

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA



REFRACTARIOS EN LA SIDERURGIA DE  
HORNOS DE ARCO ELECTRICO E INDUCCION  
Y CONVERTIDORES BÁSICOS

M O N O G R A F I A

Que Para Obtener el Título de

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P r e s e n t a

MANUEL GONZALEZ GARCIA



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



RECIBO  
FECHA M.2. 2008 201  
1978  
TESIS

**Presidente:** Prof. ALBERTO OBREGON PEREZ

**Vocal:** Prof. JOSE CAMPOS CAUDILLO

**Secretario:** Prof. ALEJANDRO ESPRIU MANRIQUE DE LARA

**1er.Suplente:** Prof. MA. EUGENIA NOGUEZ AMAYA

**2° Suplente:** Prof. HUMBERTO MALAGON ROMERO

**Asesor:** Prof. JOSE CAMPOS CAUDILLO



**Sustentante** MANUEL GONZALEZ GARCIA

DOY GRACIAS A MI PAPA GRACIANO GONZALEZ Z.  
Y A MI MAMA CONSUELO GARCIA DE GONZALEZ  
QUE CON SU APOYO Y SU SACRIFICIO FUE  
POSIBLE QUE TERMINARA MI PROFESION

AL APOYO DE MI ESPOSA

MARICELA ANAYA DE GONZALEZ

A MI HIJO

MANUEL GONZALEZ ANAYA

A MIS HERMANOS

ARTURO.

CONSUELO MARGARITA.

MARTHA GRACIELA.

A LA PROF. GUADALUPE PEREZ CARRASCO

A EL PROF. GUSTAVO A. BERA

POR EL IMPULSO Y PROYECCION

EN EL DESARROLLO DE MI PROFESION.

A MIS COMPAÑEROS

# I N D I C E

Capitulo I.- Introducción .....	I
Capitulo II.- Generalidades de los Refractarios.....	2
II.- I.- Historia de los primeros Refractarios .....	2
II.- 2.- Desarrollo de los Refractarios .....	2
II.- 3.- Clasificación de los Refractarios .....	2
II.- 4.- Propiedades y Medidas .....	7
II.- 5.- Métodos de sedimentación .....	15
II.- 6.- Otros métodos .....	16
II.- 7.- Interpretación del tamaño de partícula .....	17
II.- 8.- Ilustración de los diámetros .....	19
II.- 9.- Macroestructura .....	20
II.- 9.- a - Permeabilidad .....	21
II.- 10.- Superficie específica .....	25
II.- II.- Resistencia de los refractarios .....	25
II.- 12.- Densidad real .....	25
II.- 13.- Resistencia a la abrasión .....	27
II.- 14.- Resistividad eléctrica .....	28
II.- 15.- Morteros refractarios .....	31
II.- 15.- a - Morteros que fraguan con calor .....	31
II.- 15.- b - Morteros que fraguan al aire .....	32
II.- 15.- c - Morteros especiales .....	34
II.- 15.- d - Aplicaciones .....	34



II.- I5.- e - Ensayo de morteros refractarios.....	35	✓
II.- I6.- Cementos refractarios ( Introducción ).....	37	✓
II.- I6.- a - Cementos de arcilla refractaria .....	37	
II.- I6.- b - Mezcla de colada .....	38	
II.- I6.- c - Cementos especiales .....	39	✓
II.- I6.- d - Aplicaciones de los cementos .....	40	
II.- I6.- e - Ensayo de cementos .....	42	
II.- I6.- f - Hormigones refractarios .....	43	
II.- I6.- f <sub>I</sub> - Hormigones refractarios densos .....	43	
<b>Capitulo III.- Fabricación, Diseño, Y Control de calidad</b>		✓
de los Refractarios .....	51	
Algunos detalles sobre construcción con refractarios...	52	✓
Plasticos .....	53	
Apisonables .....	54	
Concretos .....	54	
<b>Capitulo III.- Métodos de fabricación</b> .....	65	
Ladrillos de arcilla .....	65	
Ladrillos de Calidad Superior .....	66	
Ladrillos de alta calidad .....	67	
Ladrillos de Calidad Intermedia .....	67	
Ladrillo de Baja Calidad .....	68	
Ladrillos de Semisflica .....	68	
Ladrillos Acidos Resistentes .....	68	

Ladrillos de Alta Alúmina .....	69
Ladrillos de Sflice .....	69
Ladrillos Básicos .....	70
Ladrillos Refractarios Aislantes .....	72
Interpretación de las propiedades Físicas y Químicas de los materiales refractarios .....	75
Cono pirométrico .....	75
Peso por Volumen .....	77
Módulo de Ruptura y Resistencia a la Compresión .....	77
Deformación bajo carga .....	83
Porosidad Aparente .....	84
Cambio Lineal .....	85
Despostillamiento Térmico :.....	85
 Capítulo IV.- Refractarios usados en:	
IV.- I.- Horno eléctrico básico .....	89
IV.- II.- Refractarios disponibles en el mercado ....	93
IV.- III.- Aplicaciones en Hornos Eléctricos .....	96
 Capítulo IV.- 2.- Horno de Inducción .....	99
Diseño de revestimientos refractarios .....	101
IV./- 3.- Nueva generación de refractarios para hornos eléctricos .....	108
IV./- Los hornos de oxígeno en la metalurgia .....	123
IV. I.- Breve historia de el B.O.F. ....	123

IV.- A.- Evolución del B.O.F. ....	I23
IV.- B.- Proceso Metalurgico .....	I24
IV.- II.- Selección de refractarios para el B.O.F.....	I26
IV.- A.- Condiciones de servicio .....	I26
IV.- B.- Como Básico .....	I26
IV.- G.- Por qué se deposita alquitrán (brea).....	I27
IV.- 4.- Los Convertidores Bessemer y Thomas .....	I28
Tipo de refractario utilizado .....	I28
El convertidor de oxígeno (Descripción del proceso)..	I29
Revestimientos en el LD .....	I30
Resumen de horno eléctrico de arco e inducción .....	I34
Capitulo V.- Conclusines .....	I40
Capitulo VI.- Bibliografía	

## Capítulo.- I.- Introducción.

### Refractarios.

Se puede definir como material refractario a todo aquel material no metálico estable a altas temperaturas. De hecho los refractarios son materiales de construcción, y por lo tanto, están sujetos a diferentes tipos de fuerzas destructivas que tienen como común denominador la temperatura, lo que requiere su estabilidad tanto química como física en toda ocasión.

Debido a la gran variedad de estas fuerzas destructivas, se va imposible tener un solo producto que llene todas las necesidades, y el hacer una buena selección entre los diferentes productos que hay en el mercado involucra tener un conocimiento razonable de las características de los materiales y del servicio al que se van a someter.

## Capítulo.- II.- Generalidades de los refractarios.

II. 1.- Históricamente los primeros refractarios industriales fueron recas con una composición alta en sílice como areniscas, mismas que serían usadas para los primeros hornos de hierro, desde 1645 hasta 1800. Conforme el tamaño y la complejidad de los hornos creció y el precio de la reca adecuada fué mayor, se fue volviendo común el uso de piedras artificiales, llamadas ladrillos.

Estos eran fabricados usualmente de depósitos de arcilla que mostraban resistencia al calor intenso. Estas arcillas fueron llamadas arcillas refractarias para distinguirlas de los materiales usados para la producción de ladrillos de construcción.

II. 2.- Poco a poco se fueron determinando las propiedades refractarias de la sílice y por el año 1850 y se inició la fabricación de ladrillos de sílice. Hacia 1880 y con el uso de convertidores para la fabricación de aceros, se empezaron a usar ladrillos de magnesita y cromita, que resultaron muy resistentes al ataque químico de las escorias básicas, y fueron conocidas como ladrillos básicos.

II. 3.- Después de la primera guerra mundial se empezaron a usar las arcillas diásporas de Misouri y Bauxita (un mineral de alúmina) cuyas características dieron propiedades muy especiales y su uso fué rápidamente en aumento.

Actualmente los materiales refractarios se clasifican por que se puede ver ese un poco más claro con la siguiente clasificación que nos va a dar más detallado sus diferentes tipos en los que son

su presentación y por su composición química.

Por su presentación los materiales refractarios se dividen en:

Ladrillos.- Que son piezas preformadas, listas para usarse.

Morteros.- Son materiales refractarios finamente molidos, en pastas o polvo, que se usan para pegar ladrillos refractarios.

Concretos.- Son mezclas de materiales refractarios y aglutinantes hidráulicos que permiten efectuar revestimientos monolíticos en lugar de uso por celado del concreto.

Plásticos y Apisonables.- Son materiales especialmente preparados para poder efectuar su instalación por presión o golpe, quedando un revestimiento monolítico.

Todas estas presentaciones se pueden combinar con diferentes composiciones químicas como son :

Arcillas refractarias	ALTA Alúmina	Magnesita
Magnesita - Cremita	Cremita	Cremita- Magnesita
Sílice	Grafite	Zirconia
Carburo de silicio.		

y todas sus mezclas.

El resultado es una enorme variedad de productos refractarios que se pueden resumir en las tablas " I " ( ladrillos ) y en la tabla " 2 " ( especialidades ).

En los materiales de sílice, arcilla y alta alúmina, una de sus propiedades más importantes es la medición de la temperatura que se portan antes de empezar a perder sus propiedades mecánicas, este punto se conoce como piremetro equivalente ( P. G. E. ) y su uso es muy extendido como especificación del producto.

Tabla "I"

CLASIFICACION DE LADRILLOS REFRACTARIOS

Tipo de ladrillo	Clase
Arcilla	Calidad Superior, Alta Calidad, Calidad Intermedia, Baja Calidad, Semi - Sílica, Acido Resistentes.
Alta Alúmina	50, 60, 70, 80, 85, y 90% de $Al_2O_3$ , Mullita y Cerundum.
Sílica	Calidad Superior, Regular.
Básicos	Periklasa, Magnesita, Cromita, Cromo - Magnesita, Magnesita - Cromita, Fersterrita, Magnesita alquitranada, Magnesita Dolomita.
Aislantes	1600°, 2000°, 2300°, 2600°, 2800°, 3000° y 3300°F, Sílica, Magnesita, ladrillos especiales
Otros	Carburo de Silicio, Carbón, Grafite, Zircon, Óxido de zirconio, electrefundidos.



Tabla "2"

CLASIFICACION DE ESPECIALIDADES

Tipos	Material Base
Concretos	Arcilla, Alta Alúmina, Cromita, Cromo - Magnesita, Magnesita, Carburo de Silicio
Concretos Aislantes	Arcilla, Sílica, agregados ligeros
Plásticos	Arcilla, Arcilla - Grafite, Alta Alúmina, Alta Alúmina - Grafite, Mullita y Cromita.
Apisonables	Arcilla, Alta Alúmina, Magnesita- Cromita, Carburo de Silicio, Zircon, Silica, Forsterita.
Mezclas para aplicar con pistola neumática	Arcilla, Alta Alúmina, Silica, Cromita - Magnesita.
Materiales Granulares	Arcilla Calcinada, Cuarzita, Alta Alúmina, Magnesita Calcinada a muerte, Dolomita, Cromita, agregados ligeros
Morteros	Se fabrican de casi todos los materiales base.

II. 4.- Existen propiedades y medidas que necesitan conocerse ocasionalmente en la producción e uso de refractarios como son: tamaño de la partícula, permeabilidad, superficie específica, conductividad eléctrica y muchas otras.

Medida del tamaño de partícula.-

Análisis por tamaño

La determinación de la distribución del tamaño de partícula en un material granular es de considerable importancia en los trabajos cerámicos.

Para materiales de tamaño comprendido entre las 150 a 300 mallas, se utilizan tamices para separar el material en el grado deseado, pero, para materiales más finos, los métodos de separación por aire o por agua son más eficaces.

Las series de tamices standard en los Estados Unidos se basan en aberturas de 1 mm, variando los cedazos mayores y menores, en un factor de  $\sqrt{2}$ , o sea 1,414 como por las características de estas series de los cedazos vienen dadas en la tabla siguiente:

Serie de tamices standard utilizados en los Estados Unidos

Mallas per pulgada lineal	Número del tamiz	Abertura del tamiz pulgadas	Abertura del tamiz en m.m.	Diámetro del alambre pulgadas	Diámetro del alambre en m.m.
2.58	2 ½	0.315	8.00	0.073	1.85
3.03	3	0.265	6.73	0.065	1.65
3.57	3 ½	0.223	5.66	0.057	1.45
4.22	4	0.187	4.76	0.050	1.27
4.98	5	0.157	4.00	0.044	1.12
5.81	6	0.132	3.36	0.040	1.02
6.80	7	0.111	2.83	0.036	0.92
7.89	8	0.0937	2.38	0.0331	0.84
9.21	10	0.0767	2.00	0.0299	0.76
10.72	12	0.0661	1.68	0.0272	0.69
12.58	14	0.0555	1.41	0.0240	0.61
14.66	16	0.0469	1.19	0.0213	0.54
17.15	18	0.0394	1.00	0.0189	0.48
20.16	20	0.0331	0.84	0.0165	0.42
23.47	25	0.0280	0.71	0.0146	0.37
27.62	30	0.0232	0.59	0.0130	0.33
32.15	35	0.0197	0.50	0.0114	0.29
38.02	40	0.0165	0.42	0.0098	0.25
44.44	45	0.0138	0.35	0.0087	0.22
52.36	50	0.0117	0.297	0.0074	0.188

Mallas per pulgada lineal	Número del tamiz	Abertura del tamiz pulgadas	Abertura del tamiz en m.m.	Diámetro del alambre pulgadas	Diámetro del alambre en m.m.
61.93	60	0.0098	0.250	0.0064	0.162
72.46	70	0.0083	0.210	0.0055	0.140
85.47	80	0.0070	0.177	0.0047	0.119
101.01	100	0.0059	0.149	0.0040	0.102
120.48	120	0.0049	0.125	0.0034	0.086
142.86	140	0.0041	0.105	0.0029	0.074
166.67	170	0.0035	0.088	0.0025	0.063
200.00	200	0.0029	0.074	0.0021	0.053
238.10	230	0.0024	0.062	0.0018	0.046
270.26	270	0.0021	0.053	0.0016	0.041
323.00	325	0.0017	0.044	0.0014	0.036

Los tamices de Tyler son los más utilizados, tienen como base el de 200 mallas, con una abertura de 0.0029 pulgadas, y el tamaño de abertura también varía con el factor 2. Existen tamaños intermedios que pueden proporcionar un intervalo más ajustado. En la tabla siguiente se dan las características de esta serie.

Serie de tamices de Tyler

Abertura del tamiz en pulgadas	Abertura en milímetros	Mallas per pulgada lineal	Diámetro del alambre en pulgadas
0.050	26.67	.....	0.148
0.883	22.43	.....	0.135
0.742	18.85	.....	0.135
0.624	15.85	.....	0.120
0.525	13.33	.....	0.105
0.411	11.20	.....	0.105
0.371	9.423	.....	0.092
0.312	7.925	2 1/2	0.088
0.263	6.680	3	0.070
0.221	5.613	3 1/2	0.065
0.185	4.699	4	0.065
0.156	3.962	5	0.044
0.131	3.327	6	0.036
0.110	2.794	7	0.0328

Abertura del tamiz, en pulgadas	Abertura en m.m.	Mallas per pulgada lineal	Diámetro del alambre en pulgadas
0.093	2.362	8	0.0320
0.078	1.981	9	0.0330
0.065	1.651	10	0.0350
0.055	1.397	12	0.0280
0.046	1.168	14	0.0250
0.0390	0.991	16	0.0235
0.0328	0.833	20	0.0172
0.0276	0.701	24	0.0141
0.0232	0.589	28	0.0125
0.0195	0.495	32	0.0118
0.0164	0.417	35	0.0122
0.0138	0.351	42	0.0100
0.0116	0.295	48	0.0092
0.0097	0.246	60	0.0070
0.0082	0.208	65	0.0072
0.0069	0.175	80	0.0056
0.0058	0.147	100	0.0042
0.0049	0.124	115	0.0038
0.0041	0.104	150	0.0026
0.0035	0.088	170	0.0024
0.0029	0.074	200	0.0021

Abertura del tamiz en pulgadas	Abertura en m.m.	Mallas per pulgada lineal	Diámetro del alambre en pulgadas
0.0024	0.061	250	0.0016
0.0021	0.053	270	0.0016
0.0017	0.043	325	0.0014
0.0015	0.038	400	0.0010

Una muestra que deba ser tamizada debe estar completamente seca y los terrones perfectamente triturados, entonces debe pasarse la misma a través de una serie de cedazos según el tipo de distribución exigido, hay que procurar, sin embargo, agitar los cedazos un tiempo suficientemente largo para asegurarse de que todo el material de tamaño inferior ha pasado por los cedazos correspondientes..

En algunos casos se emplea la humectación, por ejemplo para separar la arcilla de la chamota. Un método conveniente para efectuar el análisis es pesar una cierta cantidad de muestra, por ejemplo 100 g. Al obtener esta muestra, es necesario el máximo cuidado para asegurarse de que es representativa. La muestra pasa entonces a través de los cedazos deseados, y la cantidad que permanece en cada uno de ellos se pesa, el peso en gramos dará directamente el porcentaje, un típico análisis de este tipo se indica en la tabla siguiente.

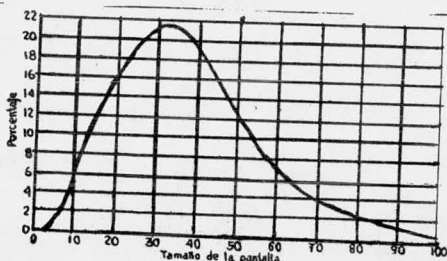
Ejemplo de datos obtenidos en el análisis de tamizado

Cedazo	Peso en gramos	Tante por ciento	Peso acumulativo en porcentaje
Pasa a través de 100	10.5	10.5	37.0
Retenido en 4	0.5	0.5	0.5
" 6	1.5	1.5	2.0
" 8	3.0	3.0	5.0
" 10	15.5	15.5	37.0
" 14	10.0	10.0	21.5
" 20	15.5	15.5	37.0
" 28	20.0	20.0	57.0
" 35	21.5	21.5	78.5
" 48	14.0	14.0	92.5
" 65	5.5	5.5	98.0
" 100	1.0	1.0	99.0
Pasa a través de 100	1.5	1.5	100.5

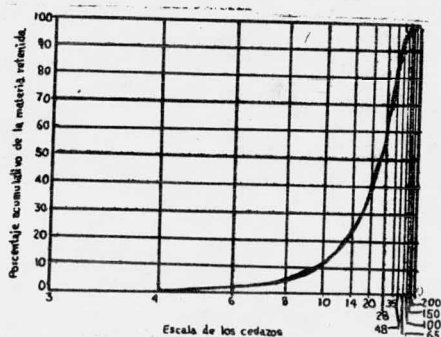


Hay diversos métodos para representar los resultados de los análisis per tamizado. La fracción correspondiente a cada tamaño en particular puede representarse en una curva de frecuencias, tal como se indica en la siguiente figura. "I" o bien puede representarse el porcentaje acumulative en un papel logarítmico tal como se hace a menudo cuando se utilizan los tamices de Tyler.

Figura "I"



Resultado de un análisis de tamizado. La fracción de cada tamaño de partícula se representa en un gráfico como en una curva de frecuencias.



Resultado de un análisis de tamizado.

## II. 5.- Método de sedimentación.

A fin de determinar la distribución del tamaño de partícula en un material finamente dividido, como la arcilla, se ha reunido a las distintas velocidades de sedimentación de las partículas en el agua.

Utilizando la ley de Stokes, que afirma que una esfera de diámetro "D" caerá a una velocidad "V" en un líquido de viscosidad " $\eta$ " cuando la densidad de la partícula sea " $S_1$ " y la del líquido " $S_2$ " el diámetro de la esfera viene dado por la ecuación.

$$D = \sqrt{\frac{18\eta \cdot V}{(S_1 - S_2)g}}$$

expresada en unidades cegesimales.

Podría pensarse que las partículas que posean formas irregulares o forma plana se sedimentarían a velocidades diferentes que las partículas de forma esférica que tuviera el mismo volumen; pero con la excepción de las formas extremadamente planas, tal como es el caso de las micas, la ley de Stokes es válida para tamaños de hasta  $10^4$  de diámetro e incluso inferiores.

Uno de los factores más importantes en esta determinación es la dispersión completa de las partículas en agua, si sufren el fenómeno de floculación en una cierta extensión, los resultados darán errores considerables, en la arcilla, se necesita una agitación intensa para romper los grumos, y a menudo la acción de un agente defloculante como el silicate sódico, pirofosfato sódico, carbonato sódico. El estado de la dispersión debe comprobarse con el microscopio antes de la prueba de sedimentación.

Cuando las partículas tienen un diámetro inferior a  $10^4$ , la vel-

ocidad de sedimentación se vuelve tan lenta que debe acelerarse por fuerza centrífuga. En este sentido pueden utilizarse varios tipos de centrifugas.

Hay varios métodos para medir la velocidad de sedimentación. En la pipeta de Andreassen, se retiran pequeñas muestras de la suspensión a una distancia constante por debajo de la superficie, a distintos intervalos de tiempo, estas muestras luego se secan y se pesa el sólido remanente. El método Casagrande utiliza un hidrómetro para obtener la gravedad específica de la suspensión a distintos tiempos, utilizando un nomograma que sirve para obtener la distribución de tamaños.

El método de medir el tamaño de partícula por inversión ha sido desarrollado por Berg y es el más ingenioso. Consiste en añadir a la suspensión pequeños flotadores de vidrio de densidad conocida que mantendrán siempre un nivel coherente con densidad de la suspensión en aquel punto, por lo tanto, registrando la velocidad de sedimentación de estos flotadores, pueden seguirse los cambios de densidad en la suspensión sin ninguna distorsión. Gaudin y Hukki sugiere la representación gráfica del logaritmo del porcentaje acumulativo de las partículas más finas en función del logaritmo del tamaño. Este método tiene la ventaja de que en la mayoría de los casos esta representación es una línea recta.

#### II.6.- Otros métodos.-

La lixiviación con aire o con agua como medio puede utilizarse para la determinación de tamaño de partícula, pero este método es más útil para la obtención de fracciones de tamaño definido.

El microscopio permite la medida directa de tamaño de partícula

con un ocular calibrado. Sin embargo, el límite inferior está alrededor de  $1\mu$ , aunque ciertos problemas pueden resolverse bastante bien por este método. Para tamaños más finos, el microscopio electrónico nos da el único medio directo de medida de tamaño de partículas. Los tamaños que se determinan caen por debajo de  $0.1\mu$ .

Los diagramas obtenidos por medio de la difracción de rayos X permiten el cálculo de tamaño de partícula a partir de  $0.05\mu$  y a veces menores, por medio del ensanchamiento del perfil que aparece con partículas pequeñas, este método puede utilizarse también para medir el tamaño de los cristales de un terrón de refractario.

## II. 7. Interpretación del tamaño de partícula.-

El diámetro medio de una partícula sola es fácilmente calculable cuando se considera una esfera o cubo cuyo diámetro o lado, respectivamente, son medidas definidas. En el caso de un paralelepípedo con los lados a, b, c, podemos expresar 4 diámetros medidos como sigue:

$d_m = (a+b+c)/3$	estadístico
$d_m = \sqrt{(2ab + 2ac + 2bc)/6}$	lado del cubo de igual superficie
$d_m = \sqrt[3]{abc}$	lado del cubo de igual volumen
$d_m = 3abc/(ab + ac + bc)$	media armónica que relaciona la superficie con el volumen

Para partículas en forma plana, las diferentes  $d_m$  varían mucho; con lo que deberá especificarse siempre a qué diámetro nos estamos refiriendo. El diámetro medio esférico se toma usualmente como el diámetro de la esfera que se deposita a la misma velocidad de la partícula dada.

Cuando consideramos una serie de partículas de tamaño uniformemente escalonado, pueden considerarse los siguientes diámetros medios:

$$d_{ms} = \frac{\sum nd}{\sum n} = \frac{I}{2} \cdot \frac{d_I^2 - d_2^2}{d_I - d_2} = \frac{I}{2}(d_I + d_2) \text{ media estadística}$$

$$d_{me} = \frac{\sum nd^2}{\sum nd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{d_I^3 - d_2^3}{d_I - d_2} \text{ longitud media}$$

$$d_{ma} = \frac{\sum nd^3}{\sum nd^2} = \frac{3}{4} \cdot \frac{d_I^4 - d_2^4}{d_I^3 - d_2^3} \text{ área media}$$

$$d_{mv} = \frac{\sum nd^4}{\sum nd^3} = \frac{4}{5} \cdot \frac{d_I^5 - d_2^5}{d_I^4 - d_2^4} \text{ volumen medio}$$

En las que

$n$  = número total de partículas

$d_I$  = diámetro menor de la serie

$d_2$  = diámetro mayor de la serie

A menudo se utilizan la llamada "media Meller"

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{(d_I + d_2)(d_I^2 + d_2^2)}{4}}$$

II. 8.- Para ilustrar el uso de los diversos diámetros medios que se han definido anteriormente, se da en la tabla siguiente, un ejemplo basado en el recuento por medio de un microscopio, de una serie de partículas uniformemente escalonadas.

	Diámetro de la fracción en $\mu$							
	60	50	40	30	20	10	6	2
Número de partículas	87	100	156	660	1.750	6.200	25.000	155.000
Porcentaje del total basado en:								
Número $n/n$	0.05	0.05	0.1	0.3	0.9	3.3	13.5	81.8
Longitud $nd/nd$	0.9	0.9	1.1	3.5	6.1	10.9	22.4	54.3
Área $nd^2/nd^2$	7.8	6.3	6.3	14.9	17.6	15.5	16.1	15.6
Volumen $nd^3/nd^3$	22.5	14.9	11.9	21.3	16.7	7.4	3.8	1.5

Calculando el diámetro medio para la serie entera resulta:

$$d_{nc} = \sum \left( \frac{n}{n} \cdot d \right) = \frac{\sum nd}{\sum n} = 3.0 \mu$$

$$d_{nc} = \sum \left( \frac{nd}{nd} \cdot d \right) = \frac{\sum nd^2}{\sum nd} = 7.0 \mu$$

$$d_{na} = \sum \left( \frac{nd^2}{nd^2} \cdot d \right) = \frac{\sum nd^3}{\sum nd^2} = 21.0 \mu$$

$$d_{nv} = \sum \left( \frac{nd^3}{nd^3} \cdot d \right) = \frac{\sum nd^4}{\sum nd^3} = 36.4 \mu$$

El significado físico de estos valores puede hacerse patente supe-

siendo que las partículas están alineadas, cada una de ellas tocando a la siguiente y además siendo cada una de ellas menor que la precedente. Si se seleccionara la partícula de esta alineación que tuviera igual número de partículas por encima y por debajo de ella, su diámetro sería 3.0 . Por otro lado, si se seleccionaran las partículas que tuvieran exactamente en el centro de la línea, tendría un diámetro de 7.0 . Una partícula seleccionada de tal modo que el área o volumen totales de todas las partículas por encima o por debajo de ella fueran iguales conduciría a diámetros respectivos de 21.0 y 36.4 , lo cual indica que el tamaño de partícula no tiene significado si no se especifica el criterio bajo el cual se considera la media.

## II. 9.- Macroestructura.-

La macroestructura de los refractarios es importante porque es difícil de encontrar un material homogéneo. El tamaño y forma de los poros, la forma de las partículas de la chamota, y la distribución del aglomerante son de gran interés en este sentido. Por medio del estudio de la estructura, los métodos de fabricación pueden mejorarse para conseguir un producto de calidad superior.

Una sección transversal de un ladrillo puede molerse y convertirse en una superficie lisa por medio de una muela de hierro colado con carburo y agua. El ladrillo entonces se seca, y se calienta lo suficiente como para que pueda fluir la creta roja por encima de la superficie y por los poros, esta superficie puede pulirse luego con un abrasivo fino. El contraste entre un refractario de color claro y el color oscuro de la creta mostrará claramente su estructura.

## II.-9.- a- Permeabilidad.-

Su importancia en los refractarios.-

El flujo de gases a través de las paredes del refractario es importante en muchos hornos, especialmente donde existen grandes diferencias de temperaturas, como en los tipos de recirculación. Asimismo la permeabilidad de partes tales como las conducciones en las que van los termopares, muflas y recuperadores es interesante para un diseño eficaz de las mismas.

La permeabilidad tiene también su importancia en la comprobación de los productos de fabricación (control de calidad), ya que en el ensayo de permeabilidad se revela la presencia de laminaciones, vacíos y puntos blandos. En el caso de aislantes caloríficos, esta propiedad es útil para indicar la amplitud e magnitud de los poros interconectados.

Medida de la permeabilidad.-

La permeabilidad absoluta es una propiedad inherente al refractario y no depende en modo alguno de fluido. Puede expresarse como:

$$\lambda = \eta \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{(P_1 + P_2)} \cdot \frac{1}{t}$$

donde;

$\lambda$  = permeabilidad absoluta

$\eta$  = viscosidad del fluido expresada en poises

Q = volumen del gas que fluye a la presión media de  $(P_1 + P_2)/2$ , en centímetros cúbicos

A = área expresada en centímetros cuadrados

L = longitud del recorrido en cm.



$P_1$  = presión de salida, en dinas/cm<sup>2</sup>

$P_2$  = presión de entrada, en dinas/cm<sup>2</sup>

t = tiempo en segundos

Las dimensiones de esta ecuación son  $L^2$  = área. Sin embargo, las medidas usuales de permeabilidad se hacen con ciertos fluidos particulares tales como el aire, a temperatura ambiente, con lo que la permeabilidad media se expresa per:

$$K = \frac{\text{volumen de gas} \cdot \text{longitud del recorrido}}{\text{área} \cdot \text{tiempo} \cdot \text{diferencia de presión}}$$

que tiene las dimensiones:

$$\frac{L^2}{M \cdot L^{-1} T^{-1}} = \frac{\text{área}}{\text{viscosidad}}$$

K se expresa normalmente como (cm<sup>3</sup>)/(cm)(cm<sup>2</sup>)(seg)(cm de H<sub>2</sub>O) o bien por cm<sup>3</sup>/(pulgada)(pie<sup>2</sup>)(minute)(pulgada de agua de presión).

Uno de los problemas series que aparecen al medir la permeabilidad de una muestra es el evitar el escape de aire por las partes laterales, la mayoría de los instrumentos modernos dedicados a este ensayo contienen la muestra (un cubo, cilindro o ladrillo) en un manguito de goma inflable.

Se utiliza una presión suficiente para cerrar completamente las posibles aberturas. El volumen del flujo gaseoso puede medirse por medio del desplazamiento de agua por medio de un gasómetro standard, mientras que la diferencia de presiones se mide con un manómetro simple. Para permeabilidades bajas, el tiempo del ensayo puede ser muy largo

para obtener una buena precisión.

En la tabla "5" se dan los valores de permeabilidad para varios ladrillos refractarios ensayados en la U.S. Bureau of standards.

"5" Permeabilidad lateral de algunos ladrillos refractarios

Tipo	Método de formación	Porosidad media	Permeabilidad promedio "ff"
Alto contenido en alúmina 60%	Sin calcinar	15.0	0.005
De muy alta refractariedad	DP	28.0	0.117
De muy alta refractariedad	DP	19.6	0.183
De muy alta refractariedad	DP	11.2	0.037
Alta refractariedad	DP	14.8	0.085
Alta refractariedad	DP	13.3	0.033
Alta refractariedad	DP	19.1	0.101
Alta refractariedad	DP	30.3	0.100
Alta refractariedad	DP	16.5	0.032
Alta refractariedad	DP	17.0	0.031
Mullita	HM	25.8	0.262
Mullita	comprimida	21.5	0.015
Mullita	SC	26.3	0.016
Cromita - magnesita	DP	20.8	0.032
Magnesita - cromita	sin calcinar	15.0	0.005
Magnesita	sin calcinar	13.5	0.001
Sílice, standard	DP	24.2	0.143
Sílice, standard	.....	30.3	0.461

Tipo	Método de formación	Porosidad media	Permeabilidad
Ladrillo refractario aislante, 20	HM	29.2	0.364
Ladrillo refractario aislante, 26	.....	85.8	2.14
Ladrillo refractario aislante, 30	.....	75.6	3.22
Ladrillo refractario aislante,	.....	70.5	14.6
espumado Al	.....	60.5	1.98

$$f = \frac{(\text{cm}^3)(\text{cm})}{(\text{sec})(\text{cm}^2)(\text{gm}/\text{cm}^3)}$$

Se midieron los valores para flujos que circulaban a lo largo de los tres ejes del ladrillo, aunque en la tabla sólo se presentan los resultados relativos al flujo longitudinal por el costado. Debe recordarse aquí que las laminaciones, e bien otras discontinuidades estructurales pueden afectar grandemente estos valores. A partir de esta tabla se puede concluirse que todos los ladrillos de arcilla refractaria comprimidos en seco tienen sustancialmente la misma permeabilidad; el ladrillo de sílice la tiene superior, y el ladrillo refractario aislante la tiene muy superior, ya que estos valores se han determinado en ladrillos fabricados en los años 1930 a 1940, debe esperarse que los ladrillos hechos en la actualidad, con una dosificación más cuidadosa en el tamaño de chamota, con presiones de moldeo superiores y temperaturas de cocción asimismo superiores, tendrán permeabilidades algo inferiores. Por supuesto que los hornos con revestimientos de ladrillo refractario aislante deben cubrirse

con una carcasa o ferro de acero o bien con una capa de cemento dura, a fin de evitar que el flujo gaseoso se extienda a través de ellos.

## II. 10.- Superficie específica.-

Esta propiedad puede medirse actualmente a partir de muestras que están pulverizadas o bien en forma de sustancia permeable, por el método de adsorción de nitrógeno.

## II. 11.- Resistencia de los refractarios.-

La resistencia en frío de los refractarios calcinados no tiene generalmente importancia en sí misma; sin embargo, sirve a menudo como una guía para conocer algo sobre otras características, como vitrificación, temperatura de calcinación o pureza del material, en el caso de los refractarios aislantes, la resistencia tiene importancia para determinar la fragilidad posible en el manejo y distribución. Los valores de la resistencia en frío realmente tienen poco significado, pero suelen encontrarse normalmente en los catálogos de los fabricantes.

## II. 12.- Densidad real.-

El método que va a describirse a continuación es satisfactorio para la determinación de la densidad real. El material se pulveriza como mínimo hasta el tamaño correspondiente a 100 mallas, se seca completamente a  $105^{\circ}\text{C}$  y se enfría sobre  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  hasta la temperatura ambiente. Se pesa alrededor de 1 gramo en un picnómetro previamente calibrado y pesado, a continuación se llena el picnómetro hasta aproximadamente su mitad con agua destilada, hervida recientemente, y se mantiene a  $60^{\circ}\text{C}$  durante media

hera aproximadamente, y agitando el contenido para mojar por completo las partículas y eliminar el aire retenido. La botella se somete posteriormente a la acción del vacío para asegurarse bien que todo el aire ha desaparecido. La presión reducida que aparece en aquellos momentos no debe ser tan pequeña como para que haga hervir el agua violentamente, ya que entonces es probable que se produjeran pérdidas del sólido. Son suficientes unos veinte minutos de tratamiento utilizando una bomba aspirante ordinaria.

El picnómetro se llena entonces hasta la indicación con agua destilada y se coloca en un termostato durante 1 hora, transcurrido este tiempo, se tapa cuidadosamente el picnómetro, se seca perfectamente el capilar y el exterior del recipiente y se pesa el conjunto cuidadosamente.

El peso específico se calcula entonces a partir de la expresión:

$$\text{Peso específico} = \frac{W - P}{(W_1 - P) - (W_2 - W)}$$

donde

P = peso del picnómetro y tapón

W = peso del picnómetro, tapón y muestra

$W_1$  = peso del picnómetro, tapón y agua tapón lleno de agua

$W_2$  = peso del picnómetro, tapón, muestra y agua

En el caso de los ladrillos no plásticos se utilizan tetracloroetano o bien tetrahidronaftaleno, a causa de su baja viscosidad y alta facilidad de mojado, sustituyendo así al agua, pues se eliminan los pasos de hervido de ésta y extracción de aire. Debe repetirse el ensayo más de una vez y los resultados obtenidos no deben diferir en un valor inferior a  $\pm 0.005$ .

## II. 13.- Resistencia a la abrasión.-

Los refractarios utilizados en las soleras de los hornos e en otros lugares donde los objetos se deslizan por encima de ellos deben tener una buena resistencia a la abrasión, aún más, los refractarios a menudo se gastan debido al frotamiento de las partículas que se mueven con la rapidez del flujo gaseoso, los ensayos de abrasión a temperatura ambiente, como los que se utilizan regularmente para los ladrillos de pavimento y los baldosines, tienen poca significación para los refractarios, porque las condiciones son muy diferentes a altas temperaturas. En primer lugar, el refractario debe tener una estructura fuerte y bien enlazada, y, en segundo lugar, no debe volverse plástico a la temperatura de trabajo en general, se ha encontrado que un ladrillo que muestra una buena resistencia a la presión, resiste también la abrasión.

La abrasión se ha medido a temperatura ambiente con la cual no es adecuada puesto que se trabaja con otra temperatura, la prueba más lógica quizá son las propuestas por Haaceck y King. En este ensayo, las muestras de refractario se frotan entre sí dentro del horno y se determina entonces la pérdida de peso para un cierto tiempo de esta acción.

Para estudiar la influencia de la temperatura, la muestra se ensaya del modo siguiente:

Temperatura de ensayo	Pérdida de peso en gramos
20° C (68° F)	0.115
1050° C (1922° F)	0.255

Estos resultados demuestran que la resistencia a la abrasión dec-

rese con la temperatura. También se ha llegado a la conclusión de que una estructura finamente granular y una alta temperatura de cocción aumentan la resistencia a la abrasión.

La resistencia a la abrasión para un ladrillo refractario aislante es naturalmente menor que para un refractario denso, a pesar de que las capas duras ayudan mucho en este sentido. Los ensayos de abrasión se han llevado a cabo sobre este material haciendo circular partículas finas por medio de una corriente de aire de alta velocidad a través de un conducto revestido con determinados ladrillos.

#### II. 14.- Resistividad eléctrica.-

En el funcionamiento de un horno eléctrico, la resistividad eléctrica de los refractarios tiene una importancia considerable, existiendo muchos casos en que es conveniente que el refractario sea aislante eléctrico a alta temperatura.

El método de medida de esta resistividad es teóricamente simple, pero a altas temperaturas está rodeado de numerosos problemas prácticos; sin embargo, a temperaturas hasta de  $1000^{\circ}\text{C}$  ( $1832^{\circ}\text{F}$ ), el aparato es relativamente sencillo, la mayor dificultad estriba en reducir la resistencia en los contactos, y en este sentido se han utilizado diversos métodos para evitar esta contingencia. Heusler y Henry indican un método excelente para la medida de esta propiedad.

En la tabla "6" se dan algunos valores de resistividad eléctrica obtenida por diversos investigadores. Deberá notarse que los valores son más bien discordantes en algunos ejemplos. Esto puede ser debido, en parte

a la variedad de muestras y, en parte, a errores en la experimentación.

A bajas temperaturas el refractario es muy poco conductor. A medida que la temperatura aumenta, la conductividad aumenta rápidamente hasta que se alcanza el punto de fusión, que es cuando tiene lugar la conducción electrolítica. Con un material puro, la conducción sería muy baja, hasta llegar incluso al punto de fusión; pero, con un refractario medio, se forman fases líquidas debidas a las impurezas, a temperaturas relativamente bajas, con lo que se obtiene pronto una disminución repentina de la resistencia.

En general, un material puro de alto punto de fusión dará la mejor resistencia eléctrica a alta temperatura.



Tabla "6"

Resistividad eléctrica de los refractarios comerciales

Tipo	Porosidad	Resistividad, ohm - cm		
		800°C	1200°C	1400°C
Arcilla refractaria, muy alto rendimiento	I8	19.000	1.550	720
Arcilla refractaria, alto rendimiento al calor . . . . .	20	20.500	2.000	970
Arcilla refractaria, rendimiento intermedio al calor . . . . .	24	10.000	920	445
Alto contenido en alúmina (70%) de PCE 37 - 38 . . . . .	23	11.800	900	460
Alúmina electrofundida . . . . .	3,I	3.800	740	290
Mullita, de PCE + 38 .. .. .	26	210.000	16.000	7.200
Sílice, muy alto rendimiento, 97% SiO <sub>2</sub> . . . . .	26	360.000	10.500	3.300
Sílice corriente, 90% SiO <sub>2</sub> . . . . .	22	150.000	43.000	1.650
Mullita electrofundida . . . . .	1,5	25.000	17.000	760
Básico, de 90 a 95% MgO .. . . .	I7	15.000.000	210.000	11.000
Básico, cromita - magnesita . . . . .	I4	2.000.000	130.000	2.400
Fersterita . . . . .	2I	1.450.000	11.500	680
Básico, magnesita - cromita . . . . .	I9	370.000	3.900	400
Carburo de silicio, aglomerado con arcilla	I2	37.000	4.600	1.700
Circón, 65% ZrO <sub>2</sub> . . . . .	30	1.250.000	21.000	3.600
Circona . . . . .	.....	.....	1.250	300
Carbón . . . . .	.....	0.003	0.003	
Grafito . . . . .	.....	0.0007	0.0008	0.0009

## Morteros refractarios.

II. 15.- Los morteros refractarios se utilizan para unir los diversos ladrillos y piezas especiales de refractarios, enlazar el paramento de ladrillos en una unidad sólida la cual será más resistente a los choques y tensiones mecánicas, una mayor trabazón entre las superficies ligeramente irregulares de ladrillos de tal modo que cada una de las hiladas de ladrillos tenga un apoyo firme en la hilada inferior, hacer herméticas las paredes frente a los gases o bien impedir la penetración de escoria en las uniones. Los mejores morteros son combinaciones de arcilla plástica y de chamota de volumen constante, ya que el uso de arcilla refractaria en crudo como mortero se reduce sólo a aplicaciones que requieren baja temperatura.

Los morteros se diluyen en agua y se utilizan como revestimientos de las caras de las paredes de los refractarios a fin de rejuntar mejor las uniones o también para proteger a las paredes de los elementos destructivos del horno.

### II. 15, a.- Morteros que fraguan con el calor.-

Se componen generalmente de chamota y una arcilla aglomerante, no se añaden ingredientes susceptibles de fragua al aire, como silicato sódico, adquiriendo el mortero su consistencia al vitrificar el aglomerante. Para un servicio a baja temperatura y también cuando se necesita un mortero muy fuerte, debe utilizarse una arcilla rica en fundentes, mientras que para un mortero que deba funcionar a altas temperaturas es aconsejable una arcilla refractaria o bien caelva. La fracción no plástica debe

pulverizarse hasta que en determinado momento que se llegue a ver, que pase por el tamiz de 35 mallas, mezclándose luego con el aglomerante para reducir la contracción el componente no plástico debe suponer el 60% de la totalidad del mortero como mínimo, sin embargo es preciso utilizar suficiente arcilla cruda para dar las propiedades de plasticidad y una trabajabilidad convenientes, y por consiguiente en estos casos deben ser seleccionarse cuidadosamente las arcillas. La distribución de los tamaños del grano de la chamota no plástica afecta también las propiedades de la manipulación del mortero

## II. 15b. Morteros que fraguan al aire.-

Se componen de arcilla refractaria precalcificada o bien arcilla magra en crudo, pulverizada hasta el tamaño del tamiz de 35 mallas, a ello se añade arcilla refractaria plástica y una solución que contiene del 5 al 20% de silicato sódico. La elección de una arcilla plástica como aglomerante y la relación óxido sódico-silicato en la solución de silicato sódico son los factores determinantes de las propiedades del mortero, para obtener un mortero que sirva para temperaturas elevadas, deben elegirse una arcilla altamente refractaria y una solución de silicato sódico que tenga una proporción baja de óxido sódico con respecto a la sílice, para condiciones de temperaturas más moderadas, combinando una arcilla de inferior punto de vitrificación, aunque, naturalmente, presentará un límite inferior de temperatura de utilización.

La base de chamota debe ser dosificada en cuanto a tamaño para que presente en el mortero acabado el mínimo de contracción de secado y de cocción, procurando que ello sea compatible con una buena facilidad de manipulación

El contenido en agua de un mortero que fragua al aire se ajusta hasta hasta que tenga la consistencia de una gelatina espesa. En el secado al aire estos morteros desarrollan una buena resistencia y forman una estructura casi monolítica con el paramento, ocurriendo en algunos casos que la junta del mortero es más resistente que los ladrillos trabados.

Para asegurar un buen control del agua de fraguado añadida se utiliza un proceso de mezclado en lechada. Después del mezclado, el mortero se envasa en barriles de acero, que se precintan con tapones de acero y juntas de caucho. El mortero debe ser lo suficientemente fino como para pasar el 95% de su totalidad a través del tamiz de 35 mallas, y cuando se utiliza para juntas debe dar una resistencia, una vez seco, por encima de 200 psi del módulo de ruptura.

Para algunas aplicaciones especiales, es mejor el mortero seco que la fragua al aire, en este caso, se utiliza silicato sódico pulverizado y seco en lugar de la solución húmeda, permaneciendo iguales los restantes componentes del mortero, la resistencia del fraguado de estos morteros secos es, sin embargo, inferior a la que resulta con el mortero de componente húmedo, el mortero de fraguado al aire, secado, se envasa en recipientes a prueba de humedad, normalmente del tamaño de las 100 libras.

Algunos fabricantes tenían problemas con el endurecimiento de los morteros de fraguado al aire mientras éstos estaban almacenados. Generalmente se cree hoy en día que el endurecimiento se debe a una reacción de intercambio entre el silicato sódico y la arcilla natural con iones calcio adsorbidos esto puede observarse en la tabla "A" y deriva de algunos experimentos realizados en el laboratorio de cerámica del Instituto Tecnológico de

Massachusetts. También se ha encontrado que las arcillas que contienen materia orgánica puede sufrir una reacción ácida mientras están almacenadas, produciendo por esta razón el fraguado.

#### II.15c.- Morteros especiales.-

Para aplicaciones especiales, se elaboran los morteros de fraguado al calor y al aire conjuntamente utilizando otros materiales básicos diferentes de la arcilla refractaria. Los más comunes son : magnesita, creta, sílice, alúmina y carburo de aluminio, y se usan en la colocación de los ladrillos fabricados con el material respectivo. Los morteros de alúmina se utilizan cuando se trata de temperaturas extremas y cuando no se utilizan para la obtención de hierro. Estos morteros llamados "morteros naturales". Consisten en una mezcla de arcilla corriente y arena y poseen buenas propiedades de manejabilidad.

#### II.15d.- Aplicaciones.-

El mortero se coloca de alguno de los tres modos corrientes, pero debe destacarse que en la mayoría de los casos es interesante utilizar una junta lo más estrecha posible.

El primer método es el llamado de "cubrición de junta" en el cual, de un mortero bastante plástico, se expande con la paleta una delgada capa sobre la última hilada. También con la paleta se extiende una ligera capa en la parte inferior y en uno de los extremos del ladrillo que hay que colocar fijándolo seguidamente en su sitio con unos golpecitos.

El segundo método es el que podríamos denominar de "remoje". Se pone en obra más diluido que en el caso anterior. El ladrillo a colocar se

"remoja" o se mete dentro de la pasta por su parte inferior y por uno de sus extremos, y luego se coloca en su sitio. Puede regularse el espesor de la junta por la consistencia de la pasta, .

Un método combinado, utilizado a veces, consiste en verter la pasta encima de la última hilada y en "remojar" el ladrillo con la consistencia de la pasta. Ello conduce a unas juntas más gruesas que con el segundo método

## II. 15 e.- Ensayo de morteros refractarios.-

Muchos métodos se han propuesto para ensayar morteros, pero todavía es difícil obtener una medida cuantitativa de la propiedad, tan subjetiva, de lo que denominamos trabajabilidad.

La dureza de la junta se determina generalmente cementando dos medios ladrillos sobre las caras de dimensiones 2.5 X 4.5 pulgadas, con una junta de espesor determinado (Norma ASTM C 198-47 ) Después del secado, se rompe tal como indica la figura "2" o bien pueden calentarse a varias temperaturas y probar su rotura mientras se calientan para evitar cualquier tipo de tensión en las muestras debida al movimiento de las piezas mientras se secan; de otro modo resultarían valores muy bajos debido a las finas grietas que aparecen.

La contracción puede medirse bien sobre barras de mortero por las técnicas dilatométricas o bien a través de las características de una capa secada y cocida sobre un ladrillo.

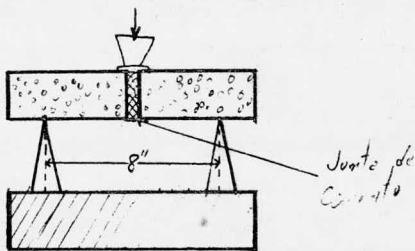
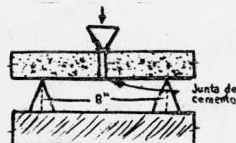
Tabla "A"

Propiedades de endurecimiento para  
LOS morteros de fraguado al aire .

Iones adsorbidos por parte de la arcilla	Endurecimiento
Na +	Ninguno
K +	Ninguno
Ba + +	Ninguno
Ca + +	Muy considerable
H +	Muy considerable

Figura "A"

Método para medir la resistencia  
mecánica de una junta de cemento .



## II. 16.- Cementos refractarios.

### Introducción.-

Los cementos refractarios se componen de un agregado grueso de ladrillo pulverizado o de chamota aglomerada con polvo fino de chamota, utilizándose para tres finalidades. La primera es para fabricar moldeados refractarios que se colocan en verde en hornos; la segunda finalidad es la de formar paredes monolíticas uniformes, y la tercera, reparar y parchear el paramento desgastado.

Los cementos refractarios se utilizan actualmente un poco más que en el pasado. Se han construido, por ejemplo, soleras muy grandes a base de cemento refractario monolítico y han dado muy buenos resultados.

Debe señalarse que los cementos refractarios endurecen por cocción sólo en la superficie caliente, y poseen una capa más débil y más flexible en el lado más frío, aunque es posible que ello sea a veces una desventaja, en otros casos tal vez ofrezca mayor duración que el refractario calcinado debido a la flexibilidad de la pared, sin embargo, solamente pueden obtenerse buenos resultados con cementos en estructuras monolíticas grandes si se utilizan con habilidad.

### II. 16 a.- Cementos de arcilla refractaria.-

Algunos de los cementos fraguan en frío, es decir, cuando se secan se vuelven más fuertes. Como en el caso de los morteros que fraguan en frío, esta resistencia se consigue añadiendo silicato sódico a la masa, la mayoría de plásticos se elaboran a base de chamota de ladrillo, bien especialmente preparada o fabricada a partir de pedazos de ladrillo



de desperdicio y de trozos de cacetes, el tamaño máximo del grano para estos materiales debe ser del orden de 4 a 2 mallas para reducir la contracción durante el secado y cocción, la arcilla utilizada para aglomerar debe seleccionarse cuidadosamente para dar una gran manejabilidad y baja contracción. Es particularmente importante que los cementos experimenten una pequeña contracción al secado y a la cocción, ya que de otro modo la estructura se resquebraja muchísimo después de la primera cocción por esta razón la proporción de chamota es comparativamente grande, oscilando entre el 40 y el 60% del total, no solamente el tamaño máximo del grano es decisivo para lograr buenos resultados, sino que también es muy importante a este respecto la uniformidad de la chamota. La pasta debe ser de una consistencia tal que mantenga su forma al aplicarla al parámetro, no debe desmenuzarse cuando se amasa y no debe ablandarse ni humedecerse cuando sea compacta mecánicamente.

Una pasta de buena plasticidad debe poder aplicarse en una cúpula sin escurrirse ni desprenderse.

#### II.- I6.- b - Mezcla de colada.

Hay muchos cementos que se denominan de "colada" o "comprimidos" y se utilizan para el revestimiento de las calderas de colada en la industria del hierro y acero, y para las conducciones y zonas por las que el metal fundido circula. Estos refractarios deben poseer propiedades especiales, como son; muy buena manejabilidad y un punto de reblandecimiento cercano a la temperatura de vertido del metal, para que la superficie del refractario quede como barnizada y ofrezca buena resistencia al ataque del metal y la escoria. Mientras muchas de estas mezclas están fabricadas a

base de chamota de arcilla refractaria, otras tienen una base de caolín y en algunos casos se han utilizado arcillas de alto contenido de alúmina.

## II. 16 c.- Cementos especiales.-

Además de los cementos a base de arcilla refractaria, se utilizan grandes cantidades de cemento a base de cromo, especialmente en los casos en que es muy fuerte la erosión producida por la escoria al fluir. El campo de aplicación para esta clase de cemento está en las paredes de soporte de los hornos de burbujeo, donde puede ser comprimido alrededor de los tubos de la camisa de agua para formar un refractario capaz de soportar los castigos enormes de las altas temperaturas y de la escoria.

Este tipo de cemento se elabora a partir de mineral de cromo, bien crudo o bien calcinado, con un aglomerante de arcilla y muy a menudo con silicato sódico.

Las mezclas comprimidas a base de sílice se fabrican a partir de ganister pulverizado, con arcilla y arena como cementador, estas mezclas deben hacerse uniformes para conseguir una gran facilidad en su manejo y se usan ampliamente en la reparación de cúpulas u otras zonas en metalurgia.

Las aplicaciones de carburo de silicio se utilizan cuando se requiere una alta transferencia de calor o una buena resistencia a la escoria, a pesar de que comparativamente resultan caros, dan un resultado excelente en condiciones severas de funcionamiento. Las aplicaciones a base de magnesita consisten normalmente en granos de magnesita calcinada a muerte mezclada con algún tipo de aglomerante orgánico, tales como alquitrán o dextrina, se utilizan para hornos eléctricos básicos, hornos básicos de hogar abierto

y en algunas de las construcciones de la industria no ferrosa.

## II.- 16.- d - Aplicaciones de los cementos.

No puede esperarse un servicio satisfactorio por parte de los cementos si no se han aplicado convenientemente, deben seguirse al pie de la letra las indicaciones que dan los fabricantes de cemento para asegurarse un funcionamiento perfecto, a pesar de que los métodos varían ligeramente según el tipo de cemento, en general deben tomarse las siguientes precauciones al aplicar este material.

Al colocar un cemento en el suelo de un horno, como por ejemplo uno a base de mineral de cromo en un horno de fundición, es costumbre seguir el siguiente procedimiento; sacar el material de sus envases y verterlo en una zona limpia del horno cerca del hogar, alisando las protuberancias con una pala pero sin adicionar agua. Si el material debe dejarse durante un cierto tiempo, debe cubrirse con sacos de arpillera mojados para evitar que se seque la superficie, empezando por uno de los extremos del horno, se extienden los terrones de material hasta que formen una capa de un espesor aproximadamente de un 50% superior al de la capa definitiva; así, por ejemplo, si se va a colocar un suelo de 3 pulgadas, el espesor de los mogotes de material deberá ser de 4 a 5 pulg. Es mejor trabajar con un listón de 30 pulg. empezando en un extremo del horno, entonces, con una pala pesada se van partiendo los terrones con golpes profundos, de tal modo que la capa superior de material (que posiblemente estará un poco seco) quede completamente compacta, entonces con un pesado pisón se consolida toda la masa con fuertes golpes, el espesor de la capa debe medirse con una varilla, si llegara por lo tanto a ser lo

demasiado delgado, toda la masa deberá ser cuarteada otra vez con la pala antes de añadir más material; en caso contrario, no se consolidaría.

La superficie final puede conseguirse disponiendo un entablillado en la parte superior y golpeando con el pisón sobre el mismo, entonces puede empezarse con el siguiente listón de 30 pulgadas, teniendo cuidado de asegurarse que está bien apoyado en el listón anterior para que no se produzcan discontinuidades, de este modo pueden colocarse más entablillados y el proceso se repite hasta que todo el suelo está hecho, la superficie final no debe pisarse hasta haber colocado el entablillado.

Es una buena práctica en todas las construcciones en las que se usa cemento el taladrar la capa con agujeros de 2 pulgadas de profundidad para que hagan de respiradero de modo que pueda salir el vapor que se produzca mientras se seca, puede realizarse muy bien haciendo un marco rectangular en el cual se han colocado alcayatas a 3 pulgadas del centro, de este modo el marco puede presionarse fuertemente sobre la superficie del cemento y conseguir los resultados apetecidos.

En algunos casos, se obtienen buenos resultados apisonando el hogar cuando está caliente con una placa pesada situada al final de un mango, que pueda introducirse por la puerta del horno, si esta operación se realiza cada final de semana, el hogar se consolida rápidamente y se obtiene una (Perfecta) excelente estructura.

Cuando se utilizan cementos en las paredes laterales, son necesarios encofrados de madera para que el cemento pueda ser presionado convenientemente y convertido en una estructura monolítica. A veces los cementos se han utilizado para los techos de los hornos pequeños

utilizando evidentemente un encofrado que presione hacia arriba, sin embargo, en estos casos lo más corriente es utilizar hórniçon refractario.

Los cementos se utilizan también en la reparación de las paredes y en estas condiciones debe ponerse un sumo cuidado para obtener un trabajo satisfactorio, la pared debe limpiarse cuidadosamente de cualquier escoria adherida dejando un parametre rugoso y a veces rebajando la superficie para que aguante el "parche". Esto normalmente se consigue martilleando con un mazo de madera, debido a que se tienen que tomarse precauciones para ser extendida la capa uniformemente y sin laminaciones.

## II. 16e.-Ensayo de cementos.-

Las características más importantes de los cementos son el punto de fusión, la trabajabilidad, la contracción al recalentamiento tal como se determina con el ensayo de panel y la resistencia cuando se cuese a varias temperaturas.

## II. 16.f.- Hermigenes refractaries.

Los hermigenes refractaries contienen un agregado y un material de unión, como por ejemplo cemento hidráulico, que permite el fraguado en frío. El agregado puede ser arcilla calcinada, que proporcionará al hermigen una alta densidad, o bien chameta pesada, tierra de diatomeas, vermiculita o cualquier otro material pesado, que proporcionará al hermigen resultante un peso ligero y una baja conductividad calorífica.

Los materiales que sirven para reparar en caliente no se han utilizado con frecuencia, pero se trata de conseguir un refractario estable mientras el horno se encuentra a temperaturas de trabajo, las composiciones de estos materiales refractarios varía mucho con las aplicaciones que se les piensa dar, la mayoría se hacen con una base de arcillas refractaria, pero existen muchísimas composiciones especiales, de las cuales, las más conocidas contienen creta, carburo de silicio, sílice y alúmina, a la hora de seleccionar un mortero o un revestimiento debe consultarse al fabricante.

Probablemente no existe ninguna rama de la industria del refractario que se haya desarrollado tan rápidamente, esto es debido a la calidad superior del producto y el ahorro del trabajo en su instalación a ello ha contribuido grandemente el desarrollo paralelo que han tenido las técnicas de molida.

## II. 16. f<sub>1</sub>.- Hermigenes refractaries densos.-

Los primeros hermigenes refractaries se construyeron a base de

trozos de ladrillo machacado o bien de arcilla magra como carga del hormigón y de un 15 a un 25% de cemento comercial de alto contenido en alúmina como aglomerante, este material era suficientemente adecuado para rendimientos bajos, medios y altos, pero fracasaba a temperaturas muy elevadas a causa de las impurezas tanto de la carga como del aglomerante.

En 1946, Pole y Moore describieron un aluminato cálcico que es;  $3 \text{CaO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$ , este cemento puro permitió la formación de hormigones con excelentes propiedades a altas temperaturas, pero Gitzem, Hart y MacZura creen que es preferible un cemento de composición  $\text{CaO} \cdot 2,5 \text{Al}_2\text{O}_3$ , estos cementos puros resisten mejor el ataque del  $\text{CO}$  que los cementos comerciales.

El cemento comercial con alto contenido en alúmina tiene una composición típica mostrada en la tabla "B", mientras que se presentan junto a él dos cementos de alta pureza, tal como los informados por Tseung y de Carruthers. Los componentes del cemento d, tal como se han determinado por difracción con rayos X, se establecen en la tabla "C".

Cuando estos cementos de alto contenido en alúmina se hidratan, se llega a los productos de la tabla "D" tomada de la referencia de Tseung y Carruthers. El hormigón se forma utilizando un agregado de arcilla o de caolín calcinados a alta temperatura, de alúmina sinterizada y en ocasiones de cianita. El agregado se dosifica cuidadosamente en cuanto a su tamaño para dar un sistema de empaquetamiento denso con un tamaño máximo de partículas de 4 mallas. Al agregado se adiciona cemento finamente molido en cantidad de 15 al 20%. Naturalmente, cuanto mayor sea el contenido en cemento, menor será el punto de fusión.

Utilizando cemento del tipo a, de la tabla "B" y un agregado de arcilla magra calcinada, la relación entre la cantidad de cemento y el

punto de fusión se muestra en la tabla "E" naturalmente, estos hormigones deben almacenarse en recipientes herméticos al aire para evitar la hidratación, y deben almacenarse con especial cuidado para evitarse la segregación antes de su uso. La razón agua/cemento debe aproximarse a 0.4 en mezclas para gunitado, y 0.6 a 0.8 para hormigones de colaje.

Los primeros hormigones refractarios que se fabricaron se, vertían en moldes como si fueran materiales de estructura, tal como se indica en la figura "B" pero a principios de los años 20 se inició la técnica del gunitado primeramente para reparaciones y posteriormente para revestimientos completos. Con pistolas de proyección mejoradas y superiores técnicas de aplicación, se encontró que era posible conseguir densidades tan altas o superiores incluso en un 5% de la del material de colado y resistencias mecánicas del orden de un 50% superiores.

El proyecto utilizado puede ser de tipo seco, como se muestra esquemáticamente en la figura "C", sin embargo, se ha constatado que resulta mejor humedecer la mezcla previamente a su adición a la cámara de pulverización, debe añadirse una cantidad de agua equivalente a un quinto del peso total para que la mezcla se mantenga fluida, el resto de agua se adicionará en el inyector, siendo controlada la cantidad por el operario.

El "proyector seco" produce un hormigón denso con baja proporción de agua/cemento.

Menos utilizado que el anterior es el proyector de tipo húmedo que se muestra en la figura "D", donde se forma la pasta, mezclando una cantidad controlada de agua con el material seco y posteriormente -



forzando la mezcla a través de la boquilla del inyector. El hormigón que ha sido colocada con el proyector húmedo es de inferior densidad que se obtiene con el proyector seco.

Uno de los problemas a solventar es la considerable cantidad de material que rebota, la cual normalmente oscila alrededor de un tercio del total que pasa a través del proyector seco. Livovich ha indicado que adicionando pequeñas cantidades de arcilla o bentonita a la mezcla se evita muchísimo este rebote, aun cuando a menudo ello repercute en las propiedades finales. Ha encontrado este autor que, adicionando un 6% de "ball clay", disminuye el rebote de un 33 a un 13% y que ello influye muy poco en la resistencia final, ya que el material que rebota es de baja densidad, no debe intervenir en la formación de la estructura, sin embargo, puede ser recuperado y adicionado de nuevo al depósito del proyector si se controla el contenido de agua. Para formar una estructura uniforme y densa es necesaria una gran habilidad por parte del operario que manipula el inyector.

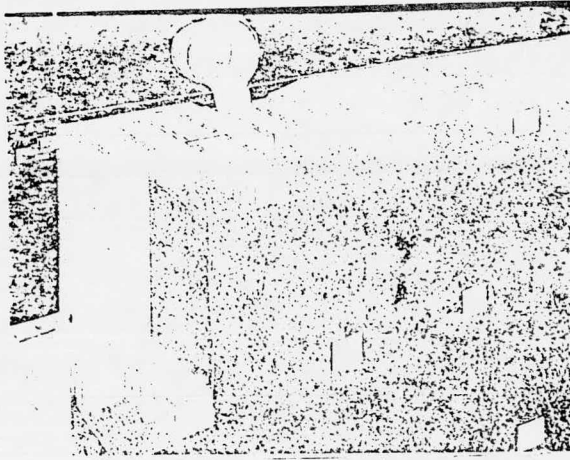
Se han proyectado varios tipos de anclajes para mantener la firmeza de las paredes o techos monolíticos, tanto si se colocan con la técnica normal de gunitado como apisonado, algunos de ellos son tacos metálicos útiles a bajas temperaturas, pero generalmente un modelo refractario el que se encierra en una envoltura.

Luego que el hormigón está ya colocado, se le deja fraguar sin pérdidas de agua, antiguamente, el hormigón era frecuentemente rociado con agua pulverizada para evitar el secado, pero era una operación que consumía tiempo y requería el mantenimiento del andamiaje en su lugar hasta que había finalizado el fraguado, hoy en día es práctica general el rociar

inmediatamente la superficie del trabajo, una vez terminado, con una membrana impermeable correspondiente a una solución de resina atomizada e bien con un asfalto especial, para mantener la humedad en el revestimiento.

Las propiedades finales de varios hormigones colados han sido enunciadas por Schneider y Mowg, Y Heindl y Pendergast. Las resistencias de curado y de cocción son excelentes y no existe ningún punto en el que haya una zona de debilidad. Wygant y otros investigadores han demostrado que las propiedades finales dependían de la temperatura de curado, que naturalmente aumentará en las masas grandes debido al calor de hidratación parece claro que la cantidad de calor de hidratación eleva más la temperatura a  $75^{\circ}\text{C}$  ( $165^{\circ}\text{F}$ ), esto no es perjudicial, pero si se eleva más la temperatura, las propiedades finales se resentirán de ello.

Fig. "B"



Celado de hormigón refractario aislante per la parte posterier de una pared refractaria. En la cara caliente se utilizan bloques de anclaje.

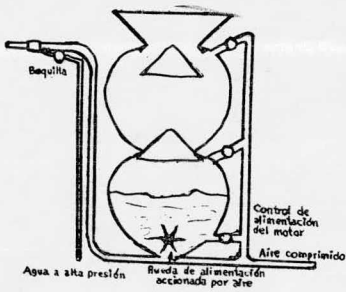


Fig. "C"  
Pistola de proyección en seco

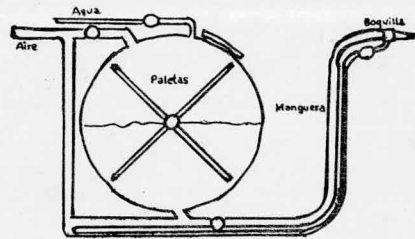


Fig. "D"  
Pistola de proyección de la mezcla húmeda.

Tabla "B"

Composición de un cemento de alto contenido en alúmina

Constituyente	Cemento comercial de alto contenido en alúmina			Cemento de alta pureza	Cemento de alta pureza
	a	b	c	d	e
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	39.2	41.8	50.8	72.75	80.0
CaO .....	36.9	36.6	39.6	24.88	18.0
SiO <sub>2</sub> .....	9.3	8.3	5.8	0.45	0.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	10.2	4.7	5.6	0.63	0.4
MgO .....	1.0	1.1	...	0.69	0.4
TiO <sub>2</sub> .....	1.1	0.2	...	Trazas	
Pérdidas al fuego ...	...	1.1	...	0.46	

Tabla "C"

Componentes en el cemento de alta pureza clase "d"

Componente	Cantidad					
CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	..	..	..	..	..	48.1
CaO·2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	..	..	..	..	..	36.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	..	..	..	..	..	9.4
2CaO·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	..	..	..	..	..	1.1
2CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>	..	..	..	..	..	1.8
MgO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	..	..	..	..	..	2.4



### Capítulo III.- Fabricación, Diseño, y Control de calidad

#### de los Refractarios.

Diseño.- Cuando se ha seleccionado un material refractario para usarse en un revestimiento deben darse los pasos necesarios para obtener un buen resultado en la instalación, y éste involucra factores tales como soportes, uniones, juntas de expansión, etc.

Efectivamente debemos considerar que los materiales refractarios van a trabajar a altas temperaturas y que durante su calentamiento o enfriamiento van a sufrir movimientos, debidos al secado, a los cambios internos y a la expansión propia del material. Por otra parte puede estar soportado por una coraza metálica, por un cuerpo estructural de concreto, o puede estar libre, en todo caso debemos prever una buena sustentación para lograr el óptimo resultado.

Si se trata de usar ladrillos, éstos deberán estar unidos por un mortero refractario que selle las juntas y ligue un tabique con otro.

Para el caso se tienen disponibles morteros refractarios que endurecen al aire, y que permiten una estructura sólida desde un principio; en este caso debemos dosificar juntas de expansión adecuadas que permitan el libre movimiento del material. Otro caso que puede presentarse es el uso de morteros de fraguado en caliente, los cuales van a endurecerse a temperaturas superiores a los 1000°C. Cuando se usan, el ladrillo expande libremente y sólo a altas temperaturas forma una estructura sólida, evitando en gran parte el uso de juntas de expansión.

Por otra parte debemos considerar la parte térmica, es decir, el

flujo de calor a través del refractario. En la mayoría de las escorias buscamos tener el menor flujo posible, para lo cual usamos una serie de paredes aislantes y la única limitación es la económica, es decir que el costo del aislamiento no sea mayor que el ahorro de calor.

ALGUNOS DETALLES SOBRE CONSTRUCCION CON REFRACTARIOS.

I) Siempre use el mortero adecuado para pegar los ladrillos cuando sea necesario unirlos.

II) Siempre deje la junta de menor espesor posible entre los ladrillos.

III) Siempre trate de amarrar las diferentes hiladas del ladrillo en las figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, y 11 se muestran diferentes tipos de construcción y espesores de muros.

IV) Siempre deje la junta de expansión necesaria, en las figuras 12, 13, 14, 15, y 16 mostramos diferentes tipos de juntas de expansión.

V) Siempre use ladrillos en la misma construcción que no llegue a reaccionar entre sí. En caso de no ser esto posible use un mortero o una hilada de ladrillos que no reaccione con ninguno de los dos materiales por separar.

## PLASTICOS.

I) Siempre apisonese sobre una superficie rígida.

II) Siempre cubra las formas con grasa, papel encerado o plástico para evitar que éstas se adhieran al plástico una vez terminada la instalación.

III) Siempre trate de apisonar los plásticos en dirección paralela a la cara de trabajo o superficie caliente.

IV) Siempre quite las formas de madera o metal que se usen una vez que ésta sea terminada de apisonar.

V) Siempre trate de calentar el horno una vez que se ha terminado la instalación del plástico, cuando se trate de plásticos de fraguado en caliente. Si no es posible, cubra el plástico con cestales o trapos mojados. En el caso de plásticos de fraguado en frío le anterior no es necesario; únicamente deje secar el plástico a la intemperie.

VI) Siempre selle las grietas de secado que se puedan formar en el plástico con el mismo plástico aguado o con una mezcla de 50/50 de plástico aguado y mortero.

VII) Siempre seque los plásticos a una razón de 10 a 24°C/hr. hasta llegar a una temperatura de 200 a 260°C y mantenga esta temperatura hasta que no desprenda vapor. Una regla práctica es mantener la temperatura 1 hora cada 2 1/2 cm. de espesor de la pared a arco.

Una vez hecho lo anterior, elévese la temperatura a razón de 40°C/hr. hasta alcanzar la temperatura de trabajo.



### APISONABLES.

Para los apisonables puede usar las mismas reglas que para los plásticos.

### CONCRETOS.

I) Siempre use un recipiente limpio y agregue el agua gradualmente para evitar la formación de terrones.

II) Siempre use la cantidad de agua necesaria

III) Siempre haga el mezclado breve pero completo ya que nuestros concretos empiezan a fraguar en 20 minutos.

IV) Siempre prepare la cantidad de concreto que necesite para la instalación y evite las interrupciones ya que puede ser causa de laminación.

V) Cubra los moldes e superficies donde se vaya a instalar el concreto con materiales impermeables para evitar que quite agua al concreto.

VI) Cubra las superficies instaladas con costales e trapos mojados durante 20 horas. Los moldes pueden quitarse una vez que el concreto se sostenga por su propio peso, este tiempo es de más o menos 6 horas.

VII) Secar lentamente el concreto a una temperatura de 200°C durante 20 horas antes de elevar la temperatura.

Este secado es muy importante en el caso de vaciados grandes y gruesos.

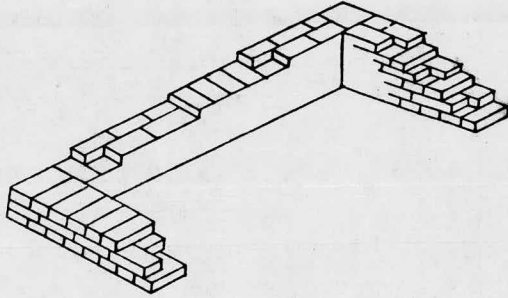


Fig. 4.- Pared de 9" de espesor.  
Hiladas Atizonadas Alternadas  
con Hiladas de Hilo.

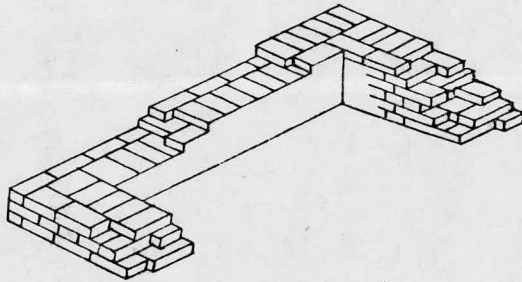


Fig. 5.- Pared de 13" de espesor.  
Hiladas Atizonadas Alternadas  
con Hiladas de Hilo.

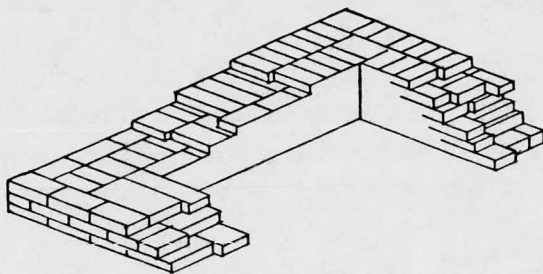


Fig. 6.- Pared de 18" de espesor.  
Hiladas Atizonadas Alternadas  
con Hiladas al Hilo.

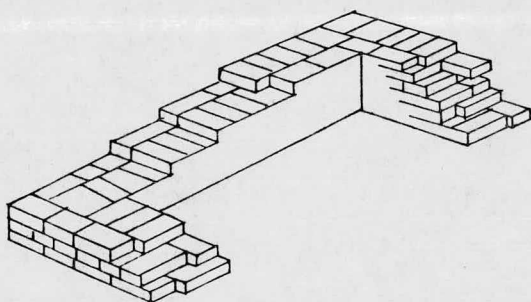


Fig. 7.- Pared de 13" de espesor.  
Tres Hiladas Atizonadas por una  
Hilada al Hilo en el lado expuesto  
o cara caliente.

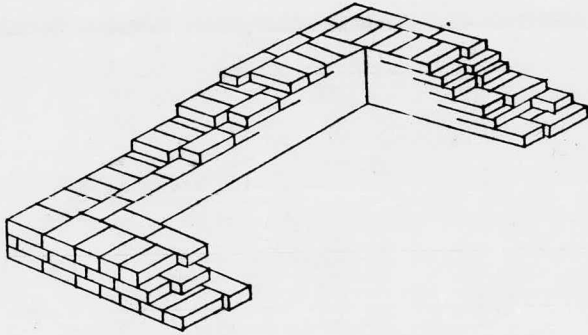


Fig. 8.- Pared de 13" de espesor.  
Tres Hiladas Atizonadas por una Hilada  
al Hilo en el lado Exuesto o cara Caliente

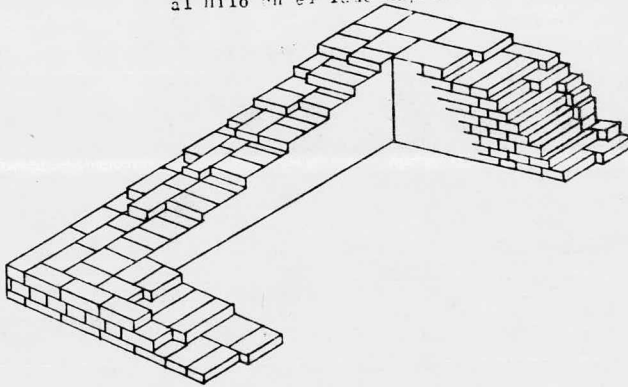


Fig. 9.- Pared de 18" de espesor.  
Solo Hiladas al Hilo en la Cara Caliente  
Hiladas Atizonadas en su mayoria en Cara  
Fria.

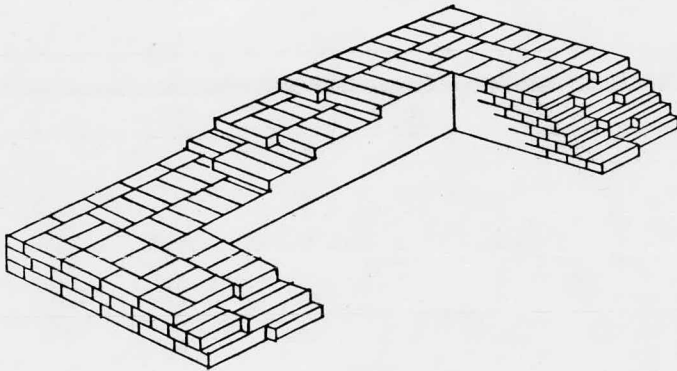


Fig. 10.- Pared 22½" de espesor. Solamente Hiladas Atizonadas en la Cara Caliente. Hiladas Atizonadas Alternadas con Hiladas al Hilo en la Cara Fría.

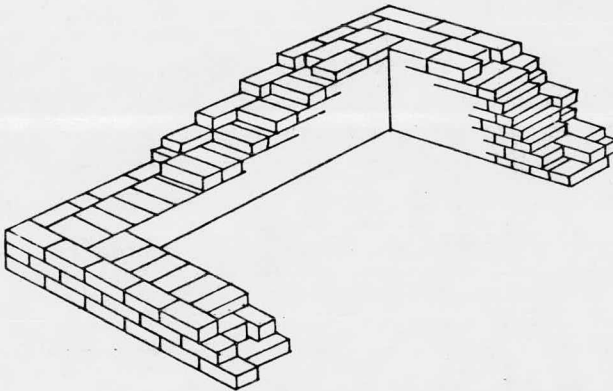
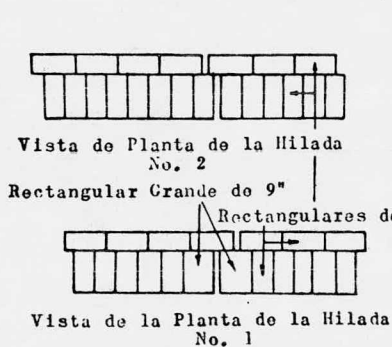
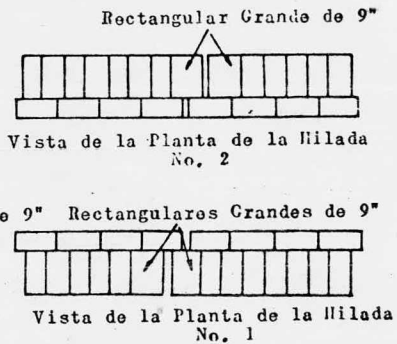


Fig. 11.- Pared de 13½" de espesor. Cinco Hiladas Atizonadas por una Hilada al Hilo en la Cara Caliente. Solamente Hiladas al Hilo en la Cara Fría. Ladrillo posterior sin amarrar con las Hiladas anteriores.



Elevación de la cara caliente

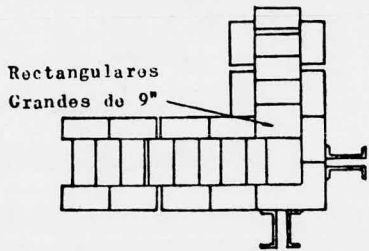
Fig. 12.- Juntas de Expansión en pared de ladrillo básico 13½" de espesor. Construcción de Hiladas Atizonadas en la Cara Caliente.



Elevación de la cara caliente

Fig. 13.- Juntas de Expansión Alternadas en pared de 13½" de espesor. Hiladas Atizonadas Alternadas con Hiladas al Hilo.

Vista de la Planta de la  
Hilada No. 1



Vista de Planta de la  
Hilada No. 2

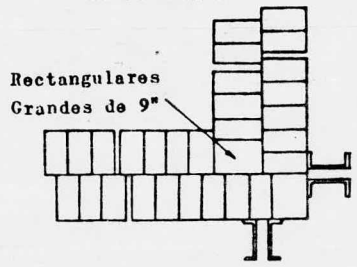
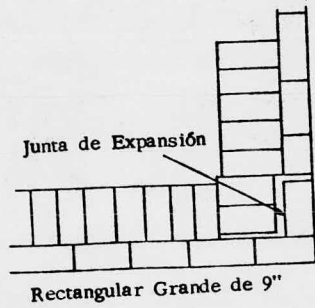
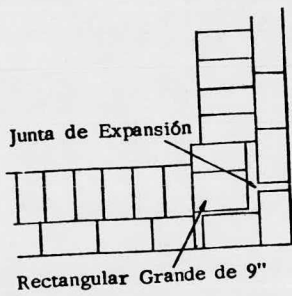


Fig. 14.- Juntas de Expansion dobles cerca de la esquina de una pared de 18" de espesor. Hiladas Cuatrapeadas mostrando Hiladas Atizonadas e Hiladas al Hilo.



Coraza Metálica

Fig. 15

Juntas de expansión dobles cerca de la esquina de una pared de 13 1/2" de espesor. Hiladas cuatrapeadas.



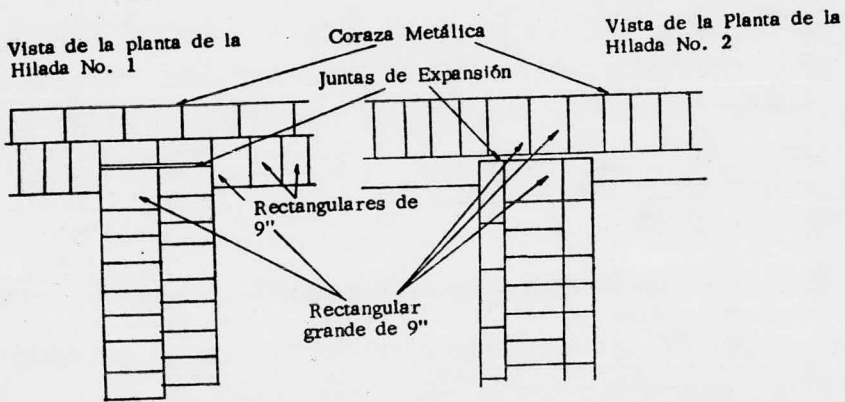


Fig. 16. Juntas de expansión para pared Intermedia Hiladas cuatrapeadas.

41  
**TABLA**  
**CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DE MATERIALES REFRACTARIOS.**

CLASIFICACION	TIPO	CPE (°C)	CONT. OXIDOS	RESIST. DISGREG. TERMICA	MODULO RUPTURA	RESIST. MEDIOS ACIDOS	RESIST. MEDIOS AL-CALINOS
Sílice: Regular	--	311/2 (1700)	+95% SiO <sub>2</sub>	Excelente a más de 650°C.	Bajo	Muy bueno	Malo
Calidad Superior	--	33 (1745)	+95% SiO <sub>2</sub>	de 650°C.	Bajo	Muy bueno	Malo
Arcilla: Semi-sílica	--	--	72-80% SiO <sub>2</sub>	Buena	Bajo	Muy bueno	Malo
Baja Calidad	--	15-27 (1430-1640)	22-33% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Regular	Buena	Regular	Malo
Acido Resistente	--	--	--	--	Muy bueno	Superior	Malo
Cal. Intermedia	--	29-31 (1660-1685)	25-38% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Regular	Regular	Regular	Malo
Alta Calidad	I	311/2 (1700)	35-41% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Regular	Bajo	Regular	Malo
Alta Calidad	II	311/2 - 33 (1700-1745)	35-41% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Buena	Regular	Regular	Malo
Alta Calidad	III	311/2 - 33 (1700-1745)	35-41% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Buena	Regular	Regular	Malo
Calidad Superior	I	33 (1745)	40-44% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Excelente	Regular	Regular	Malo
Calidad Superior	II	32-34 (1745-1765)	40-44% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Superior	Buena	Regular	Malo
Calidad Superior	III	32-34 (1745-1765)	40-44% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Superior	Muy bueno	Regular	Malo
Aislantes:	--	--	--	Buena	Bajo	Regular	Malo
Alta Alúmina:							
50%	--	35 (1785)	50% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Superior	Buena	Buena	Malo
60%	--	36-37 (1805-1820)	60% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Excelente	Buena	Buena	Malo
70%	--	37-38 (1820-)	70% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Excelente	Muy bueno	Buena	Malo
80%	--	39 (1865)	80% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Buena	Muy bueno	Buena	Regular
85%	--	40 (1930)	85% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Buena	Excelente	Muy bueno	Regular
90%	--	40-41 (1930)	90% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Buena	Superior	Muy bueno	Buena
>90%	--	+40 (+1930)	+95% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Buena	Superior	Muy bueno	Buena
Básicos:							
Magnesita	--	--	+85% MgO	Buena	Excelente	Malo	Muy buena
Magnesita-Cromita	--	--	+55% MgO	Excelente	Buena	Malo	Muy buena
Cromita-Magnesita	--	--	55% MgO	Buena	Buena	Malo	Muy buena
Cromita	--	--	+30% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Regular	Excelente	Malo	Muy buena

TABLA 5

PRESENTACION DE MATERIALES REFRACTARIOS.

CLASIFICACION	LADRILLO	MORTERO	CONCRETO	PLASTICO	APISONABLE
Silica: Regular	X	X			X
Calidad Superior	X	X			
Arcilla: Semisilica	X	X			
Acido Resistente	X	X			
Baja Calidad	X	X	X	X	
Calidad Intermedia	X	X	X	X	
Alta Calidad	X	X	X	X	
Calidad Superior	X	X	X	X	
Aislantes:	X		X		
Alta Alumina:					
50%	X	X	X	X	
60%	X	X	X		
70%	X		X	X	
80%	X	X		X	X
85%	X	X		X	X
90%	X		X		
+90%					
Magnesita	X	X			X
Magnesita-Cromita	X				
Cromita-Magnesita	X	X			
Cromita	X	X	X	X	X

### Capítulo III. Fabricación y Control de Calidad de los

#### Refractarios

#### Métodos de fabricación.

##### Ladrillos de arcilla

Las materias primas usadas en la manufactura de ladrillos de arcilla, comprenden una gran variedad de arcillas refractarias, que incluyen a las arcillas flint, semiflint, arcillas plásticas y caelimes. La arcilla flint es el principal constituyente de la mayoría de los refractarios de calidad superior que se fabrican en México. Su nombre FLINT se debe a su alta dureza y su fractura en forma de mecha.

A principios de este siglo, prácticamente todos los refractarios de arcillas eran fabricados a mano e por el método conocido de extrusión. Aproximadamente durante el año 1920, se encontró que las propiedades de los ladrillos podía ser mejorada grandemente, si se le daba forma a presiones elevadas, con prensas. Algún tiempo después se lograron mejoras muy notables cuando se procesaba la materia prima, para obtener una mezcla controlada de granulometría antes del prensado y todavía se mejoraron las propiedades al hacer el prensado con un alto vacío.

Una mayor uniformidad del producto se pudo obtener al tener un control preciso de las temperaturas y atmósfera del horno durante el quemado.

La mayoría de las formas normales de los refractarios de arcilla se fabrican actualmente por el proceso de prensado en seco. Las arcillas se muelen y se criban a los tamaños deseados y se mezcla con

una pequeña pero controlada cantidad de agua. Esta mezcla se alimenta a una prensa mecánica en donde se forman los ladrillos a presiones elevadas. Cuando se aplica el vacío se obtienen ladrillos más duros, menos porosos y más pesados y con mejor resistencia al choque térmico y mecánico. Únicamente se fabrican por molde manual aquellas piezas que por su tamaño o su forma complicada no permiten el prensado.

Los ladrillos crudos se secan, ya sea en pisos calientes o en secaderos de túnel y se queman en hornos túnel, en hornos tipo colmena y hornos intermitentes. El quemado desarrolla sus propiedades físicas, y la temperatura, tiempo y condiciones de quemado determinan las propiedades finales del producto.

En términos generales, estos materiales son de sílice-alúmina, cristalizada en parte, lo que dará dureza y una parte de la sílice con el quemado forma un vidrio que envuelve y liga a los cristales, manteniéndolos unidos hasta la temperatura de ablandamiento.

Este efecto es conocido como liga cerámica.

Tanto A.S.T.M. como Dirección General de Normas, hacen una clasificación de los ladrillos de arcilla en calidad superior, alta calidad, calidad intermedia, baja calidad, además están los ladrillos de semi-sílice y los féidos resistentes que están hechos de una arcilla especial y se pueden usar a temperaturas moderadas.

Ladrillos de Calidad Superior.-

Son materiales que contienen de 40 a 44% de alúmina y son los más refractarios entre los ladrillos de arcilla. La mayoría de ellos

se hacen por el método de prensado seco. Con algunos cambios en la granulometría se pueden hacer más densos y más resistentes a la escoria, gases, abrasión y carga y aumentando la temperatura de quemado se logra mejor resistencia mecánica y estabilidad de volumen. El alto quemado provoca también que el óxido de hierro presente se combine con la sílice y la alúmina y pierda su propiedad de catalizar el monóxido de carbono, haciendo inmune al ladrillo al ataque de atmósferas reductoras, sin embargo se reduce su resistencia al choque térmico.

#### Ladrillos de alta calidad.

Señ materiales con un contenido de alúmina de 38 a 40% y un cone pirométrica equivalente no menor de 31 I/2 que corresponde a 1700°C. Al igual que los ladrillos de calidad superior se pueden modificar para soportar la disgregación por atmósferas reductoras o para mejorar sus resistencias a la abrasión ó a la presión mecánica. Estos ladrillos se usan en cantidades mayores en un rango más amplio de aplicaciones que cualquier otro tipo de refractario, dado que sus propiedades son ligeramente inferiores a las de los ladrillos de calidad superior pero también son más baratos, como el coste de instalación es el mismo para cualquier ladrillo, se prefiere estos a los de baja o intermedia calidad para obtener una mayor seguridad por una pequeña inversión adicional.

#### Ladrillos de Calidad Intermedia.

Señ materiales con un cone pirométrica equivalente no menor de 29 que corresponde a 1660°C. Su contenido de alúmino es menor de 36% y se usa en lugar donde se requiere un servicio de condiciones

mederadas.

#### Ladrillos de Baja Calidad.

Señ materiales con un cono piroométrico equivalente no menor de I5(I430 C). Materiales con cono piroométrico equivalente inferior a I5 se considera como no refractarios. Sus aplicaciones principales son como revestimiento de trabajo en condiciones mederadas.

#### Ladrillos de Semisílica.

Señ materiales con un contenido de sílice entre 72 y 80% y un bajo contenido de óxidos alcalinos y otras impurezas. Tienen una excelente estabilidad de volumen a temperaturas altas, poca encojimiento y gran resistencia a la deformación bajo carga. Cuando están en servicio forman una capa superficial vitrificada que retarda la penetración y corrosión por fundentes y reduce la desintegración estructural.

#### Ladrillos Ácidos Resistentes.

La mayoría de estos materiales se fabrican de arcillas que adquieren alta densidad al quemarse y que tienen una refractabilidad mederada. Se emplea en los revestimientos de los tanques de ácido, terres, equipos químicos y pisos de trabajo. Las principales propiedades son alta densidad y alta resistencia a la acción destructiva de ácidos, líquidos ó gaseosos. El ladrillo tiene que ser no absorbente y resistente a la penetración de ácidos y otros agentes químicos destructores. Algunos ladrillos ácidos resistentes se emplean como refractarios debido a su alta resistencia a la abrasión a temperatura elevada.

#### Ladrillo de Alta Alúmina.-

Los refractarios sílice aluminosos que contienen más de 45% de alúmina se conocen como refractarios de alta alúmina. Se clasifican por su contenido y van de 50, 60, 70, 80, y 90% a especiales de contenidos intermedios, destacándose dos clases particulares por sus propiedades, que son mulita (60 a 78%) y cerundum (99% de alúmina). Para estos ladrillos existe una tolerancia de  $\pm$  5% de alúmina.

Estos materiales ofrecen la ventaja de ir alcanzando gradualmente refractabilidades superiores, cubriendo un rango de más de 200°C y pudiéndose usar hasta 1890°C. Son muy resistentes, al ataque químico de escorias y gases y en general, tienen mayor resistencia a la presión que los ladrillos de arcilla. Algunos tipos tienen bastante resistencia al choque térmico.

Los refractarios de mulita son fabricados con el mineral del mismo nombre ( $3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ SiO}_2$ ) y se distinguen por su gran resistencia a la deformación bajo carga.

Algo similar sucede con los ladrillos de cerundum (alúmina cristalina) que tienen un punto de fusión de 2000°C.

#### Ladrillos de Sílice.-

La materia prima para la fabricación de los refractarios de sílice se conoce como cuarcita (mineral de cuarzo) y debe contener como mínimo 98% de sílice ( $\text{SiO}_2$ ). El mineral se muele y se criba y, finalmente se liga con cal o cualquier otro agente para formar los



ladrillos. La temperatura de que debe ser lo suficientemente alta para transformar el cuarzo en otras formas de sílice estables a alta temperatura como la cristobalita e la tridimita.

Se fabrican dos clases de ladrillos:

1.- De calidad Superior que contienen de 0.2 a 0.5% de alúmina, óxido de titanio y óxidos alcalinos.

2.- Regular, que contiene más de 0.5% y menos de 1.0% de los mismos fundentes.

Los ladrillos de sílice se pueden usar en las bóvedas de hornos que trabajan a temperaturas elevadas por su alta refractabilidad, su gran resistencia al ataque de pelvis y humos y su alta resistencia mecánica y rigidez cuando se sujetan a esfuerzos de compresión.

#### Ladrillos Básicos.

Estos materiales incluyen a todos los fabricados con magnesita calcinada (quemada), dolomita, cremita, elitina y ferosterita. El principal componente es la magnesita, obtenida por calcinación del mineral brucita e por precipitación del óxido de magnesio de agua de mar e de salmueras.

Las diferentes clases de ladrillos básicos de que podemos disponer son los siguientes:

I.- Ladrillos de magnesita.-

a) Fabricados con magnesita de alta pureza (periclasa)

Y que contienen más de 93% de  $MgO$

b) Los convertidores que contienen de 87 a 93% de MgO.

c) Ladrillos de fersterita magnesita, que contienen aproximadamente 90% de MgO.

II.- Ladrillos de Cremita.

III.- Ladrillos de Magnesita - Cremita y Cremita - Magnesita.

Estos materiales involucran una serie de mezclas desarrolladas para usos específicos, son muy resistentes a la disgregación térmica, a temperaturas elevadas y tienen gran estabilidad de volumen.

IV.- Ladrillos de Fersterita.- Fabricados con mineral de olivina y con adiciones de magnesita.

V.- Magnesita - alquitranada y magnesita - dolomita, que se usan sobre todo para hornos de fusión de acero.

Estos materiales se obtienen por prensado en seco, pero pueden ser quemados ó de liga química, entendiéndose por estos últimos los que se aglutinan con un agente químico que por secado desarrolle su liga y le da las propiedades físicas necesarias al ladrillo. Los ladrillos quemados son superiores en lo que se refiere a resistencia a alta temperatura y estabilidad de volumen, mientras que, los de liga química son más resistentes a los cambios bruscos de temperatura.

Recientemente se han desarrollado unos ladrillos que combinan las propiedades anteriores y se denominan de liga directa. En éstos, como su nombre lo indica, los cristales de Magnesita y Cremita están unidos directamente por la acción de una alta temperatura y materiales de alta pureza, eliminando hasta donde sea posible fases líquidas.

Los ladrillos básicos pueden ferrarse con cajas de acero, teniendo además algunos insertos del mismo acero en su interior. La razón de esto es que además de darle mayor resistencia al choque térmico y a esfuerzos físicos, el acero se oxida y se funde, reaccionando con el material base, formando ferromagnesita, que es otro material refractario, con lo cual obtenemos al final un revestimiento monelítico.

Sus principales características son:

- I.- Gran resistencia al ataque químico por escorias básicas
- II.- Alto punto de fusión
- III.- Expansión térmica relativamente alta pero uniforme
- IV.- Pese alto que varía con la composición
- V.- Conductividad térmica de alta a moderada

#### Ladrillos Refractarios Aislantes

Señ ladrillos pesados y de bajo peso que tienen una conductividad térmica mucho menor que los refractarios comunes y una capacidad de retención de calor superior a cualquier refractario de composición similar. Se fabrican de diversos materiales tales como tierra diatomacea, vermiculita, perlita, etc. Su clasificación se basa en su peso por volumen y su comportamiento bajo carga a temperaturas específicas. La clasificación más usada es la de ASTM que se muestra en la tabla "A"

El número de grupo de identificación multiplicado por 100 representa la temperatura máxima en °F a la que puede trabajar el ladrillo. Así por ejemplo un ladrillo del grupo 23 puede ser calentado satisfactoriamente hasta 2300°F.

Los ladrillos aislantes se usan principalmente en la parte posterior de otros ladrillos de alta refractabilidad y alta conductividad térmica, aunque en algunas ocasiones se pueden usar directamente como revestimientos de trabajo si no hay abrasión, ataque de escorias ó contacto con líquidos.

Las principales ventajas en el uso de aislantes son:

A.- Economía en el combustible.

B.- Disminución del tamaño y peso del revestimiento del horno debido al peso ligero de los ladrillos aislantes.

Tabla "A"

CLASIFICACION DE LADRILLOS AISLANTES.

Identificación de grupo	El cambio lineal no debe ser mayor de 2% a	Pese por Volumen máximo (Gr/cm <sup>3</sup> )
16	845°C	0.54
20	1065°C	0.64
23	1230°C	0.77
26	1400°C	0.83
28	1510°C	0.96
30	1620°C	1.09
33	1815°C	---

Interpretación de las propiedades Físicas  
y Químicas de los materiales refractarios.

Las propiedades físicas más importantes que se determinan a un material refractario, presentado en forma de ladrillo ya sea como rectangular o en las formas denominadas standard, son las siguientes:

Cono pirométrico

Peso por volumen

Módulo de ruptura

Resistencia a la compresión

Deformación bajo carga

Porosidad aparente

Cambio lineal

Despestillamiento térmico

Cada una de las anteriores propiedades físicas tiene su importancia particular, en un momento dado, para ayudarnos a escoger el material adecuado para un uso determinado y pasaremos a discutirlo en forma sucesiva utilizando, cuando sea necesario, un ejemplo real de un uso específico para mejor entendimiento.

Cono pirométrico.

El cono pirométrico equivalente es una medida indirecta de la temperatura de reblandecimiento de los materiales refractarios.

Existen dos sistemas de medición de conos pirométricos equivalentes: El Seger y el Orten de los cuales, el más comúnmente usado es el Orten. Esta propiedad física está íntimamente ligada con la temperatura a la cual se sujetan los materiales refractarios.

La secuencia de variación de cone equivalente, de abajo hacia arriba, de acuerdo con las diferentes calidades y clases de refractarios mencionados, se muestra en la tabla "I". Para tener las temperaturas equivalentes a los conos pirométricos equivalentes citados en la tabla "I", ver la tabla "2" de equivalencias.

Se podrá notar que no aparecen los conos pirométricos equivalentes de los materiales básicos; éste obedece a que sus temperaturas de reblandamiento son del orden de  $2000^{\circ}\text{C}$  e sea conos pirométricos equivalentes superiores al 42.

Considerando que ésta medición se efectúa en un laboratorio y en ausencia de contaminantes que actuarían en un medio real se requiere una interpretación práctica de esta medición.

Supongamos el hogar de un horno cuya temperatura promedio sea de  $1500^{\circ}\text{C}$ , si pensamos exclusivamente en la temperatura promedio para poder seleccionar el material refractario, el ladrillo de más baja calidad posee suficiente cone pirométrico equivalente para soportar esta temperatura, pero si consideramos las impurezas e residuos corrosivos de los combustibles líquidos indudablemente llega a ser necesario un refractario con un cone pirométrico equivalente más alto, además de una porosidad baja pues el ataque químico de estos residuos es directamente proporcional a la porosidad e inversamente proporcional al cone pirométrico equivalente.

TABLA 1. - REFRACTABILIDAD DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA Y ALTA ALUMINA, EXPRESADA EN CONO PIROMETRICO

CONO NUMERO	ALUMINA						CONO NUMERO
	60% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	85% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
42							90% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
41							
40					80% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
39				72% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
38		62% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
37		60% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
36		50% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
35	Arcilla Calidad Superior						
34	Arcilla Alta Calidad						
33							
32							
31							
30							

TABLA 2. - EQUIVALENCIAS DE TEMPERATURA DE LOS CONOS PIROMETRICOS.

CONO NO.	PUNTO DE FUSION		CONO No.	PUNTO DE FUSION	
	°FAHR.	°CENT.		°FAHR.	°CENT.
12	2440	1335	29	3020	1660
12-13	2450	1345	29-31	3040	1670
13	2460	1350	31	3060	1685
13-14	2505	1375	31-31½	3075	1690
14	2550	1400	31½	3090	1700
14-15	2580	1415	31½-32	3105	1710
15	2605	1430	32	3125	1715
15-16	2660	1460	32-32½	3130	1720
16	2715	1490	32½	3135	1725
16-17	2735	1500	32½-33	3150	1735
17	2755	1510	33	3170	1745
17-18	2770	1515	33-34	3185	1755
18	2790	1520	34	3205	1765
18-19	2805	1530	34-35	3225	1775
19	2805	1540	35	3245	1785
19-20	2825	1555	35-36	3260	1795
20	2845	1565	36	3280	1805
20-23	2885	1585	36-37	3295	1810
23	2920	1605	37	3310	1820
23-26	2935	1615	38	3360	1850
26	2950	1620	39	3390	1865
26-27	2965	1630	40	3425	1885
27	2985	1640	41	3580	1970
27-29	3090	1650	42	3650	2015

\* CONO PIROMETRICO ORTON



#### Peso per Volumen.-

Esta propiedad física de los materiales refractarios es el cociente que resulta de dividir el peso en seco de una porción de ladrillo bajo prueba entre el volumen aparente (descontando volumen de los poros permeables) de la misma porción; de la definición anterior se deduce de inmediato que esta propiedad física, nos ayuda a seleccionar, a igualdad de análisis químico, el material refractario con el peso per volumen e idé rectamente, con la porosidad necesarias para un uso determinado.

#### Módulo de Ruptura y Resistencia a la Compresión.-

Estas propiedades físicas, que son medida de la resistencia de los materiales son ampliamente conocidas en su forma de determinación como en la finalidad para la cual se determinan, pero en la mayoría de los casos se efectúan en frío y no siempre son representativas del comportamiento del material bajo las condiciones de operación. En igualdad aproximada de análisis químico son una función de las variables; peso per volumen, porosidad aparente, tamaño de los poros y temperatura de quemado del refractario, por lo que al seleccionar un material de elevada resistencia mecánica debemos de buscar que reúna alto peso per volumen, baja porosidad aparente, granulometría fina para que los poros sean lo más cerrados posible y de un quemado alto para llegar a tener una liga cerámica más desarrollada y fuerte posible. El caso de los concretos refractarios de fraguado hidráulico es un ejemplo de la variación de estas propiedades con respecto a la temperatura de quemado.

En la figura "I" podemos ver el comportamiento de un concreto de

Alta Alúmina fraguada y quemada a diferentes temperaturas. La inflexión que se observa en ambas curvas representa los puntos de resistencia mínimos originados por la parcial desaparición de la liga Hidráulica y la incipiente aparición de la liga cerámica, la cual al aumentar la temperatura se hace más fuerte incrementando las resistencias a la compresión y la ruptura.

Los ladrillos de arcilla y alta alúmina aun cuando ya están quemados muestran desviaciones al efectuar en ellos las pruebas de módulo de ruptura y resistencia a la compresión definidas por la A.S.T.M. Estas desviaciones que se muestran en la figura "2" marcan un fuerte aumento de la resistencia con la temperatura, y después de una caída cercana al punto de ablandamiento. Este se ha tratado de explicar por los esfuerzos internos ocasionados por las expansiones térmicas diferenciales entre los compuestos que contiene, lo que redundará en un endurecimiento al aplicar la carga, sin embargo, éste sólo prevalecerá mientras estos esfuerzos son absorbidos por la fase vítrea.

En efecto, en la figura "3" podemos ver que de un cierto tiempo a la misma temperatura, esta resistencia disminuye hasta estabilizarse en un valor muy próximo al que tenía originalmente en frío.

En el caso de materiales básicos quemados existen una relación directa entre el análisis químico, la temperatura de quemado y su comportamiento a altas temperaturas. En estos materiales debe tomarse en cuenta que una fase vítrea a base de sílica bajaría mucho el punto de ablandamiento por lo que se busca un balance eutéctico a base de silicato dicálcico y la relación sílice - cal debe tender a ser



FIG. 1.- VARIACION DEL MODULO DE RUPTURA Y RESISTENCIA A LA COMPRESION, CON RESPECTO A LA TEMPERATURA (°F)

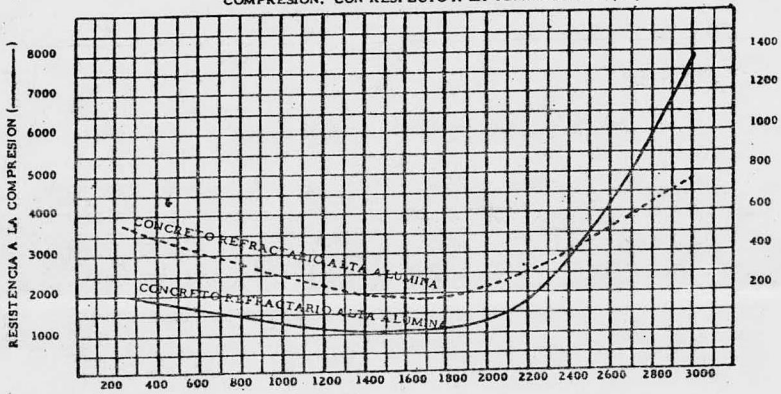


FIG. 2

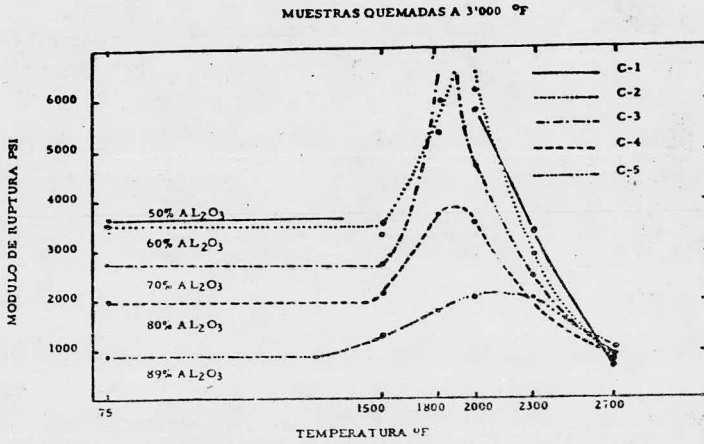
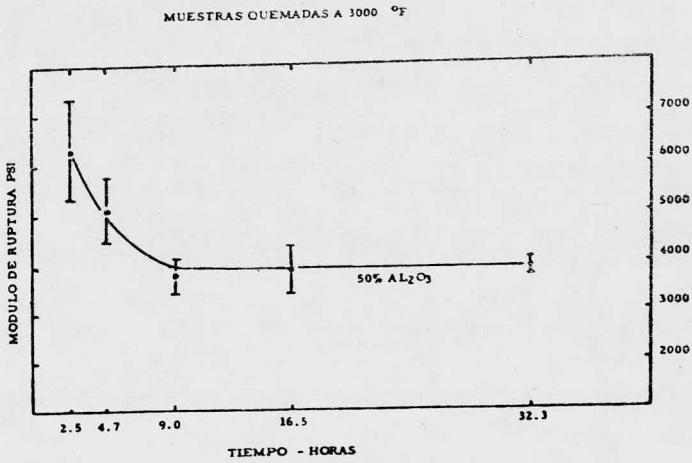


FIG. 3



El exceso de sílice provocará fuertes disminuciones en la resistencia de estos productos.

Como por ejemplo, a continuación se detallan tres productos actualmente en el mercado nacional, de cada uno de los cuales se han formado cinco piezas como muestra.

Análisis Químico	Muestra A	Muestra B	Muestra C
$SiO_2$	1.46	2.54	2.48
$Al_2O_3$	0.11	0.26	0.63
$Fe_2O_3$	0.55	1.20	0.40
CaO	2.00	1.50	2.00
MgO	95.59	94.18	92.63
$TiO_2$	0.03	0.04	0.05
Pérdidas por Calcificación	0.26	0.20	1.81

#### Propiedades Físicas

Módulo de ruptura en frío Kgs/cm <sup>2</sup>	163	254	28
Resistencia a la compresión en frío Kgs/cm <sup>2</sup>	596	918	359
Peso por volumen Gr/cm <sup>3</sup>	2.83	2.84	2.73
Porosidad	18.40	16.3	14.7
Módulo de ruptura a 1482°C Kgs/cm <sup>2</sup>	19.35	2.05	0
Deformación bajo carga a 1660°C (1.76 Kgs/cm <sup>2</sup> )	Ne se deforma	Falló	Falló

El exceso de sílice preveerá fuertes disminuciones en la resistencia de estos productos.

Como por ejemplo, a continuación se detallan tres productos actualmente en el mercado nacional, de cada uno de los cuales se han formado cinco piezas como muestra.

Análisis Químico	Muestra A	Muestra B	Muestra C
$\text{SiO}_2$	1.46	2.54	2.48
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.11	0.26	0.63
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.55	1.20	0.40
$\text{CaO}$	2.00	1.50	2.00
$\text{MgO}$	95.59	94.18	92.63
$\text{TiO}_2$	0.03	0.04	0.05
Pérdidas per Calcinaación	0.26	0.20	1.81

#### Propiedades Físicas

Módulo de ruptura en frío $\text{Kgs/cm}^2$	163	254	28
Resistencia a la compresión en frío $\text{Kgs/cm}^2$	596	918	359
Peso per volumen $\text{Gr/cm}^3$	2.83	2.84	2.73
Porosidad	18.40	16.3	14.7
Módulo de ruptura a $1482^\circ\text{C}$ $\text{Kgs/cm}^2$	19.35	2.05	0
Deformación bajo carga a $1660^\circ\text{C}$ (1.76 $\text{Kgs/cm}^2$ )	No se deforma	Falló	Falló

Como puede verse, el primero sólo tiene un pequeño excedente de sílice en la refracción mencionada, mientras que el segundo tiene un exceso mucho mayor que se ablanda a alta temperatura aunque en frío proporciona una fase vítrea sumamente fuerte, el tercero en cambio, aunque químicamente es muy parecido al segundo, tiene propiedades físicas muy pobres, éste evidentemente obedece a un quemado deficiente, lo cual es indicado por una fuerte pérdida a la calcinación y menor porosidad.

Recientemente, en laboratorios especializados sobre el estudio de las propiedades físicas de los refractarios en relación a las condiciones que se presentan, se ha encontrado que la resistencia de dichos materiales a la abrasión, es directamente proporcional a la resistencia a la compresión de los mismos, la anterior relación resulta muy útil pues anteriormente no se contaba con una prueba más o menos práctica que nos midiera la resistencia a la abrasión, en un uso determinado, de los refractarios; la prueba consiste en medir, en centímetros cúbicos el desgaste que sufre un espécimen cuando se sujeta a la abrasión de un chorro de arena a una velocidad determinada, resultando que este desgaste es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión; esta conclusión es conveniente guardarla en mente pues en muchas aplicaciones de refractarios la principal causa de falla en ellos es por abrasión, cuya acción se manifiesta por fricción, impacto e una combinación de ambos factores.

Para mencionar ejemplos de abrasión sobre refractarios citemos zona de carga; cúpulas, hornos de cemento, hornos de cal y hornos altos pises de hornos de Recalentamiento de Billets, etc. En tabla "3" se

reportan las propiedades físicas de algunos tipos de refractarios, en las cuales se incluye la pérdida por abrasión y se puede confrontar lo expuesto líneas arriba.

#### Deformación bajo Carga.

Esta prueba resulta ser una de las más importantes y más significativas de las que se efectúan rutinariamente a los materiales refractarios, pues nos da a conocer el comportamiento de ellos en condiciones muy semejantes a las que se reportan durante un uso determinado; la prueba consiste en medir la deformación que sufre una muestra, al sujetarse a una presión determinada a una temperatura también determinada, la cual, desde luego, se aproxima a ser la temperatura a la que trabajará el ladrillo cuando se instale; cuando al principio mencionáramos el cono pireométrico equivalente como una medida de la temperatura de reblandecimiento de los diferentes materiales, dijimos que dicha medición habría que interpretarla con sentido práctico pues era efectuada en condiciones de laboratorio que distan mucho de las condiciones que imperan al instalar un material en una unidad térmica; ahora podemos añadir un factor más a los ya mencionados que afectan el punto de reblandecimiento de un material refractario; la presión o compresión que generalmente se porta al formar parte de un revestimiento refractario; esta compresión se origina por varios factores; peso de los ladrillos adyacentes, peso de la carga que se porta si es que existe y el más importante de ellos, la compresión que sufre por la expansión natural de los ladrillos al calentarse, sobre todo, cuando no se han dejado e distribuido correctamente las juntas de expansión respectivas.



La prueba de la "Deformación Bajo Carga en Caliente" nos da pues una medida de la tenacidad de un ladrillo con respecto a estro, de mantener sus medidas originales cuando se sujete a las condiciones de la prueba.

#### Peresidad Aparente.-

La peresidad aparente expresa, como un porcentaje, el cociente que resulta de dividir los pores permeables de una muestra entre el volumen exterior de dicha muestra; esta propiedad física de los materiales refractarios podemos decir que depende de los siguientes factores: presión que se utiliza al prensar, granulometría de las materias primas utilizadas mezclando las mismas y temperatura de quemado si es que el producto pertenece a la variedad de "quemado". Con respecto al primer factor, o sea, presión a que se prensa el material es obvia su influencia en la peresidad del material, aun cuando dicha influencia tiene sus límites máximos pues pueden introducirse algunos defectos en el ladrillo al abusar de la prensa; la granulometría del material es un factor pudieramos decir, controlador de la mejor distribución de la peresidad en un ladrillo, es decir, podemos tener, en un momento dado, igual porcentaje de peresidad en dos materiales distintos, pero en uno, tener pores más grandes que en el otro y desde luego algunas ocasiones convendrá el primer caso y en otros el segundo, según el uso específico a que se piense destinar el ladrillo, el pore grande que generalmente se logra con granulometría más gruesa en las materias primas, indudablemente ayuda mucho al ladrillo para resistir el choque térmico o sea cambios bruscos de temperatura, en cambio, la granulometría fina, que nos conduce a peresidad constituida

per peres relativamente más pequeños, ayuda mucho a detener los ataques químicos y las penetraciones de sustancias fundidas e semifundidas en el seno mismo del ladrillo.

#### Cambio Lineal.-

Cuando un material refractario se somete a un tratamiento térmico que consiste en aumentar con cierta secuencia la temperatura hasta un límite determinado, mantenerla un número de horas y luego permitir libre enfriamiento, puede sufrir cambios en sus dimensiones los cuales pueden ser contracciones e expansiones bajo prueba, relacionando dicha variación con la longitud original antes de la prueba.

La prueba arriba descrita, podemos considerarla como una medida de los cambios internos y reacciones químicas que dejan de realizarse, en un material refractario, durante su periodo de quemado en el horno Túnel, debido a falta de temperatura e en su defecto a falta de una permanencia determinada a una temperatura dada.

Desde luego, los cambios en dimensiones de un material, son generalmente tan pequeños que resultan un tanto despreciables, sobre todo cuando son expansiones, las cuales no tomarán lugar en un material instalado pues la presión de los ladrillos adyacentes es suficiente para detener el crecimiento de los mismos, cuando el cambio lineal es una contracción, las consecuencias pueden ser un derrumbe, un despedregamiento general e un agrietamiento excesivo de la construcción.

#### Despedregamiento Térmico.-

Pudieramos definir como despedregamiento térmico, la pér-

da de fragmentos de la cara expuesta de un refractario debido a grietas y returas originadas por cambios bruscos de temperatura. La determinación de esta prueba se efectúa calentando un papel del material bajo prueba hasta una temperatura determinada y en seguida provocando un enfriamiento mediante agua atomizada con aire durante cierto tiempo, lo anterior se efectúa por un número de ciclos determinados y finalmente se permite el enfriamiento natural de los especímenes; el reporte de esta prueba será dado en porciento de pérdida en peso de los ladrillos originando la separación de fragmentos de material. Este tipo de despestillamiento es causado por los esfuerzos resultantes de un crecimiento desigual e exagierado de las diferentes partes de un ladrillo que provocan la aparición de esfuerzos internos entre capas de diferentes temperaturas estos esfuerzos pueden llegar a ser de tal magnitud que agrietan el ladrillo que provocan la formación de fragmentos que constituyen el despestillamiento térmico. Podemos deducir pues que un ladrillo refractario será resistente al choque térmico cuando posea una mínima expansión térmica cuando ésta sea uniforme y cuando posea una granulometría tal que introduzca flexibilidad al ladrillo y le alivie de esfuerzos cuando éstos aparezcan; una expansión térmica mínima redundará en estabilidad lineal e volumétrica del ladrillo anulando pues la causa principal del despestillamiento térmico; por otra parte un ladrillo con uniformidad en su expansión térmica a través de un rango de temperatura, será más resistente al choque térmico que otro que posea igual expansión térmica pero irregular e brusca a través del mismo rango.

Con respecto a la granulometría de la materia prima, podemos decir que es la forma más común que puede llegar a ser generalmente

utilizada para producir materiales más resistentes al choque térmico, dentro de un mismo tipo e calidad; utilizando una cierta proporción de grane grueso origina que la porosidad del ladrillo esté constituida por poros más grandes, los cuales se encargan de absorber los movimientos internos de los constituyentes.

El tamaño de las piezas fabricadas también tiene influencia en la resistencia al choque térmico, siendo mayor ésta cuando las piezas sean de menor tamaño; en los materiales básicos ligados químicamente, es común utilizar placas internas de aire para dividir las piezas refractarias en 2 ó 3 porciones con la finalidad de aumentar la resistencia al desmenuamiento de las mismas.

TABLA 3.- PERDIDA POR ABRASION Y ALGUNAS PROPIEDADES DE LADRILLOS REFRACTARIOS.

C L A S E .	Peso por Volumen (lb/pie <sup>3</sup> )	Módulo de Ruptura (lb/pulg <sup>2</sup> )	Resistencia a la Compresión (lb/pulg. <sup>2</sup> )	Porosidad Aparente (%)	Gravedad Específica Aparente	Pérdida por Abrasión (cc.)
ARCILLA. -						
Alta Calidad	134	1130	3520	19.5	2.68	10.8
Calidad Superior	147	1250	5220	10.5	2.63	3.77
Horno Alto	149	2340	11940	9.8	2.61	1.76
Semisflica	125	470	2620	24.3	2.62	18.4
SILICA. -						
Convencional	113	1130	4140	22.5	2.31	4.95
Calidad Superior	117	1040	4990	19.6	2.31	3.57
ALTA ALUMINA. -						
99 %	181	1700	5300	23.4	3.78	8.59
90 %	174	1600	10370	21.3	3.54	4.67
80 %	156	1260	4710	25.6	3.37	9.25
70 %	154	1540	5610	21.8	3.16	4.99
60 %	145	1910	7460	19.5	2.88	5.46
50 %	133	1550	5480	20.0	2.80	4.73
BASICO(QUEMADO)						
Magnesita	178	2900	11750	16.0	3.42	2.68
Magnesita-Cromo	179	1790	6150	22.8	3.68	6.96
Cromo- Magnesita	188	1120	4030	22.4	3.89	12.5
Forsterita	162	990	5380	22.4	3.35	13.1
Cromo	197	2680	14580	15.8	3.75	2.73
CARBURO DE SILICIO	166	3770	9430	9.0	2.61	1.26
ZIRCONIO	235	1370	11510	17.4	4.54	3.74

Capítulo IV.-Refractarios usados en:

### I.- HORNO ELÉCTRICO BÁSICO

Establese unas guías para el uso adecuado de los materiales refractarios actualmente disponibles para el horno eléctrico de arco en el proceso básico de fabricación de acero.

El horno eléctrico de arco es un equipo de proceso maravilloso, que permite la obtención de cualquier aleación, pasando por toda la gama de aceros y hierros, usando carga líquida o sólida, fría o precalentada, continua e intermitente y que trabaja con metal o mineral reducido.

En estas condiciones es evidente que son tantas las variables que es sumamente difícil estandarizar una recomendación típica para resolver problemas que presenta este caso.

En términos generales, podemos enumerar algunos de los principales factores que influyen para decidir un arreglo refractario, que serían los siguientes.

Diámetro del horno

Capacidad real

Capacidad nominal

Número de tapa y voltaje de cada una

Capacidad de transformador

Altura del baño

Diámetro de los electrodos

Tensión de los electrodos

Tipo de aceros procesados

Tipo de carga usada  
Secuencia de carga  
Secuencia de fundición  
Secuencia de afinación  
Temperatura de vaciado  
Tiempo de vaciado  
Tiempo entre colada y colada

Los datos anteriores nos permitirán conocer algunos puntos de referencia, como son:

Radiación del arco eléctrico.- Sobre las paredes, la cual será

Abraición mecánica.- En las paredes, particularmente si se trata de chatarra pesada.

Golpes.- Sobre el piso y bancos, especialmente si se trata de pacas.

Choques térmicos.- Si se tiene el caso de chatarra ligera, con la que en ocasiones se requieren 8 ó 10 recargues.

Ataque en la línea de escorias.- Particularmente considerable cuando se fabrican aceros especiales o se parte de mineral reducido o pacas mal limpiadas.

Debido a lo anterior, se han desarrollado refractarios especiales para los requerimientos específicos de un horno eléctrico.

Algunas de las propiedades requeridas son; alta resistencia a temperaturas elevadas, resistencia a la abrasión, al impacto y los choques térmicos y bajas porosidades y permeabilidad. Naturalmente las condiciones operacionales dentro del mismo horno pueden variar a cada punto y por ende.

Variarán los requerimientos refractarios, un punto caliente por ejemplo puede causar un desgaste prematuro y una operación antieconómica, que debe ser analizada y corregida, para contrarrestar este problema deberá reforzarse esta zona con otro refractario, para obtener un revestimiento balanceado que dará el mejor aprovechamiento del material y el mejor costo por tonelada de acero.

Durante la operación del horno se presentan condiciones de operación que pueden afectar la vida del refractario, pero que a su vez pueden ser detectadas y corregidas, estas operaciones se pueden resumir en los siguientes puntos:

I.- Control del arco.- Un arco bajo, con una alta corriente produce más calor debajo del electrodo que un arco alto que muestra un patrón de radiación de calor más horizontal.

2.- La fusión.- Debe empezarse siempre en un tap bajo, hasta que el arco esté cubierto por la chatarra, para proteger las paredes del efecto directo. Una vez cubierto el electrodo el voltaje es incrementado gradualmente.



3.- Distribución de la carga.- Una distribución irregular y largos períodos de espera para fundir afectan al refractario por enfriamiento, si la carga no ha sido precalentada.

4.- Alineamiento de los electrodos.- Los electrodos deben mantenerse perfectamente a plomo o ligeramente hacia el centro para minimizar el efecto del arco sobre las paredes.

5.- Carga total del horno.- El aumentar la altura del baño y subir la línea de metal sujeta las paredes y la bóveda a una mayor radiación de calor

6.- Tipo de escorificante y método de adición.- Cuando se usa cal en polvo por ejemplo, ésta puede penetrar en el ladrillo.

7.- Viscosidad de la escoria.- Una escoria gruesa y viscosa retarda la penetración del calor en el metal, reflejándolo sobre paredes y bóvedas. Una escoria fluida, por el contrario, conduce más calor reduciendo la radiación.

8.- Requerimientos químicos.- Períodos largos de inyección de oxígeno para obtener bajos niveles de carbón u otros ajustes químicos pueden incrementar grandemente la temperatura del horno.

9.- Requerimientos del vaciado.- Generalmente operaciones como el colado continuo o algunos aceros especiales requieren muy altas temperaturas de vaciado.

10.- Limpieza y densidad de la carga.- Una carga limpia y pesada facilitará una función rápida y con poca escoria natural, mientras que una carga sucia y ligera aumentará el ataque químico y los choques térmicos.

## II.- Refractarios disponibles en el mercado.

Actualmente se tiene una gran variedad de materiales refractarios para el revestimiento de los hornos eléctricos básicos, en general son mezclas de magnesita y cromita y difieren en propiedades por la pureza de sus materias primas y por su proceso de fabricación, se pueden clasificar en materiales quemados de liga química, de liga directa y electro fundidos.

Se denominan quemados o de liga cerámica a aquellos productos que por medio de un cocido a altas temperaturas han desarrollado una solución sólida que liga a los cristales que forman la base del material, esta solución sólida a fases vítrea es formada principalmente por fersterita, silicatos de aluminio, otros óxidos alcalinos, silicatos dicálcicos y sílica libre. Esta última con un punto de ablandamiento bajo, mientras que la matriz de silicato dicálcico es sumamente refractaria. De lo anterior podemos concluir que un refractario básico quemado tendrá mejores propiedades físicas si su relación es la siguiente  $\text{CaO} ; \text{SiO}_2$  es 2 : 1 y será más pobres si la sílice aumenta.

Los ladrillos quemados usuales son los de 98% de MgO denominados comúnmente de periclasa y una minoridad son los ladrillos alquitranados, que corresponde al mismo material impregnado a presión con alquitrán, con el fin de tapar los poros del refractario.

Los llamados de liga química son materiales aglutinados con un ligante químico, que les da mayor permeabilidad y más resistencia a los choques térmicos, generalmente son de MgO y  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y los conocidos son:

94% de MgO y libre de cromo, que es muy resistente a las salpicaduras y ataques ligeros de escoria, por lo que se usa cerca de la línea de escoria.

65% de MgO y 12% de  $Cr_2O_3$ , es el material más recomendado para paredes ya que brinda una buena estabilidad, tanto en resistencia al ataque químico como al choque térmico.

50% de MgO y 19% de  $Cr_2O_3$ , usado para aquellos lugares donde el ataque químico es ligero y el choque térmico es severo.

18% de MgO y 35% de  $Cr_2O_3$ , usado principalmente en la parte superior de aquellos hornos que están expuestos a muy fuertes choques térmicos.

Como puede verse, sus propiedades químicas mejorando con el aumento de magnesita y su resistencia al choque térmico es proporcional al contenido de  $Cr_2O_3$ .

Los ladrillos de liga directa se originaron siguiendo la idea de eliminar la fase vítrea como medio de aglutinación y hacer que el cromo y la magnesita, formaran directamente una liga tipo espinel que trajera como consecuencia altas propiedades físicas en caliente. Esto se logra usando materias primas de alta pureza, especialmente con el mínimo de sílice; lo cual se lleva a cabo con los modernos métodos de obtención de magnesita y concentrados con sílice minimizada en la cromita. Naturalmente siempre queda un remanente que forma la fase vítrea, pero un buen ladrillo de liga directa se mide en función del porcentaje que de esta liga se tiene, estos materiales normalmente se obtienen en 50, 60, 70, 80% de MgO.

Los materiales electrofundidos son, como su nombre lo indica, refractarios fundidos en un horno eléctrico y vaciados en moldes de la forma apropiada, estos materiales son sumamente susceptibles al choque térmico

y por tener una superficie vitrificada no permite la adherencia de material de parchado sobre ellos.

Una variedad son los refractarios de grano electrofundido, en el cual el material fundido se muele, se reprensas y se lleva a un proceso como el de liga directa, obteniéndose un refractario con propiedades inmejorables.

Todos los ladrillos pueden obtenerse en una caja metálica o sin ella el objeto de está, es fundirse y oxidarse reaccionando con la magnesita del refractario y provocando una espinel refractaria denominada ferro - magnesita y que une a los ladrillos con liga química, es posible obtenerlos con caja metálica y con placas internas para mejorar su resistencia al choque térmico.

Para la construcción y mantenimiento de un horno eléctrico se usan diferentes mezclas apisonables, con contenido variable de  $MgO$ , desde 35% de una dolomita hasta 96% de un apisonable de periclasa, dependiendo del uso que se le quiere dar y con agregados de cal, cromita, sílice, óxidos férricos, etc., para mejorar su adherencia a los revestimientos en frío y en caliente.

### III.- Aplicaciones en Hornos Eléctricos.

Pasaremos ahora a la parte, que se refiere a los criterios a seguir para establecer una práctica refractaria, y para tal efecto dividiremos al horno por secciones para su mejor discusión.

Sub-piso.- La construcción del sub-piso se efectúa con ladrillo básico quemado de 98% de MgO sin caja metálica, la construcción que normalmente prevalece es la denominada tipo "estadio", aunque existen otros sistemas, esta práctica es más o menos universal y ya establecida por muchos años.

Piso o Crisol.- Para esta sección, el apisonado de materiales refractarios granulares con contenido de MgO de 84 a 98% es una práctica general; no obstante lo anterior, podemos mencionar algunas experiencias realizadas eliminando el apisonado y sustituyéndolo con ladrillo como continuación del sub-piso; esta práctica no se ha generalizado, ya que trae como consecuencia un aumento de un orden del 10 al 15% en el costo del refractario. En todo caso, tiende a estabilizarse para hornos con capacidades menores a 20 toneladas. Una justificación para la práctica de piso construido con ladrillo, podría ser el tiempo que se requiere para el secado y quemado de los pisos apisonados, pero la ventaja anterior, se pierde si la duración de un piso se cataloga del orden de 4 a 6 años.

De acuerdo con lo anterior, si en un horno de poca capacidad se tiene como vida promedio de los pisos duraciones de un año, entonces si podría ser relevante el tiempo que se esté perdiendo cada ocasión que se construye dicho piso y será entonces el caso que justifique construir a

base de ladrillos. Por otra parte, los riesgos de penetraciones de acero a través de la construcción, sobre todo cuando se tengan vidas de 4 a 6 años, son un factor muy importante que a nuestro juicio inclinan la tendencia a utilizar en dichos hornos el piso monolítico.

Línea de escoria.- La línea de escoria junto con los puntos calientes constituye el problema a resolver desde el punto de vista del refractario. La práctica común es el uso de ladrillos de alto contenido de MgO quemados, para esta zona y un mantenimiento adecuado a base de granulares, excepto algunos casos muy específicos, el uso de materiales electrofundidos o impregnados de alquitrán no han recibido la aprobación de los usuarios, debido principalmente a que, aunque proporcionan un refuerzo en esta zona, su rendimiento no justifica el sobre precio pagado por ellos, provocando que se eleve el costo por tonelada de acero, por concepto de refractarios.

Paredes superiores.- Arriba, de la línea de escoria el revestimiento se considera formado por zonas críticas o puntos calientes, que generalmente coinciden con los vértices del triángulo formado por los electrodos y las áreas remanentes o menos severas. Los puntos calientes se han tratado de proteger con materiales electrofundidos y de liga directa, éstos últimos en sus variados contenidos de MgO. La tendencia general promedio parece indicar la adopción de la práctica con ladrillos de liga directa como estándar, escogiéndose la mezcla con un contenido de MgO que más se acomode a las diferentes unidades y prácticas en uso, con la idea siempre de balancear la vida del revestimiento del horno. En las zonas

menos severas de las paredes, el ladrillo básico quemado de alto contenido de MgO y caja metálica balancea el revestimiento y prácticamente su uso es general para estas zonas, sin embargo, existe también la práctica consistente en el uso de materiales de liga química, para las áreas menos severas, combinándose con materiales quemados de 98% de MgO, para los puntos calientes. La razón fundamental de esta práctica es el choque térmico, el cual puede llegar a constituir un problema serio para los ladrillos de alto quemado.

## Capitulo IV.- 2.- HORNO DE INDUCCION

El horno de inducción ha sido sumamente usado para fundiciones de metales no ferrosos y aceros especiales por mucho tiempo pero en la actualidad ha habido un gran desarrollo en su aplicación para la industria ferrosa en general, aprovechado por su facilidad de obtener los grandes volúmenes de metal obteniendo un análisis químico homogéneo, y a una temperatura controlada, teniendo problemas mínimos de contaminación ambiental y un buen aprovechamiento de energía.

En estos hornos en la parte del refractario tenía algunos problemas y las tendencias actuales han requerido un esfuerzo de ingeniería e investigación a escala completa.

I.-) Tamaño y configuración del horno, que afecta el tipo de refractario a usar.

2.-) Análisis de la escoria, que involucra estudios de laboratorio de ataque de escorias.

3.-) Características Físicas y químicas de los materiales refractarios disponibles.

4.-) Experiencias de campo que pueden dar guías en la evolución del diseño refractario.

5.-) Costos relativos de revestimientos convencionales contra costos de nuevos diseños.

En términos generales el horno de inducción no es un horno de proceso, lo que limita las reacciones químicas que se llevan a cabo en él, en otras palabras el horno trabaja con materias primas seleccionadas



que al fundirse nos dan un análisis similar al requerido. El horno de inducción se usa para fundir metales o bien para mantener un metal caliente, como el proceso duplex. La energía es proporcionada por una corriente eléctrica alterna que se alimenta a bobina primaria e induce ondas electromagnéticas dentro del horno, al chocar con la carga provocan una corriente secundaria que se convierte en calor por la resistencia misma de la carga. Por su forma los hornos de inducción pueden ser de bobina exterior y de canal: Se denomina como hornos de bobina exterior o sin núcleo aquel que consiste de un crisol de refractario con una bobina helicoidal envuelta a su alrededor.

Los hornos tipo canal o con núcleo tienen una bobina o serie de ellas alrededor de las cuales pasa un canal con el metal a fundir, el cual a su vez se va almacenando en un crisol independiente del sistema inductor.

Por sus características eléctricas los hornos pueden ser de frecuencia alta, intermedia y baja. Los de baja frecuencia usan la corriente alterna de la red o tres veces ella mientras que los de alta frecuencia y frecuencia intermedia transforman y multiplican esta frecuencia, entre mayor es la frecuencia con mayor facilidad se pueden fundir los materiales, aunque el costo de la energía aprovechada es mayor.

Los hornos de baja frecuencia generalmente trabajan a partir de una carga inicial de metal líquido o de un bloque sólido y compacto, lo que limita su uso a trabajo continuo o a mantenimiento de metal fundido.

Las ondas electromagnéticas inducidas a la carga provocan un cierto movimiento del metal fundido que alcanza un desplazamiento continuo en los hornos de baja frecuencia con un fuerte efecto de abrasión en el refractario, por lo regular todos los hornos de tipo de canal y algunos de bobina exterior son de baja frecuencia, por su comportamiento químico las escorias pueden provocar algunos efectos de reacción sobre el refractario salvo casos especiales, no es un problema muy crítico y existen en el mercado toda una serie de productos básicos, ácidos y neutros para contrastar ese ataque.

#### DISEÑO DE REVESTIMIENTOS REFRACTARIOS

Para diseñar correctamente un revestimiento refractario debemos considerar todos los puntos anteriores expuestos y encontraremos algunas pautas que nos sirven de guía, en el caso de hornos sin núcleo, por ejem. el revestimiento refractario que forma el crisol debe ser lo más degado posible para permitir el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica.

Como el crisol contiene al metal fundido el refractario trabaja a compresión y deber tener una expansión controlada, debido a que el material refractario se encuentra entre el metal fundido y la bobina es imperativo que además de un alto poder refractario brinde un buen aislamiento, eléctrico, térmico.

La penetración del metal fundido a través del refractario puede ser peligrosa, ya que si llega a tocar a la bobina o al sistema de refrigeración de ella puede causarse grandes problemas, por esta razón debe ser el más compacto y de baja porosidad, evitando hasta donde sea posible juntas en el material, vistos los requerimientos anteriores, es evidente la

necesidad de contar con un revestimiento monolítico, libre de juntas y que pueda ser compacto hasta lograr las condiciones deseadas, desde hace mucho tiempo se desarrolló el sistema de usar un material apisonado libre de aglutinantes, el cual solo endurece por acción del calor formado en una liga cerámica en la cara caliente del refractario, este endurecimiento apenas penetra la tercera parte del refractario, quedando el resto como un material granular compacto.

En el caso de una grieta en el revestimiento con el consiguiente paso de metal fundido a través del refractario endurecido, tendremos un endurecimiento adicional en la zona de la fuga, que detendrá al metal o impedirá una penetración mayor.

Esta capa de material granular también sirve como un cojín que amortigua los golpes de la carga del horno y otras vibraciones, el uso continuo de un horno hace que la capa endurecida se vuelva cada vez más profundo, hasta que finalmente endurece en su totalidad y marca el fin de la vida del refractario, ya que de seguir usándolo provocará una penetración de metal hasta la bobina.

Para el caso específico de la fundición de hierro generalmente se tiene una escoria acida, una relativa abrasión por la carga y una abrasión mayor por el metal líquido si se trata de baja frecuencia, para estas condiciones se tiene una amplia gama de productos refractarios que cubren perfectamente los requeridos físicos y reducen la selección al ataque químico y el costo.

Cuando se parte de una chatarra limpia y más o menos se forma una escoria natural de tipo neutro que no provoca un ataque serio al reves-

timiento, en estos casos se comportará idealmente un revestimiento de alta alúmina, el cual es neutro, tiene una alta densidad, soporta temperaturas de más de  $1700^{\circ}\text{C}$  y es bastante estable a los cuales, en los cambios bruscos de temperatura, presentes en los hornos que trabajan en forma intermitente. Actualmente se tienen en nuestro país apisonables de 70, 80, 85 y 92% de Alúmina, en los cuales se aumenta el costo, la densidad y la refractibilidad, en función directa al aumento de alúmina y la resistencia al choque térmico en función inversa.

Cuando se trata de metales aleados y particularmente altos en cromo y/o manganeso, se requiere una escoria reductora que ayude a la máxima recuperación de las aleaciones y generalmente mayor temperatura, en estos casos se recomienda el uso de un revestimiento básico de alta, magnesita, este revestimiento soporta temperaturas de más de  $1800^{\circ}\text{C}$  y dependiendo de la mezcla, sílice magnesita puede sinterizarse a diferentes temperaturas.

En la actualidad se fabrican en México 3 tipos de granulares básicos para hornos de inducción.

84% MgO y 9%  $\text{SiO}_2$  para temperaturas entre 1400 y  $1600^{\circ}\text{C}$

95% MgO y 3%  $\text{SiO}_2$  para temperaturas entre 1550 y  $1700^{\circ}\text{C}$

98% MgO y 1%  $\text{SiO}_2$  para temperaturas arriba de  $1600^{\circ}\text{C}$

Lógicamente el primero es preferido para fundir hierro, el segundo para aceros normales y el tercero para aceros especiales.

En términos generales el costo de un revestimiento básico es de dos a tres veces menor que uno de alta alúmina por lo que si, se tiene un ataque neutro o ligeramente básico es mucho más costeable usar revestimiento de magnesita. En esta misma serie de apisonables existe una

variedad de grano fino, que se recomienda para la parte superior del revestimiento y para parchado. En algunas ocasiones se tiene una escoria eminentemente ácida, especialmente si se trata de un proceso duplex o si usamos retornos contaminados con arena de moldeo, esto nos limita a usar un revestimiento neutro de alta alúmina o uno de sílice.

El revestimiento de sílice ha alcanzado una gran popularidad en nuestro país aunque no siempre está justificado.

Dado que la temperatura de fusión de sílice pura es de  $1700^{\circ}\text{C}$  y cualquier impureza abate este punto, especialmente los alcalis, un buen apisonable está limitado a una pureza de más de 98% de  $\text{SiO}_2$ . En general los requisitos para un revestimiento ácido son los siguientes:

98.5%  $\text{SiO}_2$  menos de 0.5% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Alcalies.- Trazas.

En estas condiciones el material necesita un agregado que le permita desarrollar su liga cerámica sin detención de sus propiedades, el material más usado es el ácido bórico, que se mezcla íntimamente en una proporción variable dependiendo de la temperatura a que se va a desarrollar la operación en el horno, como en la gráfica.

El principal problema de un revestimiento ácido es cuando se funde hierro, el carbon presente en el baño reduce a la sílice del revestimiento que pasa al metal como silicio de acuerdo con la siguiente ecuación.



Esta reacción se forma y se fomenta con el aumento de carbon y con la temperatura, el desgaste provocado por la reacción anterior es

Una de las principales razones para limitar la vida útil de estos revestimientos aunque su costo es aproximadamente la mitad del costo de un revestimiento básico.

Cualquiera que haya sido la elección del revestimiento refractario el sistema de instalación es el siguiente:

Como primer paso se requiere un revestimiento de protección para las bobinas, las cuales pueden oxidarse en contacto con otros materiales, aunque puede usarse un cemento de aluminato tricálcico directamente, este es muy caro, por lo que se prefiere una mezcla de 20% de cemento aluminoso y 80% de magnesita malla I50 o menos, esta mezcla se aplica húmeda sobre las bobinas en un espesor de 3 mm. y se deja secar al aire por 24 horas o se seca con un quemador de gas.

Una vez fraguado este revestimiento de protección se indica propiamente el revestimiento poniendo el material granular del piso y apisonándolo con una pisoneta neumática o vibratoria hasta darle la máxima densidad posible.

Para dar el espesor deseado se indica el apisonado con capas de unos 10 o 12 cm. que se compactan hasta 6 u. 8 cm. En este punto se quita el material suelto, se rastilla superficialmente la capa compacta y se repite la operación.

Al terminar el piso se introduce una cimbra metálica que nos sirve de molde para apisonar las paredes, es conveniente secar en una parrilla todo el material refractario a usarse antes de iniciar la operación.

Para sinterizar el revestimiento refractario se usa la misma cimbra metálica, como secundario y al fundirse ésta nos habrá dado

temperatura suficiente para endurecer la superficie del revestimiento.

En algunos casos se usa también un pilón de grafito como secundario lo cual da un calentamiento más uniforme pero puede tener algunos problemas de índole mecánico para su extracción.

Para un parchado del horno se puede demoler la zona sinterizada en la parte dañada, reponer con material nuevo y calentar como si fuera un revestimiento nuevo, en los hornos tipo canal generalmente se tiene una serie de bloques que contienen en su interior las bobinas primarias y están rodeadas por un canal donde pasa el metal que se está fundiendo y se acumula en un crisol, en este caso el crisol solamente sirve como un recipiente para el metal fundido y puede hacerse de ladrillos si el tamaño lo permite o de cualquier concreto refractario que soporte la temperatura y el posible ataque químico del metal.

Por lo que respecta al inductor este tiene los mismos requerimientos de un horno de bobina exterior aunado a una gran resistencia a la compresión dado que carga el peso del metal contenido en el crisol y una buena resistencia a la abrasión porque el metal está fluyendo en una forma continua a través del canal.

Este tipo de hornos trabaja prácticamente en forma continua, en estas condiciones la instalación refractaria se lleva a cabo en forma similar al apisonado descrito anteriormente usando algunas formas especiales para mantener abiertos los canales, estas formas pueden ser de metal sólido y usarse como secundario o bien se pone una forma de madera con una resistencia eléctrica que permite el calentamiento, quema la

madera y el canal, sinterizado, se llena con metal líquido para iniciar la fusión.

En la mayoría de estos hornos el crisol puede durar mucho tiempo y solamente se repara periódicamente el inductor, el cual puede ser intercambiable y en consecuencia pueden tenerse dos o más juegos para cambiarlo y repararlo en forma independiente.

Los costos de operación desde el punto de vista refractario son muy variables dependiendo del proceso, siendo menores cuando se trata de hornos de mantenimiento y mayores cuando se trata de hornos de fusión.

En México los costos promedio son del orden de 15 a 30 pesos por tonelada de metal, incluyendo mano de obra, siendo los mayores los hornos de pequeña capacidad.



IV. 3.- Nueva generación de refractarios para  
hornos eléctricos.

Tabique Fired Periclase.-

Harklase y Oxibak "H" están basados en el grado de periclase más alto de pureza refractaria adquirible, cualquiera de estos es apropiado para dar servicio en la línea de escoria o paneles de área de salida de los hornos eléctricos de alto desarrollo.

Harklase está encontrando un uso creciente para trabajar en la construcción del cerazón y subcerazón de hornos fundiendo aleaciones críticas.

Oxibak "H" tiene una alta resistencia a altas temperaturas, haciendo particularmente usable para cerazones, línea de escoria y construcción de paredes.

Tabique básico de recubrimiento directo.-

Nucem usa materia prima beneficiada para obtener la más alta pureza en todos los refractarios de alta temperatura o de periclase - crema de recubrimiento directo. EL recubrimiento que sostiene a Nucem adhiere se hace más fuerte al incrementar la temperatura Nucem resiste la penetración de óxido en las partes superiores de las paredes y techos.

Nucem 60 es una variación de Nucem que provee aún de más fuerza al recubrimiento cuando está caliente, un complemento natural en centros de puertas, arcos y áreas superiores de paredes, donde la rudeza física es la consideración primaria.

Tabique básico de grano fusionado.-

Guidon es un refractario de grano fusionado homogéneo, compuesto

Primeramente de periclasa con pequeños cristales de spinel conteniendo  
creme los cuales estan bien distribuides, esto es le ultime en recubr-  
imientes de refractaries básicas para puentes calientes en un horno  
eléctrico como las líneas de esceria y partes superiores de las paredes.

Tabique básico tratado con asfalte.-

Oxiline CL, es un refractario básico recubierto de asfalte; Oxiline B  
es primero altamente calentado y despues impregnado de asfalte. Ambe han  
sido usados con ventajas excelentes en hornos de alto desarrollo como  
plantilla para zonas de vaciado.

Menelíticos básicos.-

La serie de refractaries Magnamix varia en el contenido de MgO en un  
80 - 85% . Cada uno fue diseñado para una necesidad específica, de este  
grupo el usuario podrá escoger un excelente material como Magnafix "P" o  
un material completamente versatil como Magnafix 363 el cual puede ser  
pisado disparado, o colado, todos tienen un excelente volumen de est-  
abilidad y son resistentes a la acción corrosiva de esceria básica.

Mezcla - H - WC, es una mezcla para pisar de recubrimiento químico  
conteniendo más del 90% + Magnesio, en su mayoría como periclasa, un  
fondo propiamente pisado con mezcla H - WC , tiene una densidad de cerca  
de 172 libras por pie cubico y contiene apreciablemente más altas conce-  
ntraciones de MgO que mezclas convencionales para pisar.

H - W Perimix, se basa con el mismo periclasa de alta pureza que  
mezcla H - WC , pero esta diseñada para corazones colados y orificios  
de salida. Los fondos colados son típicamente más uniformes en densidad y

menos permeables que los fondos pisoneados.

H - W Chromepak, es una composición flexible de cromo + magnesia la cual puede ser instalada por molde, pistola o pisoneado, este es usado en líneas de salida y para nivelar sobre arcos de puerta.

Tabique alta - alúmina.

H - W Mullite plastica, Ceralite plastica, y Kerundal plastica, comprenden una serie de menelites de alta - alúmina correspondiendo a los principales miembros en las series de tabiques anteriormente mencionados estos son usados para secciones centrales completas o para evitar el certado y posicionado tabique alrededor del electrodo y puertos del colector de pelve en la construcción del techo. Usualmente el grade de plastico usado debiera ser un grade más alto en refractabilidad que el tabique usado para formar los anillos, de ahí que ceralite plastica debiera ser usado en conjuncion con Alusite o tabique para techo Ufala.

Mortero alta - alúmina.

Ankerite 65, es un mortero bien establecido, alto en aluminio (sedimento de caler), usado en una variedad de construcciones de techos. Ceralbond, es un mortero de recubrimiento de fosfato, que a probado ser excepcional en la resistencia a la penetración de vapores escoria del metal. Ceralbond es vasado con efectividad con todos los grades de tabique alto en alúmina. Como fué discutido previamente, practicas de operaci3n en el taller pueden afectar la vida del recubrimiento su costo más bajo del refractario por tonelada de material produciendo bajo sus condiciones de operaci3n especificas.

SUGESTIONES PARA LA CONSTRUCCION DEL CUERPO PARA HORNOS ELECTRICOS  
Subcorazón y paredes laterales inferiores.

Ha habido una tendencia hacia la construcción mas delgada de subcorazones y fondos de trabajo. Una construcción mas delgada resulta en un preciso y favorable grado termal dentro del refractario, lo cual incrementara la vida del corazón de trabajo. El tabique periclase, H.W, Magnesite quemada, es el mas comunmente usado pero tambien dependiendo de la severidad de operación, por lo que quizas sea requerido el H W Periklase o Harrase.

La construcción del subcorazón en un tipo estándar, es usualmente hecho apretado y seco. El tabique usado para la construcción de domo invertido y domo platonado es instalado con mortero H W Subex dejando juntas bien rellemadas.

En la porción vertical de las paredes laterales inferiores (abajo de la linea de escoria), se sugiere que el tabique sea extendido en seco. Si se usa mortero, este debera ser de instalaciones por parte H W PeriBond o Thermolith. En cada caso las provisiones de expansión deberan ser hechas este podra ser mejor terminado, utilizando un material compresible entre los tabiques y la concha como H W Chre mefill.

Con la construcción en seco, es recomendable que el tabique del corazón y paredes laterales inferiores sean cubiertas con una capa delgada de la mezcla 524 F, H-W Furnace Magnesite.

Panel de linea de escoria y orificio de salida.

Para estas secciones, tabique quemado periclase, de calidad H W Magnesite, son los mas comunmente usados para la ultima selección

es basada en la severidad y condiciones de operación . Podrían ser requeridas horas de alto desarrollo como H W periclase, Harlase, - oxibar H o Guidom de grano fucionado. El tabique es comun mente instalado en seco y sin casquillo metalico. Si se desean que las juntas sellemen con mortero, H<sub>2</sub>W Peribona o Thermolitha que son morteros de secado por aire deveran ser aplicados . Una tolerancia entre el tabique y el casquillo , debera ser probista, usando H-W Chromefill.

La linea de escoria es una de las areas mas vulnerables en un horno electrico, requiriendo un mantenimiento apropiado y continuo . Para reducir un mantenimiento costoso, se debera dar una considerable atención a selección inicial de refractarios y en especial a esta area, para así balancear su vida con la de las partes superiores de la paredes por igual en importancia, la disminución del tiempo de consumo y mantenimiento costoso .

Los orificios de salida son hechos en tres diseños, usando tabique con arco, tabique llave (S T D) para arco o tabique para el marco que formara la parte superior del orificio de salida. Los orificios de salida actuales estan siendo formados por medio de pisones de monolitos de alta magnesia al rededor de un tubo de acero.

Pilares de puertas y arcos.

Fundamental mente hay tres tipos de construcción de arcos . Pero solamente dos diseños en la construcción de refractarios son requeridos para acomodar los arcos.

Arco muellado. El arco es formado usando, metalkase Magnex H Nucom 60 o arco nucom o en forma de cuñas. Su colocamiento es obtenido donde se juntan el arco y los anillos de la pared, usando formas de tabique con angulo, cortando tabiques del anillo o llenando cavi-

dades con H. W Chromepak .

Arco enfriado por agua. Se usa la misma construcción de refractario como en la de arco muellado.

Marco enfriado por agua, Tabique para anillo ., son simplemente colocados por medio de croquis.

Notas:

- Pilares de puertas y arcos , son algo de problema en muchos talleres, principalmente por el abuso mecánico y shocks térmicos .
- Cualquier clase de tabique usado deberá ser normalmente con un casquillado metálico por encima de la línea de escoria .
- Usar H W Chromepak, mezcla de moldeo con base de cromo para nivelar sobre arcos.

Paredes superiores .

Tamaños llave (S T D) son usados para la construcción de paredes. (ver tabla 1) para el número de tabiques de un anillo para varios diámetros de hornos, usando varias formas de tabique llave (S T D) El primer anillo o los primeros dos anillos en la pared superior son con frecuencia construidos usando tabique en forma de cuña, para proveer una estabilidad adicional .

El objetivo primario es el de obtener una resistencia balanceada al desgaste de refractarios en sus paredes, incluyendo la línea de escoria: El concepto del cubierto de la zona, utilizando refractarios por prescripción se está haciendo más importante por la tendencia a hornos más grandes y con más alto poder. En construcciones típicas de paredes, una variedad de tipos de tabique se necesitarán, desde el de recubierto químico para áreas de desgaste normal hasta el de grano

fusionado para areas de desgaste extremo.

La figura X ilustra una zona tipica cubierta con refractario - Guidon de grano fucionado para la linea de escoria (A), Metalkase Guidon para el pilar de la puerta (B), y arco de la puerta (C), y EXKASE GUIDON en la pared del mastil (D), el balance de la parte superior de la pared podria consistir de EXKASE MAGNEX H, EXKASE / NUCON 60 o EXKASE NUCON dependiendo de la severidad de operaci3n. En algunos tal6gres se ha encontrado que lo mas economico es el em- plear las 3 clasificaciones - recubierto quimico, recubierto direc- to y de grano fucionado en una sola pared de recubierto.

Nota:

Para pilares de puertas por encima de la linea de metal y arcos de puertas ,tabique con casquillo de metal debera ser usado. Para el- recubierto superior de la pared,el tabique debera ser con casquillo de metal y con una provisi3n de expansi3n de EXKASE integral.

Tabla I.- Numero de tabiques requeridos para formar los anillos de la pared en hornoa de varios diametros .

## CORAZON DE TRABAJO

Mezclas para pisonear de la serie H - WC Mix or Magnamix o mezcla de moldeo H/W Perimix, son usados para la construcción de un corazón monolitico la mejor resistencia a la corrosión de escoria básica y erosión del metal dependera de la combinación de factores de quimica y la uniformidad de la densidad de las capas instaladas. Lo despacio y lo rapido de la instalación, lo despacio y lo rapido del cocimiento tambien son factores importantes en la selección de material monolitico para el fondo.

Todos los corazones moldeados requieren formas ya sean de contorno o forma de estadio en sus construcciones. Los fondos pesados tambien requeriran un formate con excepción de los corazones pequeños de contorno. Es importante que el material refractario sea mezclado perfectamente con una apropiada cantidad de agua limpia e instalado tan pronto como sea posible en el horno'.

Para corazones pisoneados, el plano es instalado primero. UN - maximo de 4 a 6 "de material suelto es aplicado, utilizando pisones neumaticos para compactar el material a una profundidad de determinado de 2 a 3". Esta area es entonses checada antes de colocar material adicional. Este procedimiento es repetido hasta que el espesor requerido sea obtenido y una vez que la parte plana ha sido instalada, los bancos son igualmente instalados hasta que el corazón adquiere su contorno apropiado. Entonces el corazón debe ser ventilado .

En corazones moldeados el plano esta dividido en 2 a 3 segmen



tos, dependiendo del tamaño del horno . Los segmentos son entonces independientemente vaciados al espesor calculando, usando vibradores de inersión. Una vez que el plano es formado, las formas para los bancos son instalados en el horno y esta area sera entonces tambien vaciada.

Nota:

Es tambien recomendable recubrir el tabique del subcorazón con silicato de sodio liquido para sellar las porosidades. Este elimina la posibilidad de que el tabique absorba la humedad en la porción inferior del corazón de trabajo antes de que su instalación sea terminada.

En corazones, ya sean pisomeados, o moldeados, pequeños orificios deberan ser probistos en la concha para permitir que la humedad escape durante el encendido interno y tambien permitir que los metales de fundición a bajas temperaturas como plomo, estaño, etc.etc. se desalojen durante la operación .

Los corazones monoliticos nuevos, deben ser probistos de orificios de arenaje para mejores resultados.

Procedimiento A. / Cubrir el corazón bien y uniformemente con coke de fundición (dimeación de coke de 3 a 5) y entonces prender el arco. La coke puede ser aplicada una y otra vez como sea necesario.

Procedimiento B.- Los electrados rotos son puestos en configuración debajo de los 3 electrados del horno.

El arco es entonces encendido entre el horno, los electrodos y la "T". Para mejores resultados, use la tabla de calentamientos mostrada en la figura Y.

Una nota para corazones de trabajo hechos todo de tabique :

Harklase y Oxibarh, ambos tabiques de alta pureza y de periclase de alta resistencias, son usados efiscamente para corazones de trabajo en aquellos talleres con condiciones de operaci3n bastante severas. Ambos productos ofrecen la ventaja de alta pureza, a temperaturas de operaci3n una alta fuerza, mayor densidad y una resistencia que no exeda a la eraci3n y corrosi3n del metal y escoria. Desde que los tabiques son calentados bajo condiciones controladas se obtiene por completo un coraz3n estabilizado eliminando la necesidad de consumir tiempo en el encendido interno que es com3n con corazones monoliticos y asi entemas proveer una gran disponibilidad del horno. Todos los corazones de tabique tambien requeriran menos mantenimiento.

Debida a la facil instalaci3n y removimiento de construcciones todas de tabique, que es lo opuesto a los corazones monoliticos, este consepito es particularmente atractivo a los talleres con especialidades en acero, donde el remover el coraz3n es necesario para prevenir la contaminaci3n de un calentamiento con los residuos de calentamientos anteriores.

La construcci3n es del tipo de estadi3, con hilada superior del plano en forma de soldado (9"alto) y los bancos o escalones de estadio, construidos con una conuinaci3n de tabiques llave (stan -

dar) y/o derechos para contornear a la capacidad del metal requerido. Los tabiques son puestos en seco y relleno con una harina - molida muy fina de magnesita ( H-W Furnace magnesite mezclas 524 f) Una tolerancia de expansion es provista entre tabiques y la concha usando un relleno de H/W chrome.

#### Orificio de salida y Zona de flujo de hornos.

##### Orificio de salida.

Es tipico en refractarios monoliticos son pisoneados o moldeados al rededor de un tubo de acero para formar el orificio de salida. Pero, plantillas de orificios de salida de periclase pre- encendido (oxibak h), pueden proveer una superficie mas densa y dura para resistir la erosion del flujo del metal. Una de las ventajas de usar periclase pre- encendido es la de su facil instalacion, la estabilidad de volumen de la plantilla en servicio y la gran resistencia - de la ceramica cocida a la penetracion y humedamiento del metal y la escoria.

Una vez en servicio el orificio de salida debera chearse para mantenimiento como rutina. Usar mezclas ya sean pisoneadas, moldeada o por medio de pistola, basadas en magnesita muerta-quemada o periclase de alta pureza, dependiendo de las practicas del taller y/o - por los rigores de servicio. ( Magnamix f, Magnamix 363 o H-WC-Mix) Zona de flujo del horno.

Las superficies de trabajo de las zonas de flujo de hornos son formadas usualmente de materiales monoliticos basicos. Los monoliticos usados deberan desarrollar una fuerza a la temperatur

intermedia y alta , tambien una estabilida dimensional para asi resistir las fuerzas erosivas y cerrosivas de servicio. Magnamix f o H-W Chromepak son preferidos para esta aplicaci6n .

Recientemente tabique conteniendo asfalto Oxiline Cl 6 Oxiline B, han sido usados con ventajas para formar zonas de flujo de hornos

Practicas de mantenimiento de hornos electricos.

La instalaci6n inicial del recubierto de una zona por prescripci6n, para condiciones especificas de un taller disminuira y simplifivara las practicas de mantenimiento.

Como siempre, el maatemimiento sera todo el tiempo requeride, particularmente en la area de escoria. El como ser lleva a cabo el mantenimiento, variara de taller a taller. Generalmente al area de escoria se le da mantenimiento entre un calentamiento y otro, tante , y como lo necesite, ya sea por medio de palas e aplicaciones con pistola. Las partes superiores de las paredes que son puntos calientes su mantenimiento se llevara a cabo durante los dias de pare, per renatabicado o quizas como en la linea de escoria, puede ser hecho por medio de aplicaciones con pistola entre un calentamiento y otro.

El mantenimiento de aplicaci6n con pistola se esta haciendo cada vez mas popular, especialmente en talleres de alta producci6n donde la disponibilidad de un horno es critica. La esperiencia ha indicado, que la aplicaci6n con pistola para el mantenimiento es un arte mas que una ciencia. Los operadores de hornos han encontrado los materiales altos en MgO para aplicar con pistola, como Mag--

namix f y Magnamix 363, que son efectivos en el prolongado de la vida de la zona a recubrir. Estas poseen buenas características para ser aplicados por medio de pistolas, tienen buena evaporación y estabilidad de volumen, además son químicamente compatibles con la escoria del horno y sus atmosferas.

El mantenimiento del fondo y los bancos es generalmente hecho de un calentamiento a otro tanto como sea requerido. Usualmente se prepara un material alto en MgO de las series de Magnamix, pero materiales de grame como HW-Periklase y H-W Furnace Magnesite, también han sido empleados con resultados positivos considerables.

SUGERENCIAS PARA LA CONSTRUCCION DEL TECHO EN HORNO ELECTRICO  
Arcos y anillos.

Los techos de un horno electrico pueden ser construidos usando:

- 1.- Tabique para arco Standard de cuna y derechos.
- 2.- Las formas de un techo del horno electrico en combinación con formas standard. Estos tienen tabiques llave de cuna o conácos para arcos.
- 3.- Formas de tabiques para techo. Estas son presentadas en varias series, teniendo doble comicidad y son usados solos o en combinación de uno con otro para formar los anillos. Su aplicación es restringida a hornos con diametros de 7 pies o mas.
- 4.- Formas de techos "Dos formas". Estas son formas que tienen tres angulos y diseñados para que una forma de vuelta al anillo exterior (siguiente a el arco o ala placa de enfriamiento por agua) y el otro dara vuelta a el ultimo anillo en el centro del techo, - con una combinación de las dos formas para los anillos intermedios. Estas formas son provistas en 9", 12" o 13<sup>1</sup>/<sub>2</sub> de longitud y - pueden ser usadas en cualquier diametro de horno.

Bajo ciertas condiciones, es necesario zonificar los anillos, con diferentes cualidades o tabiques de alta alumina - ancher desh, ufala, alusite "d", ceralite "d", kerundal "xd" o el tabique básico nucen, nucen 60.

Si hay goteras del techo en la parte superior de las paredes básicas, se tendrá que utilizar un tabique de mas alta calidad para la primera salida del anillo en el arco del techo. Tabique básico ha sido usado con efectividad para este proposito. Otra posible solución es diseñar tabique especial que actuara como tile (placas de material para recubrir), separando las fugas o goteras de las paredes. El desgaste local puede ocurrir cerca del puerto del colector de pelve, si la situación es al final de la operación, quizá requiera por segmentos, aumentar el grado de material en los anillos.

#### Secciones Centrales.

Si la sección central es edificar por completo de tabique, al consumir en el corte y acomedamiento debe temarse en cuenta. El corte y acomedamiento puede ser eliminado, usando refractarios monelíticos como H-W Mullita, ceralite o kerundal plástico, o ferms especiales para formar la sección central.

Las secciones centrales, ya sean construidas con materiales monelíticos o de tabique, con frecuencia requieren refractarios demás alto grado que los usados en los anillos del techo por las altas temperaturas locales y una más severa corrosión o problemas de erosión usualmente este requiere que se mueva hacia arriba uno o dos pases según esta en

la escala de Alúmina e, posiblemente el uso de tabique básico.

#### Puertas de Electrodos.-

Usualmente los puertos de electrodos y colectores de pelve estan hechos de fermas estandar de arco, usando materiales monoliticos para evitar el certado y acomedamiento en la zona de unión con los anillos de la pared.

#### Una meta sobre techos de hornos electricos.-

El desarrelle de el recubrimiento directo, de tabique de alta resistencia - Nucem 60 y Nucem, mantiene las puertas abiertas para la aplicación en la construcción de techos de hornos electricos.

El tabique básico tiene sus ventajas de alta refractibilidad y mejor compatibilidad química con la atmosfera del horno.

Nucem 60 y Nucem, han sido empleados con efectividad en zonas de desgaste extremo como tambien en la construcción completa de techos, como con los recubrimientos de las paredes, el objetivo más precado es el de proporcionar un desgaste uniforme con una reducción resultante en el coste por tonelada de acero produce e incrementar la disponibilidad del horno. La mayoría de los techos de los hornos electricos, se desgastan con más rapidez en la sección central e la sección opuesta de los electrodos, o ambas. El uso de Nucem y Nucem 60 (Exkase en los anillos) ha balanceado el desgaste del techo e incrementando la vida del techo apreciablemente.

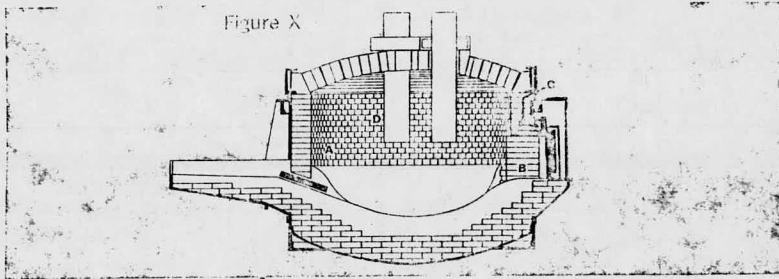


TABLE 1 NUMBER OF BRICK REQUIRED TO FORM WALL RINGS IN FURNACES OF VARIOUS DIAMETERS

Furnace Shell Inside Diameter	9x4½x3" Series				12x6x3" Series				12x4½x3" Series				12x3x3" Series				13½x6x3" Series				13½x4½x3" Series				13½x3x3" Series											
	#4 Key	#3 Key	#2 Key	#1 Key	Sts.	#3 Key	#2 Key	#1 Key	Sts.	#5 Key	#6 Key	#7 Key	Sts.	#8 Key	#7 Key	#6 Key	#5 Key	Sts.	#3 Key	#2 Key	#1 Key	Sts.	#1 Key	#2 Key	#3 Key	#4 Key	#5 Key	Sts.	#1 Key	#2 Key	#3 Key	#4 Key	#5 Key	Sts.		
4"	9	25																																		
5"		29	13																																	
6"		38	55	4																																
7"		46	21																																	
8"		38	38			13	38																													
9"		29	55			6	57							51	50																					
10"		21	72			4	66							38	75																					
11"		17	80			2	71							25	101																					
11½"		13	88				76							10	144																					
12"		9	96				72	7						3	151																					
12½"		13	105				69	13						9	96	144	13																			
13"		13	113				66	19						17	92	139	25																			
13½"			113	5			63	25						25	88	132	38																			
14"			113	13			57	38						34	84	126	50																			
15"			113	21			51	50						50	75	113	76																			
16"			113	30			44	63						67	67	101	100																			
17"			113	38			38	75						84	59	88	126																			
18"			113	47			32	88						101	50	76	151																			
19"			113	55			26	101						118	42	63	176																			
20"			113	72			13	126						134	34	51	201																			
22"			113	88			151							168	17	25	252																			
24"			113	97			151	6	17					201		302																				
25"			113	105			151	13	34					193		289	26																			
26"			113	105			151	13	34					184		277	50																			

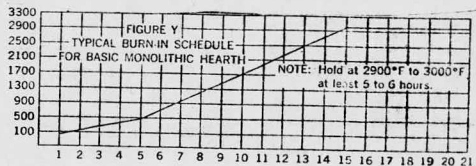
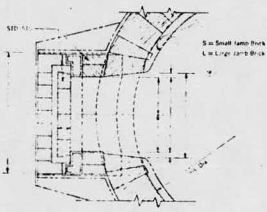


Figure Y



#### Capitulo IV.

Los hornos básicos de oxígeno en la metalurgia, que conocemos son:

LD Linz and Donowitz, Austria

OP Oxygen Process

BOF Basic Oxygen Furnace

BOP Basic Oxygen Process

OSM Oxygen Steelmaking

Kalbe Rotating LD at Sharon Steel

es una vasija en forma de pera formada de refractario, usada para la rápida producción de acero de alta calidad.

#### I./ Breve historia de el BOF

##### A.- Evolución del B.O.F.

El primer horno básico de oxígeno en Noviembre de 1952, con 35 ton. trabajando 17 años, en Linz, Austria dentro de 6 meses, una segunda unidad tiene que ir trabajando en Donowitz, Austria; así, se desarrolla la abreviación L.D.

El primer B.O.F. en Norte America, fue instalado en Hamilton, Canada por Dominion Foundries & Steel, y empezó a trabajar en Octubre (54)

Un mes mas tarde, McLeuth Steel llegó a ser el primero en U.S.A. con B.O.F. trabajando con 3 hornos de 60 ton. de capacidad.

Exepte para 3 pequeños hornos en las plantas de Europa, los siguientes 3 años es, efectuada una expansión pequeña, pero hay muchas

investigaciones y evaluaciones, hasta Noviembre de 1959, cuando Jones y Laughlin Steel, trabajando sus primeros 54 ton. y esta pronto sera aumentado a 81 ton.

En los siguientes 10 años, 1959 a 1969, en la metalurgia hay cambios en los procesos, los hornos de hogar abierto seran avandona - des y todas las fabricas nuevas usaran hornos electricos, o B.O.P. / dada que, para un tipico B.O.P. en 1959 segun comparaci6n con un horno de hogar abierto, el capital invertido sera una mitad lo de el -- horno de hogar abierto y tres cuartas partes que el horno electrico por a6o de lingetes de laminadas de acero. El coste (elec) del combustible sera igual a esos hornos de hogar abierto y m6s bajo considerablemente que esos hornos de arco electrico. La producci6n sera proporcionalidad en lo m6nimo al doble que el de 1959, el horno de hogar abierto y a veces el horno de arco electrico, tiempo de trabajo y coste del refractario sera comparable para los tres procesos.

#### B. Proceso Metalurgico.

El proceso metalurgico en B.O.P. es esencialmente el mismo como en el horno de hogar abierto con la excepci6n de la forma del recipiente el cual permite el seplado de oxigeno en la rapida preparaci6n que en turne, en gran parte reduce el tiempo en turne fuera del acero caliente.

Una forma de empezar para producir acero caliente sera :

- 1.- Son cargados pedacitos de acero. (metal)
- 2.- Es cargado metal caliente.

3.- El crisol es puesto verticalmente, la lanza de oxígeno es puesta más abajo y se empieza a soplar. Cal y otras adiciones son hechas, oxígeno golpeando continuamente alrededor de 22 minutos.

4.- El crisol es puesto para abajo para temperatura y pruebas metalúrgicas, y entonces volteando verticalmente otra vez esperando los resultados de la prueba.

5.- Si esta prueba indica temperatura y química será corregida, entonces el crisol es vaciado primero de acero.

6.- Finalmente es vaciado la escoria.

La operación del (1) a (6) frecuentemente requiere cerca de 40 minutos sin embargo, calores, en ocasiones, volteando fuera en 26 a 29 minutos. EL actual tiempo de soplado es únicamente cerca de 22 minutos y algunas porciones de material serán usados causando sistemas manejados si no escaseara de metal caliente u oxígeno.

## II.- Selección de refractarios para el B.O.F.

A.- Condiciones de servicio creadas dentro de el horno, el mismo, en que los refractarios más activos son esencialmente los siguientes.

- 1.- Temperaturas arriba de 3100°F.
- 2.- Contacto con fierro fundido y acero.
- 3.- Contacto con fundido con alta escoria en cal (CaO) y óxido de hierro (FeO)
- 4.- Contacto con gases turbulentos conteniendo partículas de escoria y acero.
- 5.- Reduciendo condiciones durante la mejor porción de soplado y condiciones de oxidación entre choques.
- 6.- Abrasión mecánica de cambios de material.
- 7.- Esfuerzo mecánico impuesto en el revestimiento a medida que el horno es inclinado para cambiar y golpear.

### B.- Como Básico.

El más conocido puede resistir fundiciones o sea químicas, básicas escorias de metalurgia MgO - Magnesio y 2 MgO . CaO - Dolomita, desde que se mezcla de uno u otro de estos materiales crudos con escoria básica sera disueltos los puntos más altos que temperaturas metalúrgicas.

Magnesio puro fundido cerca de 5025°F. y dolomita altamente pura fundida un poco arriba de 4000°F

C.- Por qué se deposita alquitrán (brea)

Como con muchos productos forma una mezcla de diferentes tamaños de partículas de algunos materiales crudos teniendo a un mismo tiempo con algunas ligas, ladrillos refractarios y refractarios monolíticos será solo tan bueno como la liga aquella que tienen ellos a un mismo tiempo. Este es un valor pequeño, por ejemplo en un ladrillo de magnesio en grano eso es bueno a  $5000^{\circ}$  F., si la liga que retiene a un mismo tiempo fuera a quemarse o sea volverse a un líquido de  $2000^{\circ}$  F.

Desgraciadamente, no hay mucho refractario para pegar en las juntas pero allí es uno de ellos trabaja para crisoles refractarios básicos de oxígeno y de ellos es lanzado.

A diferencia de el de hogar abierto, el horno básico de oxígeno el proceso metalúrgico es llevado durante el choque térmico por abajo de una atmósfera reducida : Este será duro por el refractario comprendiendo la pieza, desde que es difícil escuchar el tremendo flujo de oxígeno, dentro del recipiente y confiar en que la reacción por favor usar todo arriba del oxígeno y origina la atmósfera será deficiente. Sin embargo mientras más, por que esto sucede, el usar las juntas de partículas de magnesita y de lomita del refractario a un mismo tiempo no quemarse afuera, pero mejor dicho, el cambio de coque y carbón. Carbon en la ausencia de oxígeno, es un material refractario en extremo y mantenerse su estructura sólida lejos de las temperaturas metalúrgicas.

#### IV.- 4.- Los Convertidores Bessemer y Thomas.

Son recipientes revestidos de refractario que tiene forma de pera y se apoya sobre muñones, que permiten inclinarle desde la posición horizontal a la vertical. En el fondo se encuentra un refractario que contiene agujeros por los cuales puede inyectarse aire a una presión considerable, ( fig. I ).

Durante el funcionamiento, el convertidor, al mismo tiempo que yace horizontalmente, e sea se apoya sobre su cara lateral, se carga con hierro fundido, que viene del mezclador e alto horno, posteriormente se balancea hasta la posición vertical despues de que se empieza a inyectar el aire, forzando asi una corriente de aire hacia arriba a través, del metal, oxidando el carbón y el silicio para disminuir su composición hasta la adecuada. En experimentos que se utilizan aire enriquecido con oxígeno lo que altera las condiciones de trabajo respecto al refractario.

##### Tipe de refractario utilizado.-

La mayoria de los convertidores antiguos estaban revestidos con refractarios ácidos, con ladrillos de sílice e piedra natural de horno, tales como piedra pómez e esquite de mica.

Los fondos de los convertidores estan normalmente hechos de arcilla refractaria y puede ser frecuentemente remplazada, ya que su duración media es de 10 a 30 ciclos. Sin embargo, las paredes del convertidor pueden dar una duración de 200 a 300 ciclos antes de que sean necesarias reparaciones de envergadura.

Hoy en día, los convertidores poseen revestimiento básico y pueden manejar minerales con alto contenido en fósforo. En Francia, alrededor de un 60% de la producción de acero procede de los convertidores básicos Thomas. Estos recipientes normalmente tienen el revestimiento de magnesita.

Uno de los problemas que aparecen en el convertidor son los humos arrojados a la atmósfera, los esfuerzos para acabar con la contaminación atmosférica están forzando a acabar con la práctica de instalaciones abiertas, los convertidores deben equiparse con separadores de polvo por estas razones se trata de usar los convertidores de tipo LD.

#### El convertidor de oxígeno.-

##### Descripción del proceso.-

Los diversos métodos utilizados para convertir el hierro en acero se cambiaron repentinamente cuando se dispuso de oxígeno a precios de 20 a 30 dólares por tonelada. En 1952, se empezó el procedimiento LD en Austria, al principio con un revestimiento de sílice para tratar hierro de bajo contenido en fósforo, pero pronto se adaptó a otros hierros utilizando un revestimiento básico. La mayor ventaja estriba en un mayor producción para un mismo tamaño de recipiente, como el que se ve en la figura "2", con una abertura de llenado y vertido en la parte superior. Los muñones permiten el vertido del recipiente después de haber introducido el hierro fundido y la chatarra, puede colocarse por la parte superior un tubo inyector de oxígeno enfriado con agua. La capacidad es tal que pueden tratarse 300 toneladas de metal a la vez, y en un futuro próximo van a utilizarse unidades de superior tamaño. El tiempo de la oxidación es de 30 minutos. Una modificación del proceso es el LDAC, en el que

se inyecta caliza pulverizada y la escoria resultante se sangra antes de la inyección final, a fin de eliminar el fósforo.

En 1956 apareció en Suecia el procedimiento Kalde. Este proceso utiliza un recipiente que se hace girar alrededor de su eje para facilitar el contacto del metal y la escoria con las paredes calientes; este eje puede, a su vez, inclinarse para el vertido, tal como se ve en la figura "3". El convertidor Kalde es térmicamente eficaz, es capaz de fundir hasta el 50% de la chatarra y da acero de buena calidad, pero el desgaste de los ladrillos básicos es muy severo.

Un tercer tipo de convertidor se desarrolló en Alemania y fue llamado de rotativo; puede verse en la figura "4". En este caso el recipiente se extiende a lo largo de un eje horizontal, y se hace girar mientras se inyecta oxígeno por uno o dos conductos.

La mayoría de las nuevas instalaciones hoy en día son de tipo LD, mientras que al principio solamente se producía acero con bajo contenido en carbón, en la actualidad este proceso es capaz de tratar gran variedad de composiciones.

#### Revestimientos en el LD.-

En los convertidores de oxígeno se han ensayado gran cantidad de tipos diferentes de refractarios básicos, tales como el ladrillo que está calcinado con un 98% de magnesita, el ladrillo de magnesita impregnado con alquitran, y el de ñeomita aglomerado con alquitran. El último de ellos, debido a su bajo costo y buena duración, se utiliza en la actualidad con gran profusión.

Se ha observado que cada revestimiento tiene una duración de



400 ciclos, con una producción aproximada de 50 000 toneladas, no siendo difícil que el consumo de refractario sea tan bajo como el de 6 libras por tonelada de acero. En los convertidores de oxígeno, las velocidades de desgaste de la tabla "I" han sido propuestas por Lakin.

Tabla "I"

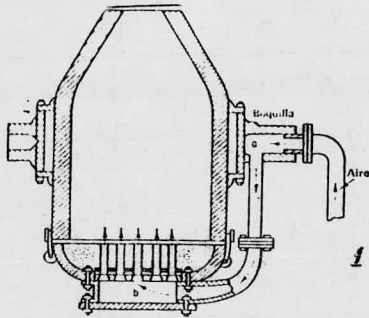
Velocidad de desgaste de los refractarios básicos en una operación BOF (hornos básicos de oxígeno)

Tipo de operación	Tipo de refractario	Desgaste por cada proceso de calefacción
LD . . . .	Delemita aglomerada con alquitran	2.0
LD . . . .	Delemita aglomerada con alquitran	3.0
LD . . . .	Magnesita impregnada con alquitran	1.5
LDAC . . . .	Magnesita aglomerada con alquitran	0.7
LDAC . . . .	Magnesita impregnada con alquitran	1.5
Kalde . . . .	Delemita aglomerada con alquitran	15.0

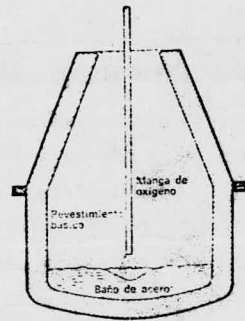
El desgaste del revestimiento no es uniforme, con lo que lo más económico es utilizar refractarios más resistentes aunque más caros, en los puntos de peligro. Por esta razón, los bloques básicos electrefundidos se han utilizado alrededor de la abertura de boca, por debajo de las planchas de protección. En los convertidores Kalde, el desgaste del revestimiento es más rápido que en las operaciones con el LD, con lo cual

se necesitan paredes hasta de 3 pies de grueso para un nuevo ferrado.

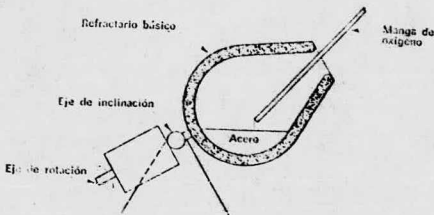
La duración de los ladrillos de delemita es de alrededor de 2 semanas, y por ello muchas plantas europeas de acero hacen sus propios revestimientos.



**Fig. "1"**  
**Convertidor Bessemer.**



**Fig. "2"**  
**Convertidor LD.**



**Fig. "3"**  
**Convertidor Kalde en posición de soplado de oxígeno.**



**Fig. "4"**  
**Convertidor rotatorio de oxígeno.**

## R E S U M E N

### Horno de arco electrico

#### Principios de la operaci3n.-

Los hornos de este tipo se utilizan para fundir hierro y acero por medio del calor de un arco formado por la capa de escoria y los terminales de los electrodos, normalmente en n3mero de tres, que pueden levantarse y bajarse para acomodarse a la altura del metal y a la p3rdida de longitud del electrodo. Hay muchas variaciones en este tipo de horno, pero la mayoria de ellos consiste en carcassas cilindr3icas revestidas de refractarias, con un techo de c3pula y una puerta de carga lateral. Casi todos ellos est<sup>an</sup> montados sobre muelles y se vierten por inclinaci3n.

Los hornos de tipo *acido* se utilizan principalmente para fundiciones de hierro y acero, mientras que el horno b<sup>asico</sup> se utiliza comunmente para la producci3n de lingotes de acero.

#### Construcci3n.-

El fondo esta construido de un modo muy similar a los hornos de hogar abierto, con un piso de ladrillo refractario junto a la carcasa, un piso de ladrillos de magnesita y luego un fondo liso de dolomita, tal como se ve en la figura "A".

Las paredes laterales normalmente est<sup>an</sup> ferradas con metal, con ladrillos de magnesita no calcinados, con bloques electrefundidos colocados en los lugares donde el desgaste es m<sup>aximo</sup> (como en la conducci3n de la escoria, las zonas antag3nicas a los electrodos, y antag3nicas a la conducci3n de acero). Una construcci3n interesante utilizada en el continente consiste en fundir grandes bloques reforzados de dolomita aglomerada

alquitrón, quizá 6 para una pared entera. Este puede instalarse con un trabajo y tiempo de interrupción mínimos.

El techo ha sido siempre de ladrillo denso de sílice, que ha dado buen resultado. Actualmente, con el aumento de precio de este producto, el constructor de hornos está buscando materiales más baratos, y en este sentido gira hacia el uso de ladrillos de alto contenido en alúmina. Si el equipo de desmoldeo fuera lo suficientemente fuerte, el ladrillo básico electrofundido sería digno de tenerse en cuenta.

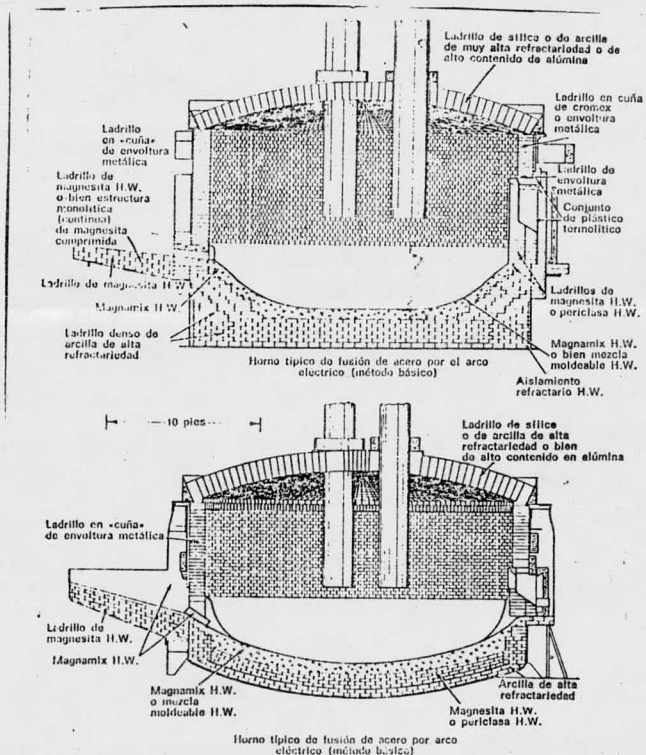


Fig. "A"

Horno de acero al arco eléctrico.

## Horno de fusión por inducción a alta frecuencia

### Principio de la operación.-

Este tipo de horno funde el metal induciendo corrientes de alta frecuencia en la carga por medio de una bobina que rodea al crisol. Este horno se diferencia de todos los demás en que el calor se genera directamente en el mismo metal y el crisol no está sometido a ningún otro tipo de calefacción. Los hornos de inducción a alta frecuencia se hacen en pequeñas unidades para fusiones experimentales, desde unas pocas libras hasta 5 toneladas en los hornos de fusión de aceros. Esta clase de fusión tiene ciertas ventajas, particularmente para aleaciones de acero, en las que tiene lugar una agitación perfectamente uniforme, y el análisis del acero resultante puede ser controlado con exactitud.

### Refractarios.-

En la figura "2" se muestra una sección transversal de un horno grande de inducción a alta frecuencia para fundir aleaciones de acero. La corriente de alta frecuencia circula por la bobina que está enfriada por agua, en el interior de la cual hay un manguito hecho de mica o fratasado sobre una mezcla con sillimanita, para protección de la bobina. En el lado interior de la misma se encastra una delgada capa de refractario para formar la cámara de fusión. Para tener el máximo rendimiento, este refractario debe ser delgado y además no debe romperse durante la operación. El método preferido para colocar este refractario es apretado a mano en la parte interior del núcleo puede retirarse o dejarse fundir mientras que al mismo tiempo, la superficie del refractario.

se sinteriza junto con el grueso de la masa, el interior del núcleo esta hecho de un cilindro de acero forjado o de asbesto.

Un refractario satisfactorio para estas finalidades puede ser ganister conglomerado y aglomerado con un poco de arcilla o silicato sódico en los hornos ácidos. Para hornos básicos se utiliza magnesita sinterizada eléctricamente o una combinación magnesia - alúmina unida con un aglomerante orgánico, a pesar de que los revestimientos se fritan normalmente sin ningún tipo de aglomerante, mediante la fusión con un manguito de hierro. En casos excepcionales, se han ensayado también alúmina e circonita sinterizadas, con buenos resultados, en hornos más pequeños se utilizan generalmente crisoles precalcinados, preferiblemente de magnesita.

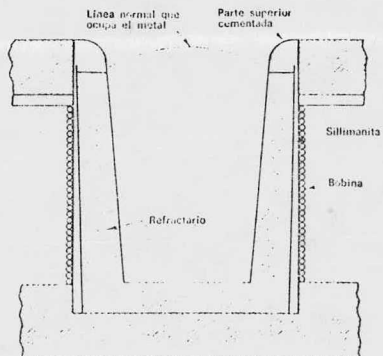


Fig. "2"

Disposición general de un horno de inducción sin núcleo.







## CONCLUSIONES

En esta monografía respecto de los refractarios en la industria de la siderurgia se trata de sacar provecho de los procesos pirotérmicos con el uso adecuado de un grupo de materiales que son resistentes a las temperaturas elevadas, como son óxidos y mezclas de óxidos y sales minerales, también sus propiedades químicas, que pueden ser ácidos, básicos o neutros.

Los refractarios por su tecnología de su fabricación y mano de obra son costosos, y el desconocimiento de las propiedades y sus limitaciones de los refractarios puede producir, en ocasiones, los accidentes que detienen la producción, daña los equipos o lesiona al personal.

Por lo cual el refractario tiene una importancia que se trata de especificar en este trabajo principalmente en hornos eléctricos, inducción y convertidores que son de los más usados en la industria siderúrgica y creo son la base para todos los demás hornos que se emplean en la metalurgia.

En el capítulo II donde se le dan las generalidades de los refractarios se da una breve historia, desarrollo y evolución así como características de los mismos y tipos de refractarios más conocidos y algunas aplicaciones.

En el capítulo III se da una explicación de la fabricación diseño y control de calidad de los refractarios y su forma de ser empleados en la construcción de los hornos y diferentes tipos de calidades de los ladrillos, sus composiciones principales y usos de los mismos en cada parte de los hornos y algunas propiedades químicas y físicas.

En el capítulo IV donde se hace referencia al uso de los refractarios en los hornos eléctrico, inducción y convertidores Bessemer y Thomas se trata de dar una idea de los procesos en estos hornos y el tipo de refractarios usados en ellos.

Con esta monografía se trata de dar una idea al estudiante en la carrera de la química como al profesional en la metalurgia y dar una idea de la importancia de los refractarios.

De lo que se trata de dar la importancia debida a los refractarios en la cual doy gracias a las industrias; Cia. Mexicana de Refractarios A.P. Green, S.A., Harbison Walker Flir de México, S.A. y a Refractarios Barro Méx. por la colaboración en el desarrollo de este trabajo para tener una idea más real de lo que son los refractarios en la industria, sus aplicaciones y desarrollo.

Espero que este trabajo sea una parte de el pago de los esfuerzos, ayuda y apoyo de mis padres y maestros que me alentaron para poder llegar a ser un profesional y seguirme superando cada día más y más.

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

- 1.- Instituto Mexicano del Hierro y del Acero
- 2.- Electric Furnace Construction Manual  
Harbison - Walker Refractories ( Iron & Steel Products )  
Robert F. Nale
- 3.- A Profile of the Hot Electrics  
Harbison - Walker Refractories Company.
- 4.- Refractarios  
Bufete de Estudios Metalurgicos, S. C.  
Rodolfo Araujo
- 5.- The Abrasion of Fireclay Materials  
Trans. Brit. Ceram. Soc.  
Hancock, W. C., y W. E. King
- 6.- Statistical Description of the Size Properties of Non - Uniform  
Particulate Substances  
J. Franklin Inst.  
Hatch, T. y S. P. Choate
- 7.- The Coefficient of Resistance as a Function of Reynolds  
Number for Solids of Various Shapes  
J. Franklin Inst.  
Wadell, H.

8.- The Measurement of Particle Sizes in Clays

J. Am. Ceram. Soc.

Norton, F. H. y S. Speil

9.- Studies on Particle - size Distribution

Pub. 2, Lab. Mortar, Glass and Ceramics Royal Tech. UNIV.  
( Copenhagen )

Berg , S.

10.- Electrical Resistance of Some Refractory Oxides and Their  
Mixtures in the Temperature Range 600° to 1500°G

J. Am. Ceram. Soc.

Hensler, J. R., y E. C. Henry

11.- Electrical Conductivity of Some Commercial Refractories in  
the Temperature Range 600° to 1500°G

J. Am. Ceram. Soc.

Chiochetti, V. E. J., y E. C. Henry

12.- Permeability and Some Other Properties of a Variety of  
Refractory Materials

J. Am. Ceram. Soc.

Massengale, G. B. , L. E. Mong, y R. A. Heindl

13.- The Definition and Measurement of Permeability of Consolidated Materials

Trans. Brit. Ceram. Soc.

Astbury, N. F., J. F. Clements, y L. Sabiston

14.- The Specific Surface of Clays

Trans. Brit. Ceram. Soc.

Haynes, J. M.

15.- Información Obtenida de las Fabricas

Cia. Mexicana de Refractarios A. P. Green, S.A.

Refractarios Barro Mex.

Harbison Walker Flir de México, S.A.

16.- Hornos Industriales Vol. I

Ediciones Urmo

W. Trinks - M. H. Mawhinney