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), cuando en un régimen de calentamiento en condiciones recomendadas, la punta de la pirámide toca la plaqueta soporte.

CONO ORTON.

Es el cono pirométrico normal usado como patrón en los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos de los países latinoamericanos.

CONO SEGER.

Es un cono pirométrico normal usado comúnmente como patrón en los países europeos, de dimensiones diferentes a los conos Orton y cuya equivalencia en grados Celsius es algo inferior a los conos Orton.

CONTRACCION.

Es la disminución de las dimensiones de piezas refractarias, durante su fabricación o servicio.

CRISTOBALITA.

Es una de las variedades alotrópicas de la sílice (SiO_2) cristalina, metastable a temperatura ambiente y estable entre 1470°C y 1713°C , siendo uno de los principales constituyentes de los ladrillos de sílice.

CROMITA.

Es el mineral que contiene cantidades apreciables de espinela de cromo y de fórmula empírica $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$.

CUARCITA.

Es la roca metamórfica o sedimentaria constituida por granos de cuarzo y ligados por un cemento de sílice natural. Cuando son muy puras, se les utiliza en la fabricación de ladrillos de sílice.

CUARZO.

Es una de las variedades alotrópicas de sílice (SiO_2) cristalina y estable a temperaturas menores de 870°C .

DEFORMACION BAJO CARGA CALIENTE.

Es el cambio de las dimensiones de las piezas refractarias por acción de carga y temperatura.

DENSIDAD APARENTE.

Es la relación entre el peso constante a 105-110°C., del material refractario y el volumen aparente del mismo. Se expresa en gr/cm³.

DENSIDAD APARENTE EN AGUA.

Es la relación entre el peso constante a 105-110°C., del material refractario y el volumen aparente del mismo, determinado por inmersión en agua.

DESINTEGRACION.

Es la ruptura o resquebrajamiento, con desprendimiento de partes de estructuras o cubiertas de materiales refractarios, debida a causas térmicas, mecánicas o estructurales, por cuya consecuencia quedan expuestas superficies nuevas de la masa residual. También se designa como "Spalling".

DESINTEGRACION ESTRUCTURAL.

Es la ruptura o resquebrajamiento de partes de estructuras o cubiertas de materiales refractarios, causada por tensiones diferenciales resultantes de alteraciones estructurales.

DESINTEGRACION MECANICA.

Es la ruptura o resquebrajamiento de partes de estructuras o cubiertas de materiales refractarios, causada por tensiones resultantes de impactos o presiones en la misma.

DESINTEGRACION TERMICA.

Es la ruptura o resquebrajamiento de partes de estructura o cubiertas de materiales refractarios, causada por tensiones debidas a variaciones dimensionales no uniformes cuando se producen diferencias de temperaturas dentro de la misma.

DESVITRIFICACION.

Es el cambio que experimenta un cuerpo, del estado vítreo al cristalino.

DIASPORE.

Es una de las variedades cristalinas del óxido de aluminio hidratado, de fórmula empírica $AlO.OH$ ó $Al_2O_3.H_2O$, (ver gibsita y bohemita). Por cocción a suficiente temperatura se transforma en alfa alúmina.

DIATOMEA.

Es la roca constituida principalmente por esqueletos de sílice provenientes de organismos vegetales denominados Diatomáceas. Se caracteriza por su alta porosidad y bajo peso específico aparente.

DOLOMITA.

Es el mineral formado esencialmente por el carbonato doble de calcio y magnesio cristalino, de fórmula empírica $MgCO_3 \cdot CaCO_3$.

DOLOMITA CALCINADA INERTE.

Es el mineral que se obtiene mediante la calcinación de la dolomita, resistente a la hidratación y carbonatación ($MgO \cdot CaO$).

DOSIFICACION GRANULOMETRICA.

Es la operación de mezclar partículas o granos de materiales sólidos de diferentes dimensiones para obtener una determinada textura.

" E "

ESCORIA.

Es un producto no metálico formado durante la extracción o depuración de un metal o del ataque químico de los revestimientos refractarios por sustancias en contacto a determinadas temperaturas.

ESCORIA FUNDIDA.

Es el tipo de escoria que en su formación pasa por el estado líquido.

ESCORIFICACION.

Es la acción química destructiva entre el refractario y agentes externos, a alta temperatura, con formación de escoria.

EXPANSION TERMICA.

También denominada dilatación térmica. Es el aumento de las dimensiones lineales o volumen de los materiales refractarios por acción de la temperatura. Puede ser irreversible o reversible, cuando se enfría a la temperatura original.

" P "

FELDSPATO.

Son grupos de minerales constituidos por silicatos de aluminio y metales alcalinos y/o alcalino térreos, siendo los más importantes: a) grupo de potasio (ortoclas y microclina); b) grupo sodio calcio (albita y anortita).

FORSTERITA.

Es el mineral natural o sintético de fórmula empírica $2Mg.SiO_2$; cuando es puro tiene punto de fusión del orden de los $1900^{\circ}C$.

FRACCION GRANULOMETRICA.

Es la porción de partículas de un material que pasa a través de un determinado tamiz y que es retenida en otro de menor abertura.

" G "

GIBSITA O HIDRARGILITA.

Es una de las variedades cristalinas del óxido de aluminio hidratado, de fórmula empírica $Al_2O_3.3H_2O$, por cocción a suficiente temperatura se transforma en alfa alúmina.

GIPSITA.

Es el mineral constituido por un sulfato de calcio bihidratado, de fórmula empírica $CaSO_4.2H_2O$, que por calcinación pierde el agua de cristalización.

GRADO DE REFRACTABILIDAD.

Es la propiedad de los materiales refractarios de resistir a altas temperaturas sin sufrir fusión, ablandamiento o deformación. Se mide, mediante la determinación del cono pirométrico equivalente.

GRAFITO.

Es la variedad alotrópica hexagonal del carbono.

GRESIFICACION.

Es la transformación que experimenta una sustancia o mezcla de sustancias, por acción de la temperatura, con formación de un producto sólido de alto contenido en fase vítrea, poca permeabilidad y alta dureza.

- J -

" H "

HALOISITA.

Es una de las variedades cristalinas del grupo kandita, de composición similar a la caolinita pero con mayor contenido de agua y amorfa, que forma parte de muchas arcillas refractarias y, cuando predomina, generalmente mejora la plásticidad.

" I "

INDICE DE TRABAJABILIDAD.

Es la medida de la deformación lineal o aplastamiento de una probeta, preparada con materiales refractarios plásticos, cuando se somete a percusión en determinadas condiciones.

" L "

LIGA CERAMICA.

Es la adherencia y cohesión de partículas o granos de materiales refractarios durante su cocción, y debida a un proceso de sinterización.

LIGA QUIMICA.

Es la adherencia y cohesión entre partículas o granos de materiales refractarios y agentes químicos, producida por reacciones de naturaleza físico-química bajo la acción del calor.

" M "

MAGNESIA.

Es el óxido de magnesio, natural o sintético, de fórmula MgO.

MAGNESITA.

Es el mineral constituido principalmente por carbonato de magnesio cristalizado, de fórmula empírica $MgCo_3$. El término "magnesita" es empleado en forma impropia para designar al producto calcinado o ladrillos elaborados con magnesita cristalizada.

MAGNESITA CALCINADA INERTE.

Es el producto obtenido por la calcinación de la magnesita a temperatura por encima de los $1450^{\circ}C.$, y estable a la acción del agua y del anhídrido carbónico.

MAGNESIA-FERRITA.

Es el mineral natural o sintético del grupo de las espinelas, de fórmula empírica $MgO.Fe_2O_3$. Comúnmente forma parte de los ladrillos básicos de magnesita, impartiendo color pardo.

MICA.

Son minerales formados por silicatos complejos, que se presentan en forma de lámina y no plásticos.

MODULO DE RUPTURA.

Es la medida, en determinadas condiciones, de la resistencia mecánica de un material a la ruptura por flexión. Se calcula con la siguiente expresión:

$$m_r = \frac{3 G.L}{2 a.e^2}$$

donde:

G = Carga de ruptura, en Kg.

L = Distancia entre apoyos, en cm.

a = Ancho de la probeta de ensayo, en cm.

e = Espesor de la probeta de ensayo, en cm.

m_r = Módulo de ruptura en Kg/cm^2 .

MORTERO.

Agente ligante refractario constituido por una mezcla de compuestos refractarios molidos, con agregados de otras sustancias, que pueden no ser refractarias y que en estado húmedo se utiliza para adherir ladrillos o piezas refractarias.

MULITA.

Es el silicato de aluminio cristalino, de fórmula empírica $3Al_2O_3.2SiO_2$ (71.8% de Al_2O_3 y 28.2% de SiO_2) de alto punto de fusión e importante constituyente de los refractarios silíceo aluminosos y de alta alúmina.

" P "

PERMEABILIDAD.

Es la propiedad de los materiales refractarios porosos, por lo cual permite el paso de gases o líquidos, bajo determinadas presiones. Esta propiedad depende del número, diámetro, forma e intercomunicación de los poros y se mide por la velocidad de flujo de un líquido o gas a través del material determinado, bajo condiciones establecidas.

PESO ESPECIFICO APARENTE.

Es la relación entre la masa de iguales volúmenes de el material y del agua a 4 °C. El volumen de la muestra debe ser su volumen aparente.

PESO ESPECIFICO REAL.

Es la relación entre la masa de un material finamente dividido y una masa de agua, que a 4 °C., ocupa un volumen igual al volumen verdadero del sólido a la temperatura de ensayo.

POROSIDAD APARENTE.

Es la relación entre el volumen total de poros abiertos y el volumen aparente del cuerpo, se expresa en porcentaje.

POROSIDAD REAL.

Es la relación entre el volumen total de poros abiertos y cerrados y el volumen aparente del cuerpo, se expresa en porcentaje.

" R "

REFRACTARIO.

Es una propiedad de los materiales que son química y físicamente estables a alta temperatura, sin experimentar cambios físicos y químicos. La condición primordial es resistir altas temperaturas, pero también otros factores destructivos, tales como, presión, ataque químico, cambio brusco de temperaturas, etc. También se le llama así al material que presenta estas propiedades.

RESISTENCIA AL CHOQUE TERMICO.

Es la propiedad de un material de resistir los cambios bruscos de temperaturas sin deteriorarse.

RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Es la medida, en determinadas condiciones, de la resistencia mecánica de un material a la ruptura por compresión y se expresa en Kg/cm². Se calcula con la siguiente expresión:

$$Rc = \frac{G}{A}$$

Donde:

G = Carga de ruptura, en Kg.

A = Area, en cm².

Rc = Resistencia a la compresión, en Kg/cm².

" S "

SILICE.

Es el dióxido de silicio (SiO₂), constituyente principal de los minerales comunes, tales como: cuarzo, calcedonia, cuarcitas, piedra arenisca, arena.

SILIMANITA.

Es uno de los tres minerales de igual fórmula empírica (Al₂O₃.SiO₂) (62.9% de Al₂O₃ y 37.1% de SiO₂), pero de diferente estructura cristalina, (ver andalusita y cianita), por calcinación a temperatura del orden de los 1500 °C., se disocia en mulita y silice libre (cristobalita).

SINTERIZAR.

Es la acción de soldar o conglomerar metales pulverulentos sin alcanzar la temperatura de fusión.