

26 2ci



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"PLANTEL ARAGON"

ANALISIS Y CLASIFICACION DE LOS
REFRACTARIOS MAS COMUNES EN MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE;
INGENIERO MECANICO ELECTRICO

P R E S E N T A :

AVELINO SANTILLAN TINOCO



ARAGON, EDO. DE MEXICO

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
ASPECTOS GENERALES DE LOS REFRACTARIOS	3
1.1.- DEFINICION	3
1.2.- CLASIFICACION GENERAL DE LOS REFRACTARIOS	4
1.2.1.- COMPOSICION QUIMICA	4
1.2.1.1.- REFRACTARIOS ACIDOS	5
1.2.1.2.- REFRACTARIOS BASICOS	5
1.2.1.3.- REFRACTARIOS NEUTROS	7
1.2.2.- PRESENTACION	8
1.2.2.1.- ARCILLAS	9
1.2.2.1.1.- ORIGENES	9
1.2.2.1.2.- NATURALEZA DE LAS ARCILLAS ...	10
1.2.2.1.3.- CLASIFICACION	11
1.2.2.1.4.- PROPIEDADES	11
1.2.2.2.- LADRILLOS	15
1.2.2.2.1.- CONDICIONES	17
1.2.2.2.2.- PROPIEDADES	18
1.2.2.3.- MORTEROS	19
1.2.2.3.1.- PROPIEDADES	21
1.2.2.4.- CEMENTOS Y CONCRETOS	22
1.2.2.4.1.- CEMENTOS	23
1.2.2.4.2.- CONCRETOS	23
1.2.2.5.- PLASTICOS Y AFISONABLES	24
1.3.- PROCESOS DE FABRICACION DE LOS REFRACTARIOS	25
1.3.1.- PROCESOS PARA LA OBTENCION DE LA ARCILLA	25
1.3.2.- PROCESOS PARA LA OBTENCION DEL LADRILLO	27
1.3.2.1.- PROCESO HUMEDO	27
1.3.2.2.- PROCESO SECO	28
1.3.3.- ESPECIALIDADES REFRACTARIAS ..	33
1.3.3.1.- PROCESOS PARA LA OBTENCION DEL MORTERO	33

	PAG.	
1.3.3.2.-	PROCESOS DE FABRICACION DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO	33
1.3.3.3.-	PROCESOS DE FABRICACION DE LOS PLASTICOS Y APISONABLES...	33
1.4.-	TIPOS DE REFRACTARIOS Y SUS USOS	34
1.4.1.-	MATERIALES REFRACTARIOS NACIONALES.....	34
1.4.1.1.-	ARCILLAS, MORTEROS, APISONABLES, PLASTICOS Y CONCRETOS ..	34
1.4.1.2.-	TABIQUES	39
1.4.2.-	MATERIALES REFRACTARIOS EXTRANJEROS	44
1.5.-	FACTORES QUE RIGEN LA ELECCION DE REFRACTARIOS	51
1.6.-	ENSAYOS Y PRUEBAS	53
1.6.1.-	CONO PIROMETRICO	53
1.6.2.-	MODULO DE RUPTURA Y RESISTENCIA A LA COMPRESION	58
1.6.3.-	DEFORMACION BAJO CARGA	59
1.6.4.-	CAMBIO LINEAL	60
1.6.5.-	DESPOSTILLAMIENTO TERMICO	61
1.6.6.-	CAMBIO DE VOLUMEN	61
1.6.7.-	DENSIDAD	62
1.6.8.-	PRUEBAS QUE SE DETERMINAN POR FORMULA	62
1.6.8.1.-	VOLUMEN EXTERIOR	62
1.6.8.2.-	OBSORCION DE AGUA	63
1.6.8.3.-	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE..	63
1.6.8.4.-	DENSIDAD TOTAL	63
1.6.9.-	POROSIDAD APARENTE	64
CAPITULO II		
	INVESTIGACION DE CAMPO	65
2.1.-	BUSQUEDA DE OTROS TRABAJOS SIMILARES	65
2.2.-	DETERMINACION DEL UNIVERSO ...	66
2.3.-	ELABORACION DEL DIRECTORIO ...	67

	PAG.
2.4.-	ELABORACION DEL CUESTIONARIO. 68
2.5.-	CAPTACION DE LA INFORMACION . 69
2.6.-	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION 69
2.7.-	ANALISIS DE LA INFORMACION .. 69
2.7.1.-	PRODUCTOS REFRACTARIOS CON MAYOR DEMANDA EN EL MERCADO.. 70
2.7.2.-	PAISES PRODUCTORES DE LOS MEJORES MATERIALES REFRACTARIOS 71
2.7.3.-	ZONAS DE LA REPUBLICA MEXICANA CON MAYOR CONSUMO DE MATERIALES REFRACTARIOS 72
2.7.4.-	PROCEDENCIA DE LA MATERIA PRIMA PARA PRODUCIR REFRACTARIOS 73
2.7.5.-	COMBINACIONES QUE SE EFECTUAN PARA LA FABRICACION DE REFRACTARIOS 75
2.7.6.-	REFRACTARIOS RECOMENDADOS POR LOS DISTRIBUIDORES O FABRICANTES PARA DIFERENTES HORNO S 78
2.7.7.-	RECOMENDACIONES QUE LOS FABRICANTES O DISTRIBUIDORES HACEN A SUS CLIENTES 80
2.7.8.-	METODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL RANGO DE TEMPERATURA EN MATERIALES REFRACTARIOS 81
2.7.9.-	PRUEBAS QUE SE APLICAN A LOS MATERIALES REFRACTARIOS 81

CAPITULO III

YACIMIENTOS Y COMERCIALIZACION DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS EN MEXICO	84
3.1.- YACIMIENTOS	84

	PAG.	
3.1.1.-	EXTRACCION	85
3.1.2.-	TIPOS	85
3.1.2.1.-	YACIMIENTO A	85
3.1.2.2.-	YACIMIENTO B	86
3.1.2.3.-	YACIMIENTO C	86
3.1.2.4.-	YACIMIENTO D	86
3.1.3.-	YACIMIENTOS MUNDIALES	87
3.2.-	COMERCIALIZACION	90
3.3.-	PROBLEMATICA Y LIMITACIONES DEL REFRACTARIO EN MEXICO	90
3.4.-	COMPARACION DE UNA EMPRESA EXTRANJERA CON UNA NACIONAL ..	91
3.4.1.-	EMPRESA NACIONAL	91
3.4.2.-	EMPRESA EXTRANJERA	92
 CAPITULO IV		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
ANEXO I		
	BIBLIOTECAS Y CENTROS DE INFORMACION	101
ANEXO II		
	DIRECTORIO DE DISTRIBUIDORES Y FABRICANTES DE MATERIALES REFRACTARIOS DE LA ZONA METROPOLITANA	104
ANEXO III		
	CUESTIONARIO	109
	BIBLIOGRAFIA	118

INTRODUCCION

Los materiales refractarios desde tiempos antiguos han sido de mucha utilidad para el hombre, tanto en la vida hogareña como la industrial.

Historicamente no podemos decir a ciencia cierta cuando aparecio el primer refractario, pero en la industria se presenta inicialmente como rocas, con una composición altamente silicosa y arenosa, mismas que se usaron para los primeros hornos de hierro, con esto surgió el uso de piedras artificiales llamados ladrillos, estos eran fabricados principalmente de arcillas que mostraban resistencia al calor intenso, estas arcillas fueron llamadas refractarias para distinguirlas de los materiales usados para la producción de ladrillos de construcción, poco a poco se fueron determinando las propiedades refractarias de la sílice, por el año 1850, se inicio la fabricación de ladrillos de sílice. Hacia 1880 y con el uso de convertidores para la fabricación de acero, se empezaron a usar ladrillos de magnesita y mineral de cromo, que resultaron muy resistentes al ataque químico de las escorias básicas, y fueron conocidos como ladrillos básicos. Los materiales refractarios son parte esencial de los hornos y por lo tanto, están sujetos a diferentes tipos de fuerzas destructivas que tienen como común denominador la temperatura.

Esta tesis está constituida por 4 capítulos, en el primero encontramos las definiciones que nos proporcionan diferentes personas dedicadas al estudio de estos productos - posteriormente clasificaremos a los refractarios aquí estudiados tanto químicamente como por su presentación en el mercado además estudiaremos los procesos de fabricación de cada uno, tipos, usos, factores que rigen la elección de estos productos, también tocaremos el tema de ensayos y pruebas que se le

aplican a los mismos.

En el capítulo dos hablaremos de la investigación de campo, en la cual, en primer lugar, buscamos trabajos semejantes al presente, con el fin de que nuestro estudio no sea igual a los ya elaborados.

Se menciona también el universo donde se desarrolló el trabajo, además se elaboró un directorio correspondiente a las fuentes de información y un cuestionario que será -- una herramienta muy útil para nuestros propósitos, por medio de los dos últimos puntos nos auxiliamos para poder capturar la información, la cual fue procesada y analizada en forma manual.

De los cuestionarios que manejamos en este capítulo encontramos referencias sobre:

Los productos refractarios con mayor demanda en el mercado, los países productores, zonas de la república con mayor consumo, procedencia de la materia prima para poder producirlo, combinaciones que se efectúan para su elaboración -- así como recomendaciones para diferentes condiciones de trabajo por parte de los fabricantes o distribuidores, métodos utilizados para determinar su rango de temperatura y pruebas mecánicas que se aplican a estos materiales.

En el capítulo tres mencionamos los yacimientos, modo de extracción y tipos de yacimientos, además los yacimientos mundiales existentes, hablaremos también de la comercialización de los refractarios, su problemática y limitaciones. Realizaremos un estudio de los productos elaborados por dos empresas dedicadas a este negocio, escogimos una extranjera y una nacional, para poder realizar una comparación más -- completa.

En el cuarto capítulo y último daremos nuestras conclusiones y recomendaciones del presente trabajo elaborado.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES DE LOS
REFRACTARIOS

antes de abordar cualquier situación especial se analizará desde varios puntos y de una manera general a los materiales refractarios. haremos una clasificación e indagaremos sobre los procesos para su fabricación, se analizará -- también los diferentes tipos, usos y pruebas a las que se someten. Todo lo anterior obedece a la estructuración que debemos tener antes de profundizar en estos materiales.

1.1.- DEFINICION.

Según el Diccionario Técnico (1), "los refractarios son materiales que resisten a la acción de agentes químicos y físicos, especialmente a temperaturas elevadas".

Se reunió la opinión que nos dan diferentes autores y encontramos que hay una alta coincidencia al respecto, por ejemplo: Eduardo Capello (2), entiende como material refractario, "a todos aquellos que soportan la acción de temperaturas elevadas sin ablandarse excesivamente ni romperse".

Juan Francisco López Escobedo (3), nos menciona que un refractario, de manera general, "es aquel material que soporta temperaturas muy elevadas sin fundirse, ni sufrir una deformación excesiva o experimentar cambio de composición.

Alan Mara (4), define al refractario como, "el material que resiste altas temperaturas y que es moldeable, que no reacciona con sustancias fusibles así también lo bastante fuerte para resistir desgastes y escorias.

La Enciclopedia Ilustrada Cumbre (5), nos dice, -

"que se llama refractario a los cuerpos que se consideran infusibles, ya que son susceptibles de soportar la acción de temperaturas superiores a los 1500°C, sin sufrir descomposición o variar su estado".

1.2.- CLASIFICACION GENERAL DE LOS REFRACTARIOS.

En la actualidad nos encontramos que los refractarios se clasifican por su composición química y presentación, ambas son importantes. En la composición química se mencionará el comportamiento de los refractarios al estar en contacto con otros materiales y los elementos químicos que lo componen en la presentación hablaremos de la colocación, uso y operación a que son sometidos.

1.2.1.- COMPOSICION QUIMICA. Los materiales refractarios en términos generales se constituyen principalmente de óxidos tales como el de silicio (SiO_2), de aluminio (Al_2O_3), de calcio (CAO) y de magnesio (MgO). "Mediante la técnica de fritado(✱) se tiene la posibilidad de obtener óxidos que resisten temperaturas del orden de 2000°C. Para resistir altas temperaturas (3000°C), se recurre a boruros, carburos y nitruros. -- Cierta mezcla de los mismos resisten temperaturas próximas a 4000°C, como la que consta de 4 partes de carburo de tártara y una de carburo de circonio" (1). Por los efectos que estos manifiestan se clasifican en tres categorías que son:

- A).- Refractarios Acidos.
- B).- Refractarios Básicos.
- C).- Refractarios Neutros.

(✱) Fritado.- Es una técnica que incrementa la cohesión, mediante la cual el agua es eliminada por evaporación y los granos se unen íntimamente.

1.2.1.1.- Refractarios ácidos. Estos refractarios son óxidos de metaloides, en los cuales predomina el sílice (SiO_2), el cual es un compuesto natural de silicio y oxígeno ($\text{Si} + \text{O} = \text{SiO}_2$), estos dos elementos son de los más abundantes de la corteza terrestre, sumados nos dan el 75% de los materiales disponibles por el hombre.

El sílice puede existir en seis formas cristalinas cuando menos, sin contar el estado vítrio, de las cuales las tres formas principales son: El cuarzo, tridimita y cristobalita. La primera se transforma lentamente a la segunda, cuando se calienta por periodos largos a temperatura de más de 870°C , transformandose en la última a los 1470°C . A la temperatura ambiente, las tres formas son muy estables. Existen sin embargo cuando menos otras tres formas que son reversibles.

El sílice no se reblandece hasta los 1660°C y se fluidifica a los 1750°C , a temperaturas altas reacciona con los refractarios, cenizas o fundentes básicos, formando silicatos.

Los materiales que contienen predominantemente sílice y oxígeno, son comunes, estos se moldean fácilmente para tomar formas apropiadas y poseen una refractabilidad(*) elevada.

1.2.1.2.- Refractarios Básicos. Son óxidos de materiales, en los cuales predomina el de calcio (CaO), dolomita ($\text{MgO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$), también podemos encontrar a la magnesita (MgO), éste último puede ser natural o sintético, nunca se da en estado puro, se encuentra en los depósitos de salmuera (agua salada) y de sal, su punto de fusión es de 2800°C . El segundo, de acuerdo con la norma NOM-O-18-1984, es un mineral formado por

(*)Refractabilidad.- Según la norma NOM-O-18-1984, es la propiedad de los materiales refractarios de resistir la fusión, ablandamiento o deformación a temperaturas altas.

el carbonato doble de calcio y magnesio cristalino, este se usa solamente como una mezcla en la fabricación de materiales refractarios apisonables.

A temperaturas elevadas estos materiales básicos, reaccionan con los refractarios, cenizas, escorias o fundentes ácidos, formando silicatos de un punto de fusión relativamente bajo.

Comparados con los ácidos, todos los refractarios básicos padecen la desventaja de aumentar las dimensiones lineales o volumétricas de estos materiales por acción de la temperatura (ver fig. 1.1).

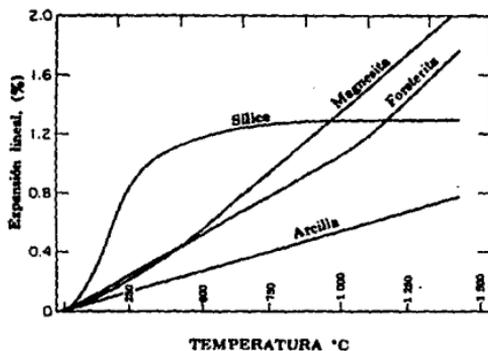


Fig. 1.1 Expansiones térmicas de algunos ladrillos refractarios normales

FUENTE: H.F. Teylor, Fundición para Ingenieros.

También apreciamos en la fig. 1.1, que la forsterita que es un mineral natural de fórmula $2MgO \cdot SiO_2$ y punto de fusión de $1900^{\circ}C$ y la arcilla, material natural terroso o pétreo, producto de rocas feldespáticas, son menores en su expansión térmica que los ácidos y básicos.

1.2.1.3.- Refractarios Neutros. Son materiales en los cuales predomina la alúmina (Al_2O_3), silimanita ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) y carburo de silicio (SiC).

La alúmina, es el componente principal de la bauxita, el mineral más rico en aluminio, se presenta en varias formas cristalinas, siendo las principales la Alfa, Beta y -Gama. La primera, "es idéntica al mineral natural corindón el cual es un cristal trigonal con gravedad específica de 4.0, -este material es aparentemente muy estable y casi siempre se produce por iones en frío"(8). La segunda es hexagonal y su estructura tiene forma de columna vertebral y una gravedad -- específica de 3.31 y está formada generalmente por calenta--- miento de materiales de alúmina hidratada, tales como caolín o gibbsita y la tercera no es exclusivamente alúmina, pues -- está constituida por dos moléculas de alúmina (Al_2O_3) y una - de potasio (K) o sodio (Na).

Cuando la alúmina es pura, tiene un punto de fusión de 2050°C.

La silimanita(*), es un mineral que tiene la fórmula igual que la cianita(*) y la andalucita(*), pero de diferente estructura cristalina. Se calcina a la temperatura de -1500°C, se disocia en un silicato de aluminio cristalino, llamado mullita, de fórmula $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (71.8% de Al_2O_3 y --- 28.2% de SiO_2), de alto punto de fusión e importante constituyente de los refractarios sílico aluminosos y de alta alúmina su otro constituyente es la cristobalita, que es una de las - variedades alotrópicas del sílice, metaestable a temperatura ambiente y estable entre los 1470 y 1713°C, siendo uno de los principales constituyentes de los refractarios de sílice.

*)Cianita, Andalucita y Silimanita.- "son minerales de fórmula empírica $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, que se presentan en diferentes formas cristalinas"(17).

A estos materiales refractarios se les da el nombre de neutros porque, no reaccionan de manera sensible con otros tipos de refractarios, cenizas, escorias o fundentes.

De los materiales neutros más usados en la industria encontramos, al mineral de cromo y el carbón.

La distinción entre refractarios neutros y básicos, no es tan precisa como pudiésemos creer, el cromo por ejemplo, puede ser considerado propiamente como material básico (ver tabla 1.1), aunque cumple los requisitos de un refractario neutro.

TABLA 1.1

COMPOSICIONES TÍPICAS DE LADRILLOS DE SÍLICE Y BÁSICOS

Tipo de ladrillo	Porcentaje						
	Sílice (SiO ₂)	Alúmina (Al ₂ O ₃)	Cal (CaO)	Magnesia (MgO)	Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	Óxido cromo-níquel (Cr ₂ O ₃)	Otros óxidos
Sílice convencional y de servicio rudo (así como Zirconita)	95-97	0.20-1.2	1.0-1.5	—	0.3-0.9	—	0.05-0.3
Básico							
Cromo	3-6	11-33	—	14-19	11-17	30-45	1-3
Fosforita	33-39	—	—	47-55	9-11	—	3-6
Magnetita	3-6	0.4-2.0	1-3	81-95+	0.3-4.0	—	0.3-1.0

FUENTE: H.F. Teylor, Fundición para Ingenieros.

En la clasificación anterior de la composición química, interviene un material llamado escoria, el cual es una característica esencial de la fusión y refinado de muchos materiales. Estas pueden ser ácidas o básicas, dependiendo del contenido relativo de óxido.

1.2.2.- PRESENTACION. En la industria nos encontramos con un sinnúmero de formas adoptadas por los materiales refractarios éstas están condicionadas al uso, por ejemplo, no es recomendable que introduzcamos un ladrillo para horno de piso, en uno de cubilote o cuando es necesario uno de cuña en lugar de el de bloque, por esto los refractarios se presentan en:

- A) Arcilla.
- B) Ladrillo.
- C) Mortero.
- D) Concreto.
- E) Plásticos y Apisonables.

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

- a) Arcillas Refractarias.
 - b) Alta alúmina.
 - c) Magnesita.
 - d) Cromita.
 - e) Cromita-Magnesita.
 - f) Magnesita-Cromita.
 - g) Sílice.
 - h) Zirconia.
 - i) Carburo de Silicio.
 - j) Grafito.
- Y todas sus mezclas.

El resultado es una enorme variedad de productos refractarios con características diferentes(18).

1.2.2.1.- Arcillas. Se dice que las arcillas son el constituyente más importante de los refractarios, ya que es la materia prima. Se define como un material hidratado, que contiene una considerable proporción de sílice y alúmina, estas no son minerales, sino, agregados de ellos y de sustancias coloidales. Además muestran la propiedad de ser plásticas. Cuando se pulverizan y humedecen convenientemente adoptan una rigidez al secarse y se vitrifican cuando se calientan a temperaturas altas.

1.2.2.1.1.- Orígenes. Durante los últimos años se ha tenido -

un gran progreso en el estudio del origen de las arcillas, se cree que es un producto alterado, derivado de la acción hidrotérmica o del medio ambiente sobre rocas abundantes.

No hay ninguna teoría exacta acerca del mecanismo de formación de la arcilla o explicación del porqué varios -- minerales arcillosos, aparentemente, proceden de la misma roca patrón.

Las arcillas que se encuentran en el mismo lugar de la roca patrón, de la cual se formaron, son llamadas residuales.

Las arcillas son sedimentos en los lagos pantanosos o desembocadura de ríos.

1.2.2.1.2.- Naturaleza de las Arcillas. En el presente se a -- podido observar la estructura y en base a esto muchos detalles son ahora más claros. Se sabe que las arcillas, aún en -- sus partículas más pequeñas están compuestas de fragmentos de materiales, pero debido al pequeño tamaño de éstos su descripción e identificación es particularmente difícil, se ha encontrado que los minerales arcillosos están sobre un amplio rango de tamaño que van de 100 a 0.01 micrones. Las porciones -- más pequeñas de la arcilla son principalmente planas, sin embargo en el presente no se ha podido medir la forma de las -- extremadamente pequeñas.

Con la materia arcillosa, a menudo se asocia materia orgánica, tal como el carbón fósil y tierra vegetal, los cuales pueden actuar como protectores de la materia coloidal formando un colchón gelatinoso ó también afecta a las propiedades físicas de la arcilla.

La mayor parte de las arcillas contienen impurezas, frecuentemente en tamaño muy variado de grano, tales como el cuarzo, mica, feldespato y otros minerales no plásticos entre estos podemos encontrar elementos metálicos tales como el hierro y otros que se encuentran en su estructura.

1.2.2.1.3.- Clasificación. Como se ha mencionado anteriormente, las arcillas son productos naturales, de las cuales existe una gran variedad y todas ellas muy importantes, puesto -- que combinandolas apropiadamente, podemos obtener refracta--- rios que satisfagan las necesidades de la industria. En la ta bla 1.2, se muestra una clasificación de las arcillas de ---- acuerdo con su origen.

1.2.2.1.4.- Propiedades. Para poder identificar a las arci--- llas debemos recurrir a sus propiedades, las cuales nos indi- can que aptitudes tienen, éstas se mencionan a continuación:

Plasticidad.- Es uno de los atributos de mayor -- importancia de la arcilla refractaria, ésta propiedad nos in- dica la posibilidad de mantener cualquier forma que se le da mediante un ligero amoldamiento, por ejemplo, en la fabrica--- ción de tabiques refractarios.

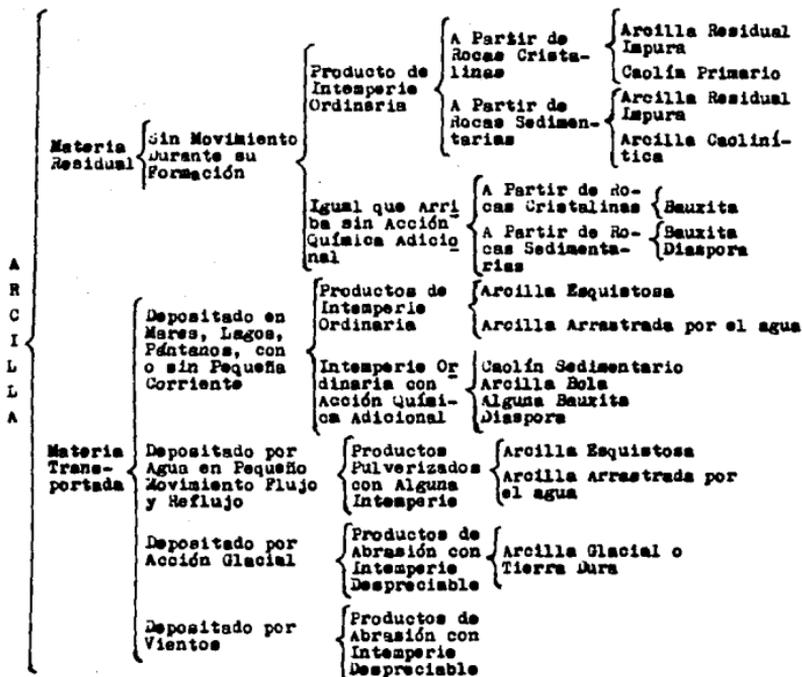
"La plasticidad de una arcilla no se relaciona di- rectamente con la refractabilidad, pero sí las más plásticas resisten mejor la acción de fundentes"(8).

Las causas de la plasticidad son muy complejas, - pero pueden explicarse, por la cantidad de materia gelatinosa que contenga la arcilla. A causa de la extremada pequeñez de las partículas, tienen estas suficiente adherencia para preve- nir su expansión. aun cuando estén sujetas a fuerzas severas, y tengan suficiente movilidad unas sobre otras y asumen rápi- damente la forma conveniente.

Cuando la arcilla es calentada muy bruscamente, - la plasticidad puede ser destruida y difícilmente de restau- rar de manera simple, debido a la composición del material, - por alteración del tamaño de la partícula.

Las arcillas más puras tienen menos plasticidad - que aquellas que contienen impurezas, esto quiere decir que - mientras más contaminadas estén estas tendrán mayor posibili- dad de obtener la forma deseada, así sea muy caprichosa.

TABLA 1.2.- CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS DE ACUERDO A SU ORIGEN.



FUENTE: Ruiz Flores Javier, Estudio del Proceso y Reformas Propuestas en una Compañía de Productos Refractarios.

Refractabilidad.- La refractabilidad de una arcilla ha sido definida como la fuerza para resistir la acción del calor.

La refractabilidad de una arcilla está en función de su temperatura, por ejemplo, si una de ellas es calentada por algunos días y otra por solo horas, la primera se reblandecerá y perderá propiedades físicas, mientras que la segunda permanecerá intacta.

La refractabilidad disminuirá proporcionalmente a la cantidad de impurezas que contenga la arcilla, ésto es, si está mucho muy contaminada tendrá una resistencia al calor -- mucho menor.

La textura de un grano es importante en relación a su refractabilidad ya que las partículas finas son más fácilmente fundidas.

Fusibilidad.- Es la propiedad de los cuerpos de fundirse por la acción del calor, en estos materiales comienza a los 1000°C con las arcillas de bajo grado y llega de --- 1300 a 1400°C para las refractarias, éstas si llegarán a rebasar los límites de la fusibilidad para ellas, se deteriorarían, por ejemplo, cuando se introduce una de fusibilidad baja, en un lugar donde se debe emplear una de fusibilidad alta las consecuencias serán, que el material empezará a desmoronarse y con esto perder su refractabilidad.

Composición Química.- Es el conjunto de materias primas correspondientes a la fórmula base del producto, por ejemplo, el sílice sus componentes químicos son el silicio -- (Si) y el oxígeno (O).

Las arcillas refractarias, están constituidas de alúmina (Al_2O_3), sílice (SiO_2) y agua (H_2O), pero también contienen proporciones variables de sílice libre (SiO_2), compuestos de hierro (Fe), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K).

Color.- El color de el material refractario varía según sea su estado físico, una arcilla cruda puede tener un color gris o amarillo, pero, cuando se calcina, adquiere una tonalidad que va del rojo al café, debido a que el color de ésta, al natural es de carácter orgánico y se destruye cuando se calienta, lo que se explica porque los compuestos de fierro en ella son usualmente de color muy pálido.

En su forma relativamente pura, la arcilla puede ser blanca o crema pálido, pero el color varía irregularmente con la cantidad de impurezas presentes.

Las impurezas en una arcilla son de gran importancia al calor, ya que actúan como fundentes.

Contracción.- Es el fenómeno experimentado por un cuerpo, que se caracteriza por la aproximación de sus moléculas, con lo que aumenta su densidad y disminuye su volumen.

Cualquier arcilla que haya sido mezclada con agua y convertida en pasta, da la resistencia conveniente para moldearse, se contraerá tanto al secarse como al calentarse a temperaturas altas, esto es debido en primer lugar, a las partículas de arcilla plástica que contiene, las cuales son separadas por medio del agua. Cuando se calientan al rojo empiezan a disgregarse debido a la gran contracción que experimentan y que va acompañada de agrietamientos, éste es uno de los mayores inconvenientes de ellas con respecto a los morteros, ya que la contracción en ambos casos varía notablemente.

Efectos del Calor.- El calor como ya se mencionó es el punto más importante que se debe cuidar en los materiales refractarios, por esa razón se mencionarán las consecuencias que sufren las arcillas al calentarse excesivamente, que son las que a continuación mencionamos:

- La mezcla se evapora y la arcilla se contrae.
- Con un calentamiento al rojo la arcilla empieza

za a descomponerse perdiendo agua, sobreviniendo a la vez una ligera contracción y completa pérdida de plasticidad. Cuando la descomposición es completa, ésta queda convertida en un material duro.

- Al mantenerse alta la temperatura, los elementos integrantes más fusibles de la arcilla comienzan a fundirse y los que tienen carácter alcalino empiezan a formar silicatos alcalinos fusibles que gradualmente disuelven más material, llenándose eventualmente los poros con una substancia vitrificada que asume gran importancia para conocer con mayor exactitud las causas de destrucción de los ladrillos.
- Simultáneamente con la descomposición de la arcilla, cualquier material orgánico presente queda bajo condiciones de rápido calentamiento lo que puede formar un núcleo negro con una protuberancia del material, debido a la producción de escoria del combustible en los poros de la arcilla.

1.2.2.2.- Ladrillos. Los materiales refractarios más comunes son los ladrillos y por su reconocida importancia se utilizan en numerosas fábricas e industrias, son hechos a base de una selección, molienda y mezclado de arcillas con agua para secarse a continuación en hornos de gran longitud y finalmente calcinarse, podemos decir que son piezas preformadas listas para usarse. Existen tres clases de estos materiales, los cuales son: Los ladrillos, los tabiques y los blocks, podemos diferenciarlos por medio de su tamaño y espesor. El ladrillo y el tabique de tamaño son iguales, pero no en su espesor, el primero es más delgado que el segundo, respecto al block, será de un tamaño y espesor mayor que los primeros.

1.2.2.2.1.- Condiciones. Los materiales refractarios para poder serlo, deben de cumplir con ciertas condiciones, como en todos los casos y esta no es la excepción, a continuación se mencionará las más importantes:

- Difícil fusibilidad, que aguante sin fundirse altas temperaturas (su punto de fusión es entre 1580°C a 1670°C), a estos se les denomina refractarios, mientras los que resisten temperaturas de 1670°C a 1790°C , se les llama super refractarios.
- Inalterabilidad de volumen a temperaturas altas sin contraerse ni expanderse.
- Resistencia a los cambios de temperatura.
- Resistencia a la acción neutra y mejor aún a los de reacción básica, resisten a las escorias básicas, en tanto que los ladrillos de acción ácida resisten mejor a las escorias ácidas ricas en ácido silícico.

Los ladrillos básicos, están formados de bauxita, es una roca muy blanda formada por óxido hidratado de aluminio y de color rojiza, además contiene alúmina cristalina llamada corindón, dolomía (que no es otra cosa que una caliza, carbonato doble natural de cal y magnesia), magnesita y carbón (coque molido).

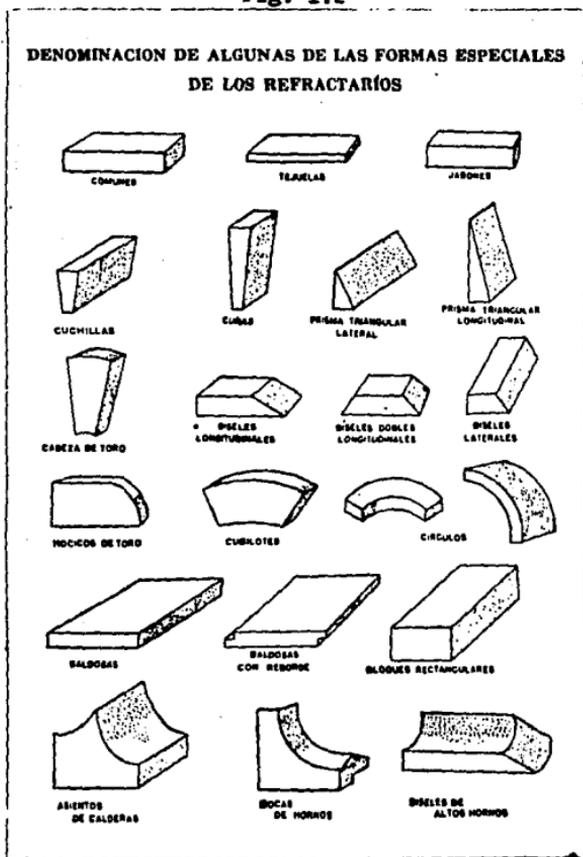
Los ladrillos neutros, son fabricados con arcillas grasas, ricas en alúmina.

Los ladrillos ácidos, se componen de cuarcita y de arcillas magras, ricas en ácido silícico.

Los tabiques refractarios se fabrican de un sin número de formas, algunas muy capriciosas, pero todas con una finalidad específica y funcionabilidad adecuada, en la figura 1.2, se muestra algunas formas especiales de ellos.

Fig. 1.2

**DENOMINACION DE ALGUNAS DE LAS FORMAS ESPECIALES
DE LOS REFRACTARIOS**



**FUENTE: Erenetz Anatalio, Manual de Combustibles,
Aislantes y Refractarios.**

1.2.2.2.2.- **Propiedades.** Los ladrillos refractarios, siendo uno de los materiales de gran importancia en la industria y confiando plenamente en su eficiencia, lo que nos da sus propiedades las cuales mencionamos a continuación:

Color.- Los ladrillos tienen un color crema pálido, estando insuficientemente calcinados, cuando lo han sido a temperaturas altas, presentan una tonalidad café o rojiza, con algunos granos negros. El color no es factor de mucha importancia, pero suele indicar a menudo su grado de calcinación.

Hechura.- Es la acción de formar o crear, en este caso al ladrillo. La hechura de los refractarios, sí reviste transcendencia debido a que cuando presentan superficies irregulares requieren largas y gruesas juntas de arcilla al pegarse, lo que debilita mucho su resistencia, si entendemos que estas son las partes débiles y las más prontamente destruidas por la abrasión y la escoria. Esta propiedad varía según el método por el cual a sido fabricado.

Textura.- Es la forma como está construido el ladrillo, de ella depende, en gran parte la durabilidad de él. Así uno de textura fina puede resistir más tiempo la acción de la escoria y de los gases del combustible. En cambio el que la tenga porosa, es menos resistente pero los dos son sensibles a los cambios de calor y tienden a romperse cuando se calientan o enfrían rápidamente.

Los ladrillos de grano fino tienen una estructura cerrada y presentan pocos granos gruesos en la superficie, en su debida proporción, las partículas más gruesas forman el esqueleto del ladrillo, actuando las finas como liga que produce una estructura recia y durable.

Cuando un ladrillo se calienta a una temperatura suficientemente alta y prolongada algunos de los constituyen-

tes de él empiezan a fundirse y gradualmente forman una masa densa que toma un aspecto lustroso y es entonces cuando se -- dice que el ladrillo esta vitrificado.

Si un material está suficientemente expuesto a -- temperaturas altas, la vitrificación se desarrolla, perdiendo de está manera el refractario su forma.

Porosidad.- Es la calidad de los intersticios que separan a las moléculas de los cuerpos. La porosidad es debida principalmente a las diminutas separaciones entre las partículas sólidas del ladrillo y pueden variar considerablemente, según como sea fabricado el material. Así, un ladrillo -- hecho por el proceso húmedo tiene menor porosidad y por lo -- tanto, menor resistencia a la variación de la temperatura, -- pero, en cambio es altamente resistente a la escoria, corrosión y abrasión, lo contrario pasa si es hecho por el proceso seco, es muy poroso y ofrece gran resistencia a los cambios bruscos del calor.

La pureza de la arcilla y la forma de grano hace que disminuya la porosidad. Calentandose los ladrillos refractarios pueden también disminuirse, mediante la vitrificación de los intersticios primeramente ocupados por el aire.

Cuando otros materiales son mezclados con arcilla desde el punto de vista de la contracción, la porosidad se -- afecta conforme a la naturaleza y proporción de los ingredientes.

Los ladrillos también contienen impurezas, la más notoria es la fayalita ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), que es un silicato de -- fierro formado por la oxidación y solidificación del sulfato de fierro del ladrillo (pirita de fierro).

1.2.2.3.- Morteros. El estudio del ladrillo refractario no solamente debe circunscribirse a sus propiedades y características, sino que tiene un papel importante la forma y medio de ligarlos o pegarlos, seleccionandolos de manera que no solo -

funcionen a entera satisfacción, sino que en conjunto tiendan a formar una estructura monolítica fuerte y resistente capaz de soportar todos los factores de distribución propios del interior del horno.

Los morteros son combinaciones de arcillas, dos - por lo general, la primera caracterizada por su gran plasticidad y alto poder ligante de materiales no plásticos (arcilla plástica) y la segunda u otro material refractario calcinado, triturado o molido para ser utilizado como componente de mezclas (grog o chamota). Todos los morteros son formados de dos partes, el agregado y la liga.

Los principales agregados de un mortero son:

- Grog.
- Magnesita.
- Mullita.
- Formas de Alúmina Calcinada.

Los morteros en la actualidad han remplazado a la arcilla y con muy buenos resultados, las principales ventajas de la arcilla es su precio reducido en comparación con éste.

La arcilla es conveniente en construcciones provisionales en las que el ladrillo se usará para otra nueva instalación, mientras que el mortero es permanente.

El mortero tiene una refractabilidad mayor que la arcilla, fácilmente explicable, debido a que la arcilla es un producto natural y en cambio el mortero, lo es científico, -- cuya resistencia al calor puede graduarse según el trabajo a que se destine, ésta resistencia nace que no se escurra ni se ablande por fusión y permite proteger ampliamente al ladrillo

La arcilla debido a su bajo punto de fusión, se ablanda y se escurra a través del ladrillo, lo que origina -- una reacción con éste, debido a la temperatura alta, ésta circunstancia permite su destrucción.

Los morteros pueden ser se fraguado al aire o al

calor lo que constituye una ventaja según sean sus aplicaciones, ya que existen hornos o calderas en que no es posible -- económicamente dejar secar el horno durante algún tiempo. en cambio, con otros materiales refractarios pueden elevarse la temperatura sin daño alguno en su estructura.

Los morteros desarrollan una fuerza de adhesión -- que la arcilla no logra éste material cuando se deja secar -- forma con el ladrillo una fuerte liga muy difícil de desprender.

Las juntas se pueden hacer lo más delgadas que se quiera, porque el mortero está hecho de partículas sumamente finas, contrariamente a la arcilla que tiene algunas muy gruesas, éste importante detalle permite que con el mortero sea -- más fácil el trabajo. Por lo anterior expuesto se advierte la conveniencia de usar el mortero en vez de la arcilla para pegar ladrillos, propiciando así una mayor duración, pero es -- frecuente encontrar el uso de la arcilla en fundiciones pequeñas.

1.2.2.3.1.- Propiedades. Se pretende en éste material que sus propiedades sean superiores a la de una arcilla, ya que como se ha visto es el material que la puede remplazar satisfactoriamente, por lo que sus propiedades son:

Contracción.- La contracción debe ser la más aproximada a los ladrillos que une, esto es que si el ladrillo se contrae 0.01 mm el mortero debe imitarlo o tratar de hacerlo, ya que si la diferencia es mucha, surgirán grietas en las juntas.

Expansión.- Su expansión deberá ser igual a la de los ladrillos, esto es que desarrollen el mismo volumen los dos, ya que al contacto con el calor, los materiales aumentan de tamaño, si no lo hiciese también surgirán grietas como en la propiedad anterior.

Refractabilidad.- Deberá tener suficiente refractabilidad para soportar la temperatura a que se somete, sino logra este propósito, las consecuencias serían, el quemado -- del mortero, con pérdidas de sus propiedades refractarias, -- desmoronamiento y consecuentemente quedará desprotegido el -- ladrillo.

Resistencia a la escoria y al polvo del combustible.- Esto es que debe resistir los rozamientos de escoria, - combustible y metal fundido, porque sino lo posee, se obten-- drá un desmesurado desgaste de mortero y ladrillo.

Adherencia suficiente.- Debe de tener la propie-- dad de unir fuertemente al material que éste en contacto con él, por ejemplo, en la construcción de un horno, debe de adhe-- rirse con el ladrillo para formar las paredes internas del -- horno.

Reacción mínima con el ladrillo.- Porque si reac-- cionará fuertemente con él, se autodestruirían los dos muy rá-- pidamente.

Facilidad para su preparación.- Esto es que las - combinaciones para fabricarlos sean sencillas, las materias - primas abunden y se facilite la obtención de ellas en el mer-- cado.

El mortero, debido a la composición de su manufac-- tura, da la pausa para controlar todas sus propiedades que pu-- dieran perjudicar al refractario.

1.2.2.4.- Cements y Concretos. El constante aumento de las temperaturas de trabajo en los hogares de los hornos y calde-- ras, además de la necesidad de aumentar la producción de los hornos, han hecho necesario que las construcciones sean, den--

tro de lo posible monolíticas.

1.2.2.4.1.- **Cemento.** El método usado hasta hace pocos años, - que consistió en unir ladrillos en la mampostería con un mortero formado por materiales refractarios cocidos, pulverizados y una arcilla cruda, tenía el inconveniente de que al calentarse, fácilmente se disgregaba y los ladrillos no quedaban unidos, sino simplemente apisonados uno sobre otro, en estas condiciones no se puede hablar de construcciones monolíticas.

Cuando los ladrillos están unidos entre sí por el uso de un cemento refractario, puede resistir esfuerzos superiores a los que resiste cuando tiene como unión un simple --colchón de tierra refractaria.

El cemento refractario se compone generalmente de la mezcla de materiales refractarios (arcillas, cuarcita, mineral de cromo, magnesita, diásporo o minerales de silimanita cianita, bauxita, etc.) ya crudos o calcinados, a los cuales se agrega otros productos no refractarios y que poseen esencialmente plasticidad, capacidad de endurecer al aire y adherir en caliente.

Es conocido en el comercio como "cemento refractario para altas temperaturas" y sus características principales son:

- Debe ser refractario y de fácil aplicación.
- Debe fraguar en frío.
- Tener baja contracción por secado.
- Coeficiente de dilatación aproximadamente ---- igual al ladrillo sobre el que se aplica.
- Resistencia a la carga a cualquier temperatura
- Resistencia a la corrosión por las escorias.

1.2.2.4.2.- **Concreto.** Son mezclas de materiales refractarios, de adecuada granulometría, con agregado de un cemento resis--

tente al calor, que asegure el fraguado hidráulico cuando se mezcla con agua, dando paso a una fuerte liga que se desarrolle a temperatura ambiente.

Estos materiales se instalan en forma muy similar a la del concreto estructural, ya que puede instalarse por vaciado, vibrado apisonado o por medio de proyección neumática. Otra ventaja es que se puede fabricar piezas especiales que se necesiten de emergencia con costo y tiempo relativamente bajos. También puede ser empleado ventajosamente, para construir el revestimiento aislante detrás de las paredes refractarias, lo cual permitirá reducir el espesor de estas últimas y lograr así:

- Menor absorción de calor por las paredes refractarias.
- Mayor eficiencia de aislación.
- Más rápido enfriamiento de las paredes del horno.
- Conseguir más rápidamente las temperaturas deseadas en el ambiente del horno.
- Economía de combustible

1.2.2.5.- Plásticos y apisonables. Estos materiales vienen a resolver el problema, que no tenía solución en su totalidad por los productos comunes, como es la plasticidad, compactabilidad y relleno adecuado en cuarteaduras y orificios pequeños encontrados en las paredes de los hornos, bóvedas, calderas, etc.

Los materiales plásticos como su nombre lo indica son materiales que contienen la propiedad de poderse moldear fácilmente, por lo que no requiere ninguna preparación posterior para su uso.

Los plásticos se usan frecuentemente para cubrir las exigencias de aislamiento en calderas y tuberías. Su composición esencialmente es de la mezcla de fibras de amianto y

diatomita con aglutinantes.

Los plásticos super-refractarios, pueden en ocasiones remplazar al ladrillo, además es ideal para recubrir revestimientos de bóvedas, bocas de quemadores de petróleo y también para efectuar resanes parciales. Se recomienda para temperaturas de 1800°C.

Los refractarios apisonables, son materiales granulares de diversas composiciones que se pueden aplicar por compactación, algunos de ellos requieren de una pequeña adición de agua. Son muy útiles en aquellos lugares donde se requiere una baja porosidad, con la cual mejorará la resistencia a la penetración de escorias y un mínimo de humedad.

En términos generales es aconsejable el empleo de los apisonables donde su menor plasticidad y moldeabilidad no constituya un problema para una aplicación satisfactoria. También puede decirse que donde las condiciones de empleo son demasiado severas para los plásticos, los apisonables resisten satisfactoriamente.

1.3.- PROCESOS DE FABRICACION DE LOS REFRACTARIOS.

En la elaboración de los productos refractarios, existen varios procesos por los cuales se pueden obtener estos materiales, algunos muy sencillos como el de la arcilla, que después de obtenerla de yacimientos se tamiza únicamente e inmediatamente está lista para su comercialización, mientras que en otros es necesario un estudio muy minucioso para poderlos conseguir, ya que será un producto científico.

1.3.1.- PROCESOS PARA LA OBTENCION DE LA ARCILLA. La arcilla siendo la materia prima de los refractarios debe obtenerse fácilmente, porque, es una de las principales características para poder ser el constituyente principal en estos materiales tan importantes en la industria.

El proceso de obtención es muy sencillo, ya que -

se conseguirá en bruto de los yacimientos, en los cuales se -
 lograra su extracción con pico y pala, un método muy rústico
 pero efectivo, para después pasar a la separación de lo más -
 posible de impurezas, habiendo terminado este trabajo, se pa-
 sará a la transportación a lugares donde se tamizará, esto se
 debe realizar en tamices de cobre, en las tablas 1.3 y 1.4 --
 mostramos las características de los tamices.

TABLA 1.3

CARACTERÍSTICAS DE LOS TAMICES

Mv del tamiz	Cantidad de agujeros		Dimensión de los agujeros	
	por 1 cm. lineal	por 1" lineal	en cm.	en pulgadas
1	2	3	4	5
2,5	1,0	2,0	5,00	0,315
3,0	1,2	3,0	6,72	0,265
3,5	1,4	3,6	5,60	0,223
4,0	1,7	4,2	4,76	0,187
5,0	2,0	5,0	4,00	0,157
6,0	2,3	5,8	3,36	0,132
7,0	2,7	6,8	2,83	0,111
8,0	3,0	7,9	2,38	0,094
10,0	3,5	9,2	2,00	0,079
12,0	4,0	10,8	1,68	0,066
14,0	5,0	12,5	1,41	0,0567
16,0	6,0	14,7	1,19	0,0484
18,0	7,0	17,2	1,00	0,0404
20,0	8,0	20,2	0,84	0,0331
25,0	9,0	23,6	0,71	0,0278
30,0	11,0	27,5	0,59	0,0234
35,0	13,0	32,3	0,50	0,0197
40,0	15,0	37,0	0,42	0,0166
45,0	18,0	44,7	0,35	0,0139
50,0	20,0	52,4	0,297	0,0117
60,0	24,0	61,7	0,250	0,0098
70,0	29,0	72,5	0,210	0,0083
80,0	34,0	85,5	0,177	0,0070
100,0	40,0	104,0	0,149	0,0059
120,0	47,0	120,0	0,125	0,0049
140,0	55,0	143,0	0,105	0,0041
175,0	66,0	169,0	0,088	0,0035
200,0	79,0	200,0	0,074	0,0029
230,0	93,0	233,0	0,062	0,0025
270,0	106,0	270,0	0,053	0,0021
325,0	125,0	323,0	0,044	0,0017

FUENTE: G.V. Duderov, Tecnología de la Cerámica
 y Materiales Refractarios.

TABLA 1.4
CARACTERISTICAS DE LOS TAMICES

Nº del tamiz	Mallas por cm ²	Dimensión de las mallas en cm ²	Diámetro del alambre en mm.	Observaciones
1	1	6,00	4,00	En los análisis por medios mecánicos de arcillas refractarias y caolinos, se utilizan los tamices No 30, 70 y 100. Para el estudio de la chauxita y la cuarcita: No 1, 2, 6, 11 y 12, y a veces No 30 y 60.
2	4	3,00	2,00	
3	9	2,00	1,33	
4	16	1,50	1,00	
5	25	1,20	0,80	
6	36	1,00	0,65	
8	64	0,75	0,50	
10	100	0,60	0,40	
11	121	0,54	0,37	
12	144	0,49	0,34	
14	196	0,43	0,28	
16	256	0,385	0,24	
20	400	0,300	0,20	
24	576	0,250	0,17	
30	900	0,200	0,13	
40	1600	0,150	0,10	
50	2500	0,120	0,08	
60	3600	0,102	0,065	
70	4900	0,088	0,055	
80	6400	0,075	0,050	
100	10000	0,060	0,040	

FUENTE: G.V. Duderov, Tecnología de la Cerámica y Materiales Refractarios.

1.3.2.- PROCESO PARA LA OBTENCION DEL LADRILLO. El estudio del proceso mediante el cual están hechos los ladrillos de arcilla refractaria, significa conocimientos más extensos en las propiedades y características de estos, no solo de su resistencia al calor, sino del como esta realizado, pues con este conocimiento sabremos si el material podrá adaptarse a un trabajo determinado. Los ladrillos se hacen por dos procesos diferentes, el húmedo y el seco.

1.3.2.1.- Proceso Húmedo. El ladrillo hecho por este método tiene una consistencia arriba del punto crítico y por lo tanto, es necesaria una fuerza considerable para darle forma a la arcilla. Estos refractarios hechos así, se producen forzando el material a través de un dado, el cual emerge en columna la que puede cortarse en diferentes longitudes según el tama-

ño del producto deseado.

La columna es forzada a través del dado por un -- pistón operado a presión, lo que origina un proceso intermi-- tente. Antes de formarse la columna de arcilla se agrega a la mezcla una cierta cantidad de agua para darle resistencia ade-- cuada. Debe advertirse que esta operación suele dificultarse porque la arcilla tiene a menudo partículas gruesas. Ya corta-- dos los ladrillos, se llevan a la prensa y al secador. Los la-- drillos fabricados por éste proceso húmedo son de estructura recia y fuerte, fáciles de cortarse y bastante resistentes a la abrasión y a la escoria.

1.3.2.2.- Proceso Seco. En este proceso, la arcilla asume -- la consistencia de un polvo húmedo que contiene de 7 a 10 por ciento de agua y solamente bajo presión puede consolidarse en una masa homogénea.

Las mezclas de arcilla refractaria se muelen tos-- camente cuando su grosor no es el adecuado, después se colo-- can en depósitos para a continuación, recombinarse y molerse a una fisura fina, hecho lo anterior, la mezcla se temple y -- se agita durante veinticuatro horas para alimentar por último las máquinas de prensado.

Este proceso está extendido en la industria debi-- do a sus propiedades, entre las cuales se encuentra; la uni-- formidad de tamaño, buena resistencia a la disgregación y ge-- neralmente con un buen aguante para la carga.

La textura granular abierta que caracteriza éste proceso, es la influencia benéfica con respecto a la expan--- sión y contracción cuando se calienta.

Fallas que puede tener este proceso:

- Tratamientos impropios del material crudo.
- Presión insuficiente.
- Incompleta calcinación.

- Usos inconvenientes del ladrillo. Los ladrillos hechos por este proceso no se adaptan al ataque de la abrasión y a la escoria.

Inconvenientes del proceso:

- Gran costo del equipo.
- Reparación igualmente costosa.
- Escasa resistencia a la abrasión.
- Menor durabilidad de los ladrillos donde entran en contacto con escorias fundidas, polvos y gases.

Condiciones de manufactura:

- La arcilla cruda y la calcinada deberán ser cuidadosamente mezcladas y el tamaño de las partículas deberá ser adecuado para que el ladrillo tenga una textura conveniente.
- La humedad en la mezcla deberá ser uniformemente distribuida hasta que tenga la consistencia pastosa de una masa semiseca. La proporción de agua no deberá exceder de 10 por ciento.
- La presión aplicada a los ladrillos deberá ser bastante grande durante un cierto tiempo. Los ladrillos prensados rápidamente son quebradizos y están sujetos a disgregación.
- Algunos ladrillos hechos por éste proceso quedan defectuosos si no están suficientemente calcinados.

Los ladrillos refractarios se diferencian fácilmente por sus propiedades físicas y químicas que varían ampliamente. En la tabla 1.5, mostramos algunas de las composiciones típicas de los ladrillos refractarios, además en la -

tabla 1.6, se mostrará algunas de las propiedades de estos materiales y también exponemos un diagrama del proceso de fabricación.

TABLA 1.5

COMPOSICIONES TÍPICAS DE LADRILOS DE ARCILLA Y DE ALTO CONTENIDO DE ALÚMINA *

Tipo de ladrillo	Porcentaje			
	Bóxido (SiO ₂)	Alúmina (Al ₂ O ₃)	Tiósido (Fe ₂ O ₃)	Otros Óxidos
Arcilla				
Servicio tipo rudo, su- perior	49-53	40-44	2.0-2.5	3-6
Servicio rudo, aluminao	51-60	35-40	1.7-3.3	3-6
Stam-alica	72-80	18-24	1.0-1.5	1.5-2.5
Servicio mediano	57-70	25-36	1.3-2.1	4-7
Servicio corriente	60-70	22-33	1.0-2.0	5-8
Alto contenido de alúmina				
80% de alúmina	41-47	47.5-52.5	2.0-2.8	3-4
60% de alúmina	31-37	57.5-62.5	2.0-3.3	3-4
70% de alúmina	20-26	67.5-72.5	3.0-4.0	3-4
80% de alúmina	11-15	77.5-82.5	3.0-4.0	3-4
90% de alúmina	8-9	89-91	0.4-0.8	1-2
95% de alúmina	0.5-1.0	98-99	Alej	0.6

* Cortesia de Harbison-Walker Refractories Co.

FUENTE: H.F. Taylor, Fundición para Ingenieros

TABLA 1.6

PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILOS REFRACTARIOS *

TIPO	CLASE	CARACTERÍSTICAS
Alto contenido de alúmina	99% de alúmina 80% de alúmina 85% de alúmina 80% de alúmina 70% de alúmina 50% de alúmina 50% de alúmina	Alta refractabilidad, que aumenta con el contenido de alúmina. Alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas. Resistencia al desmenuamiento entre excelente y buena. Mayor resistencia que el ladrillo de barro refractario a la corrosión bajo la acción de la mayoría de las sustancias básicas y de las fundiciones.
Arcilla refractaria	Servicio rudo	Estabilidad de volumen y alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas. Excelente resistencia al desmenuamiento térmico. Buena resistencia a las sustancias altamente ácidas. Buena resistencia a las sustancias básicas.

TABLA 1.6 (Continuación)

PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS*

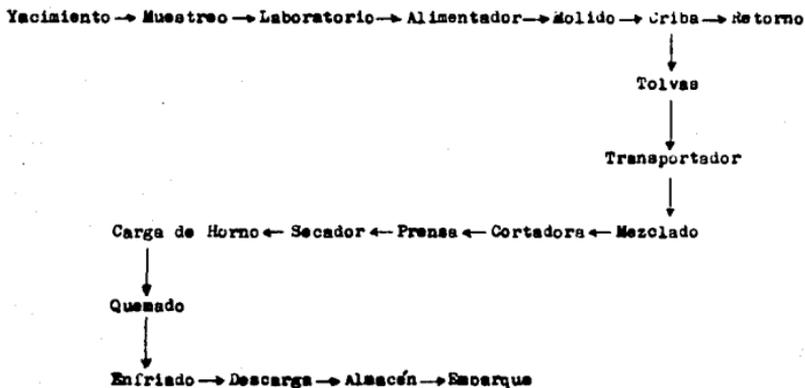
TIPO	CLASE	CARACTERÍSTICAS
Arcilla refractaria	Servicio rudo Servicio mediano Servicio corriente	Las propiedades físicas y químicas de las arcillas refractarias varían dentro de amplios límites; por lo tanto, el ladrillo de arcilla refractaria puede conseguirse con combinaciones que varían ampliamente. Esta hecho contribuye a la variedad de aplicaciones de servicio bajo condiciones de operación ampliamente diferentes. La mayoría de los ladrillos de arcilla refractaria tienen una resistencia al diagregamiento relativamente buena, así como un buen valor de aislamiento térmico. Media resistencia a las escorias y fundentes ácidos, poca resistencia a las escorias y fundentes básicos.
Arcilla refractaria	Semi-álitico	Rígidos bajo carga a temperaturas elevadas. Resistencia al diagregamiento estructural. Estabilidad de volumen. Resistencia a la penetración y al ataque de álcalis o vapores volátiles. Alta temperatura de vitrificación incipiente.
Slíce	Servicio rudo Convencional	Alta refractabilidad y resistencia a la abrasión. Alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas. Conductividad térmica a altas temperaturas apreciablemente mayor que la mayoría de los ladrillos refractarios de servicio rudo. Alta resistencia a la corrosión bajo la acción de escorias ácidas. Media resistencia al ataque de los ácidos de calcio, magnesio y hierro. Las escorias básicas y el flúor la atacan rápidamente. No está sujeto a diagregamiento térmico arriba de 650°C, poca resistencia al diagregamiento térmico a temperaturas bajas.
Magnesita	Calcínada 88-90% de magnesio. Más del 90% de magnesio. Aglomerada químicamente, con caja metálica.	Refractabilidad extraordinariamente elevada, y alta conductividad térmica. Gran resistencia a la corrosión bajo la acción de escorias básicas; poca resistencia a la acción de escorias que contienen altos porcentajes de sílice. El ladrillo aglomerado químicamente y con caja de metal tiene una gran resistencia al diagregamiento.†
Cromo	Calcínado	Alta resistencia a la corrosión bajo las escorias y fundentes básicos y moderadamente ácidos. En general, las escorias básicas no se adhieren al ladrillo de cromo. Bajo ciertas condiciones poseen, además, el sílice de hierro se absorbido y forman una suspensión vítrea. La conductividad térmica es más baja que la del ladrillo de magnesita, pero mayor que la del ladrillo de arcilla refractaria.
Magnesita-cromo	Aglomerado químicamente. Aglomerado químicamente, caja de metal. Calcínado	Resistencia mecánica y estabilidad de volumen a temperaturas elevadas. Excelente resistencia al diagregamiento.† Alta resistencia a la corrosión bajo la acción de escorias básicas.
Cromo-magnesita	Aglomerado químicamente. Calcínado	Resistencia mecánica y estabilidad de volumen a temperaturas elevadas. Resistencia al diagregamiento † entre escorias y buenas. Alta resistencia a la corrosión bajo la acción de las escorias básicas.
Fuente (aislante de magnesita)	Calcínado	Alta refractabilidad. Excelente resistencia a altas temperaturas. Gran resistencia a la corrosión bajo la acción de compuestos alcalinos. Media resistencia a la mayoría de las escorias básicas; es atacado por escorias ácidas.

* Cortesía de Harbison-Walker Refractories Co.

† Puesto que los refractarios básicos son menos resistentes al choque térmico que los refractarios de arcilla refractaria y de alto contenido de alúmina, los términos empleados para expresar la resistencia relativa al diagregamiento del grupo básico denotan meramente una comparación entre un grupo, y no con los demás refractarios.

FUENTE: H.F. Teylor, Fundación para Ingenieros

Diagrama del Proceso de Fabricación de los Tabiques Refractarios.



FUENTE: Ruiz Flores Javier, Estudio del Proceso y Formas Propuestas en una Compañía de Productos Refractarios.

1.3.3.- **ESPECIALIDADES REFRACTARIAS.** Se conoce como especialidades refractarias a todo serie de productos refractarios, especialmente preparados para efectuar revestimientos especiales, monolíticos, parches, etc.

Entre estas especialidades encontramos a morteros cementos, concretos, plásticos y apisonables.

1.3.3.1.- **Procesos para la Obtención del Mortero.** Estos materiales se usan para unir laurillos, remplazando a la arcilla como ya se mencionó, se puede fabricar de cualquier material refractario.

Los morteros refractarios se pueden clasificar en dos grupos que son: Los de fraguado en caliente o los de fraguado al aire, dependiendo de si necesitan calor o no para desarrollar su liga.

Los morteros de fraguado en caliente incluyen arcillas refractarias de alta plasticidad y fino molido, mezclas de materiales crudos y calcinados, generalmente tienen un agregado de elementos plásticos.

Los morteros de fraguado al aire consisten de materiales refractarios finamente molidos y mezclados con agentes químicos que permiten su fraguado al aire, pudiendo ser este por hidratación o por secado.

1.3.3.2.- **Procesos de Fabricación del Cemento y del Concreto.** Como ya se mencionó, son mezclas de materiales refractarios previamente molidos y cribados con agentes químicos que reaccionan con la adición de agua para dar origen a una fuerte liga que se desarrolla a temperatura ambiente, cuando se calientan, la liga inicial desaparece y a la vez se forma otra más fuerte. Generalmente se envasan en forma seca y al mezclarse con agua están listos para usarse.

1.3.3.3.- **Procesos de Fabricación de los Plásticos y Apisonables.** Estos productos son una mezcla íntima y en proporcio-

nes determinadas de materiales refractarios en estado natural o calcinados, con o sin otro ingrediente, que mezclados y amagados con agua adquieren plasticidad para moldearse en el lugar donde se utilice, formando estructuras monolíticas.

Las mezclas utilizadas con frecuencia para estos materiales refractarios son cromita, magnesita o de los componentes de ellas mismas.

1.4.- TIFOS DE REFRACTARIOS Y SUS USOS.

En el estudio de cualquier producto, es necesario investigar que utilidad se le puede dar a cada uno de ellos, los materiales refractarios, tienen una gran variedad y es lógico pensar que poseen cualidades diferentes unos de otros, - por lo tanto se les da usos apropiados para cada caso específico.

En este trabajo, se mencionarán los tipos y usos apropiados de los materiales refractarios nacionales y extranjeros con el propósito de distinguir sus características.

1.4.1.- Materiales Refractarios Nacionales. Como se ha mencionado existen una gran variedad de productos refractarios y en México no es la excepción. Aunque los fabricantes nacionales son muy pocos, ya que la mayoría son extranjeros. Los materiales nacionales serán mencionados en los puntos siguientes.

1.4.1.1.- Arcillas, Morteros, Apisonables, Plásticos y Concretos. Estos materiales los mencionamos a continuación:

Arcilla Aluminosa.- Es una arcilla de alta refractabilidad, cuyo contenido en óxido de aluminio es mayor del 45%, es un refractario de costo elevado, pero muy solicitado, especialmente para objetos de porcelana, núcleos de bujías de encendido y utensilios de laboratorio.

Arcilla Diásporo.- Es un material constituido esencialmente por granos de diásporo ligados por una arcilla que se caracteriza por su dureza, poco plástica y que a veces se presenta en forma de placas o laminas. Comercialmente se le denomina "flint", generalmente se utiliza para recubrimientos de hornos.

Magnesita.- Se presenta en la naturaleza como carbonato, en dos tipos que generalmente pueden ser, forma cristalina y densa. Su uso está en los recubrimientos de hornos.

Silimanita.- Es un mineral parecido a la andalucita y cianita, pero de estructura cristalina diferente. Se utiliza grandemente en la fabricación de refractarios.

Arcilla Bola.- Es una arcilla de grano fino, se caracteriza por su gran plasticidad y alto poder ligante. Este material es utilizado como liga en los refractarios.

Pirofilita.- Es un óxido de magnesio cristalino, es el principal constituyente de los refractarios básicos. Se ha utilizado en algunos refractarios en lugar de arcilla, sin embargo a tenido éxito en algunos cementos y plásticos.

Bauxita.- Es un mineral de alto contenido en óxido de aluminio hidratado. Se emplea principalmente para revestimientos de hornos de acero de solera, el ladrillo de bauxita suele ser desplazado en la actualidad por el de diásporo.

Arcilla Refractaria 5-B y 10.- Es un producto de un contenido de sílice del 56.52% y alúmina de 27.8%, con una temperatura máxima de servicio de 1500°C. Se recomienda para ser empleadas en instalaciones que demandan un bajo costo de mantenimiento como, reparaciones de hornos de cubilote, piso y paredes de ollas de vaciado, canales de hornos eléctricos,

etc.

Arcilla Refractaria 16N y 20N.- Es un producto de sílice del 56.52% y alúmina 27.8%, con una temperatura máxima de servicio de 1500°C. Se usan con buenos resultados para sentar ladrillos en aquellos lugares donde las condiciones de -- operación sean moderadas y no requieran de una adherencia buena, permitiendo recuperar el ladrillo en buenas condiciones.

Daimont.- Es un mortero de contenido de alúmina - del 67.68%, con una temperatura de servicio de 1800°C. Se usa para unir ladrillos refractarios en los que se necesita una - alta adherencia en las juntas.

Ultralum.- Es un apisonable que contiene alúmina en un 59.61%, con una temperatura de servicio de 1700°C. Se - emplea en los revestimientos de hornos rotatorios y en los de fundición de hierro.

Piriplast.- Es un plástico refractario, cuyo contenido de alúmina es de 35.37%, con una temperatura de servicio de 1500°C. Se utiliza en parches de ollas receptoras de - hierro y acero, excepto los aceros especiales, también se emplea en canales y orificios de sangrado de cubilotes.

Lithokon.- Es un concreto refractario, con un contenido de alúmina de 36-38%, con una temperatura máxima de -- servicio de 1370°C. Se emplea en paredes de ducto de la ras-- tra en hornos de cemento.

Estos son algunos tipos y usos de los productos - nacionales, en la tabla 1.7, se mostraran otros productos que se elaboran en México.

TABLA 1.7
Refractarios para la industria

	PRODUCTO	CONTENIDO DE ALUMINA	RECOMENDACION GENERAL DE APLICACION	TEMPERATURA MAXIMA DE SERVICIO
ARCILLAS	ARCILLA No. 8-B-N Malla	96.52 % SiO ₂ 77.81 % Al ₂ O ₃	Preparaciones de hornos de soplidos, pises y paredes de alas de vacilado, simple de hornos eléctricos, etc.	1800°C
	ARCILLA No. 10-N Malla	96.52 % SiO ₂ 77.81 % Al ₂ O ₃		1800°C
	ARCILLA No. 16-N Malla	96.52 % SiO ₂ 77.81 % Al ₂ O ₃	Se usan con buenos resultados para montar ladrillos en aquellos lugares donde las condiciones de operación sean moderadas y no requieren de una gran adherencia, permitiendo resquear el ladrillo en buen estado, si es necesario.	1800°C
	ARCILLA No. 20-N Malla	96.52 % SiO ₂ 77.81 % Al ₂ O ₃		1800°C
MORTEROS SECO	DAIMONITE	87.40 % Al ₂ O ₃	Para unir ladrillos refractarios en los que no se requiere una alta adherencia en las juntas.	1800°C
	MORTERO EXTRA	96.52 % SiO ₂ 77.81 % Al ₂ O ₃		1400°C
MORTEROS	DURALIG-44	33.11 % Al ₂ O ₃	Para unir ladrillo refractario de acuerdo al porcentaje de alúmina que compongan los productos refractarios que se voyan a aplicar.	1800°C
	BURMELIG 1200	23.12 % Al ₂ O ₃		1800°C
	DURALIG-62	33.11 % Al ₂ O ₃ 86 % SiO ₂		1800°C
	SUPERLIG ALC-3E	53.41 % Al ₂ O ₃ 37.01 % SiO ₂		1800°C
	MEGALIG	66.10 % Al ₂ O ₃ 26.80 % SiO ₂		1750°C
	ALTALEX 80 L.F.	80 % Al ₂ O ₃	Para pegar ladrillos refractarios hasta un 80 % de alúmina.	1800°C
	ALTALEX 80 L.F.	80 % Al ₂ O ₃		1800°C
AFORNABLES	ULTRALUM 80	50.61 % Al ₂ O ₃	Para revestimiento de hornos rotatorios, para fundir hierro.	1700°C
	ULTRALUM 70	79.72 % Al ₂ O ₃	Centros de bobinas de hornos eléctricos de arco cuando se usa ladrillo de no más de 80 % de alúmina. Pises y chaffones en alas de vacilado.	1750°C
	ULTRALUM 80 PHS	79.82 % Al ₂ O ₃	Centros de bobinas de hornos eléctricos de arco, centros de hornos rotatorios para fundir cobre y bronce. Revestimientos completos de hornos resqueados para fundir hierro y acero, pises de alas de vacilado, revestimientos completos de alas resqueadas de hierro, pises y casetes, distribuidores de calada continua, canales y paredes de tratado de hornos de inducción para fundir cobre y bronce.	1800°C
	ULTRALUM 80 MD	81.68 % Al ₂ O ₃		1800°C
	ULTRALUM 80 MDX	83.67 % Al ₂ O ₃		1800°C
	CORALUM 80 L.F.	80.82 % Al ₂ O ₃	Revestimientos completos de hornos basculantes para fundir cobre y bronce. Bobinas en hornos rotatorios de cemento. Centros de bobinas de hornos eléctricos de arco, pises y revestimientos en alas de vacilado y torpeda.	1800°C
	CORALUM 80 L.C.	80.82 % Al ₂ O ₃		1800°C

TABLA 1.7 (Continuación)
Refractarios para la Industria

	PRODUCTO	CONTENIDO DE ALUMINA	RECOMENDACION GENERAL DE APLICACION	TEMPERATURA MAXIMA DE SERVICIO
PLASTICOS	FIROPLAST	38-37 %Alúmina	Parches en alas receptoras de hierro y tierras excepto los aceros especiales. Canales y orificios de sangrado de cubiertas.	1800°C
	PROTOPLAST	42-48 %Alúmina	Revestimientos completos en cubetas receptoras de hierro, parches en alas receptoras de hierro y aceros. Chapales para-pared de hornos de laminación, canales de hornos de sulfato y orificios de sangrado de las mismas.	1800°C
	DUROPLAST	68-61 %Alúmina	Especificaciones ligeras.	1800°C
	PLASTILEX A-60	68-61 %Alúmina	Revestimientos completos de cucharas receptoras de hierro producidos en hornos de inducción, rotatorios y basculantes. Canales y orificios de sangrado de cubiertas, parches en alas receptoras de acero, para sales de hornos de plomo y bauxita.	1800°C
	PLASTILEX A-70	68-71 %Alúmina	Revestimientos completos en alas receptoras de hierro y aceros, parches de las mismas, parches en alas receptoras de aceros especiales. Béquiles de hornos de tratamiento térmico y resacañadores. Canales de cubiertas y orificios de sangrado de las mismas.	1800°C
	PLATILEX A-80 MD	78-80 %Alúmina	Centros de bóvedas de hornos eléctricos de arco. Revestimientos de cucharas receptoras de hierro y parches de las mismas. Tapas completas de pequeños hornos, eléctricos de arco, parches en alas receptoras de acero, canales de sulfato y orificios de sangrado de las mismas.	1700°C
	CORAPLAST 80 L.C.	80 %Alúmina		1800°C
	CORAFOS 80 L.P.	80 %Alúmina	Para aplicar en tablas de descarga de hornos de cemento, para sales de hornos de aluminio, en enfriadores planetarios.	1800°C
	CARBOPLAST	68-66 %Alúmina	Revestimientos de trabajo en zona de fusión de cubetas tipo "ENGLE". Revestimientos de cucharas para hierro gris.	1800°C
	CONCRETOS	LITHOKON	38-38 %Alúmina	Paredes del ducto de la resaca en hornos de aluminio.	1370°C
PIROKON		32-38 %Alúmina	Paredes de hornos de laminación. Bóvedas expandidas de hornos de recalentamiento. Murallas en el hogar de los calderos. Carros de coque en hornos no continuos. Fabricación de levas estacionadas para diques en general. Para niveles pisos de alas y distribuidores de coque continuo. Repleno de toladores de alas y distribuidores. Pisos de distribuidores y esparcos. Pisos de coque en hornos de inducción y de arco.	1370°C
SUPERKON		40-42 %Alúmina	Paredes de hornos de laminación. Carros para pisos de tratamiento térmico. Bóvedas expandidas de hornos de recalentamiento. Tizas de hornos de cal. Tapas de hornos de gas. Revestimiento de trabajo de hornos de inducción de tipo arco. Revestimientos de hornos de inducción a canal. Revestimientos de trabajo mermolitos en hornos de inducción en núcleo. Pisos y pisos de alas de vaciado. Pisos y canales de distribuidores.	1600°C
ALUKON		80 %Alúmina	Para todo tipo de piezas monolíticas, como buehallas para quemadores de hornos de laminación y tratamiento térmico, techos suspendidos de hornos de fundición y recalentamiento, tapas de alas de vaciado en aceras, revestimientos y parches de alas para recibir hierro líquido, etc., ya que posee buena resistencia en contacto con aceros e hierro fundido y con gases ácidos.	1800°C
ALUKON CT-601		88 %Alúmina		1800°C
ULTRAKON		48-48 %Alúmina	Revestimiento de trabajo en hornos de (reducción) oxidación de manganeso. Pisos para el tablo de hornos de cemento. Quemadores eléctricos y ductos en precalentadores en hornos de cemento.	1800°C
MEGAKON		80 %Alúmina 11 %Silice	Para cucharas de descarga de hornos rotatorios, para traves en enfriadores de hornos rotatorios para parches del horno rotatorio y todas las zonas en que se requiere alto poder refractario. Resistentes a la abrasión.	1700°C
ALTOKON		84-88 %Alúmina	Crisoles para fundir estaño, plomo y zinc. Bóvedas de hornos de cemento, centros de bóvedas de hornos eléctricos de arco. En mezcladores de metal caliente. En la canal de colado de construcción monolítica y área total de baño de metal. Pícaras de las cámaras de escoria en hornos tipo Siemens-Martin.	1800°C

TABLA 1.7 (Continuación)
Refractarios para la Industria

PRODUCTO	CONTENIDO DE ALUMINA	RECOMENDACION GENERAL DE APLICACION	TEMPERATURA MAX. A LA QUE SE PUEDE USAR
ARCOMEX		Parchador en la línea de escoria de los hornos de arco con revestimiento de alta alúmina.	1500°C
PLASTOFRAX 75% HUM.		Parchador para hacer reparaciones en caliente.	1700°C
MAGNOPLAST	38-42% Alúmina	Parches en caliente en todo tipo de instalaciones refractarias, sus variaciones son de acuerdo con el porcentaje de alúmina que contiene cada ladrillo refractario. Fosos de molinos calientes.	1500°C
MAGNOPLAST SUPER	66-70% Alúmina		1800°C
MAGNOPLAST 80-85	78-82% Alúmina		1850°C
MAGNOPLAST 80 HUM.	78-82% Alúmina		1850°C
OLLAMIX	Datos técnicos a solicitud		Variable según necesidades.

FUENTE: Catálogo de la Industria Barro Mex S.A. de C.V.

La mayoría de los refractarios de sílice son hechos en forma de ladrillo o creaciones especiales, esta suele utilizarse como recubrimiento de hornos.

Una pequeña cantidad de arena de playa es usada en recubrimientos de hornos.

En Europa la arena de vidrio es agregada a la cuarcita en la manufacture de tabiques de sílice, principalmente para incrementar su pureza.

Los refractarios de magnesia son de gran importancia en la metalurgia del acero y metales no ferrosos, son utilizados casi exclusivamente en las partes de los hornos que están más en contacto con el material fundido y se aplica en forma de masa de recubrimiento o en el tabique.

1.4.1.2.- Tabiques. Tanto la A.S.T.M., como la Dirección de Normas, hacen una clasificación de los ladrillos dividiéndolos en: Calidad superior, alta calidad, calidad intermedia, - baja calidad, además están los ladrillos de semi-sílica y los ácidos resistentes que están hechos de una arcilla especial y

se aplica en forma de masa de recubrimiento o en el tabique.

Ladrillo de Calidad Superior.- Son materiales que contienen de 40 a 44% de alúmina, son los más refractarios entre todos los ladrillos de arcilla. Son usados en las necesidades extremas, cuando se requiere la resistencia a temperaturas altas.

Ladrillo de Alta Calidad.- Son materiales con un contenido de alúmina de 38-40%, 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 los de calidad superior y a la vez son más baratos.

Ladrillo de Calidad Intermedia.- Son materiales - que resisten temperaturas de 1660°C. Su contenido de alúmina es menor de 36% y se usan en lugares donde se requiere un ser vicio de condiciones moderadas.

Ladrillo de Baja Calidad.- Son materiales que resisten temperaturas de 1430°C. Sus aplicaciones principales - son como revestimientos posterior, atrás de refractarios de - mejor calidad.

Ladrillo de Semi-Sílica.- Son materiales con un - contenido de sílice entre 72 y 80%, también con un bajo contenido de óxido alcalino. Cuando están en servicio forman una - capa superficial vitrificada que retarda la penetración y corrosión por fundentes y reduce la desintegración estructural.

Ladrillo Acido Resistente.- Se emplea en los re-- vestimientos de los tabiques de ácido, equipo químico y pisos de trabajo. Sus principales propiedades son alta densidad y - resistencia a la acción destructiva de ácidos, líquidos o ga-

ses.

Ladrillo de Alta Alúmina.- Los refractarios de sílica 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 contenido intermedios. Estos materiales ofrecen la ventaja de ir cubriendo gradualmente refractabilidades superiores, se pueden usar hasta los 1890°C, son muy resistentes al ataque químico de escorias y gases.

Ladrillo de Sílica.- La materia prima usada para la fabricación de los ladrillos de sílica se conoce como cuarza (mineral de cuarzo) y debe contener como mínimo 98% de sílice (SiO_2). Se fabrican dos clases de estos materiales como son:

- a) De calidad superior que contiene de 0.2 a --- 0.5% de alúmina, óxido de titanio y alcalinos
- b) De calidad regular que contienen más de 0.5% y menos de 1.0% de alúmina.

Estos productos se utilizan en bóvedas que trabajan a temperaturas elevadas.

Ladrillos Básicos.- Estos materiales incluyen a todos los fabricados con magnesita calcinada, dolomita, cromita, etc., siendo el principal componente la magnesita.

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

- A) Ladrillo de Magnesita.
 - a) Fabricados con magnesita de alta pureza -- (periclasa) y que contiene más de 93% de magnesita (MgO).

- b) Los convencionales que contienen de 87 a 93% de magnesita.
- c) Los de forsterita magnesita, que contienen aproximadamente 90% de magnesio.

B) Ladrillo de Cromita.

C) Ladrillo de Magnesita-Cromita y Cromita-magnesita.

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

D) Ladrillo de Forsterita.

Estos productos son fabricados con un mineral constituido por soluciones sólidas de ortosilicatos, de fórmula empírica $2MgO \cdot SiO_2$ en el cual el MgO son óxidos de magnesio, hierro y algunas veces manganeso (olivina) y con adiciones de magnesita.

E) Magnesita-Alquitranada y Magnesita-Dolomita.

Estos materiales son usados sobre todo para hornos de fusión de acero.

Las principales características de los ladrillos básicos son:

- Gran resistencia al ataque químico por escorias básicas.
- Alto punto de fusión.
- Expansión térmica relativamente alta.

Ladrillo Refractario Aislante. - Son ladrillos porosos y de bajo peso que tienen una conductibilidad térmica - mucho menor que los refractarios comunes y una capacidad de - retención de calor superior a cualquier ladrillo que tenga -- una composición similar. Se fabrican de diversos materiales - tales como; una tierra constituida principalmente de sílice - proveniente de organismos vegetales denominados diatomeas. - Se caracterizan por su alta porosidad y bajo peso específico aparente (tierra diatomea), también de vermiculita, que es un material constituido por silicato de aluminio hidratado, - además de una roca vítrea silicea (perlita), etc.

Los ladrillos aislantes se usan principalmente en la parte posterior de otros ladrillos de alta refractabilidad y elevada conductibilidad térmica, aunque en algunas ocasiones se pueden utilizar directamente como revestimiento de tra bajo si no hay abrasión, ataque de escoria o contacto con líquidos. En la tabla 1.8, se mostrara las aplicaciones de los ladrillos refractarios según su análisis y en la figura 1.3, las formas de colocación del ladrillo aislante.

TABLA 1.8

APLICACIONES DE LOS LADRILLOS REFRACT. SEGUN SU ANALISIS.	
Aplicación.	Composición en %
Altos hornos:	3
Hogar y parte baja	40 alúmina o más.
Vientre y cuba	40 alúmina o más.
Parte superior	43 alúmina.
Horno de aire caliente	34 alúmina.
Horno de acero Siemens-Martin:	
Bóvedas, quemadores y paredes de costado	96 sílice.
Cámara de escoria	43 alúmina.
Puertas del horno	34 a 43 alúmina.
Regeneradores, paredes y conductos de coronas	96 sílice y 34 a 43 alúmina.
Arcos suspendidos para calderas y hornos en general	38 a 43 alúmina.
Posiciones espe. donde hay temperaturas extremas	53 alúmina.
Calderas tubulares de agua:	
Arriba	38 alúmina.
Abajo	43 alúmina.
Productores de gas:	
Especial	43 alúmina.
Ordinario	34 alúmina.
Hornos de reverbero	38 a 43 alúmina.
Hornos para hojalata	38 a 43 alúmina.
Hornos de coque	96 sílice.
Hornos a petróleo y carbón pulverizado:	
Arriba	43 alúmina.
Abajo	38 alúmina.

FUENTE: Ernitz Anatalio, Manual de Combustibles, Aislantes y Refractarios.

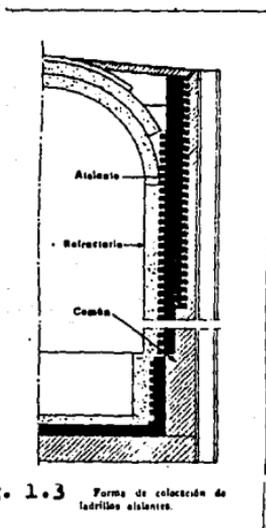


Fig. 1.3 Forma de colocación de ladrillos aislantes.

FUENTE: Ernitz Anatalio, Manual de Combustibles, Aislantes y Refractarios.

1.4.2.- **MATERIALES REFRACTARIOS EXTRANJEROS.** Los refractarios, no solo se utilizan en la industria de la fundición, sino que en la industria en general, por ejemplo, en la industria del hierro y acero, estos materiales se emplean en el recubrimiento de los altos hornos de fundición de sus metales. En cuanto a los servicios públicos, se utilizan en centrales productoras de energía eléctrica y gas, locomotoras, etc. Los revestimientos refractarios son necesarios para la fundición y refinado de los materiales, producción de aleaciones, hornos de cemento, vidrio, alambiques de petróleo, etc.

En la tabla 1.9, se muestra el porcentaje de empleo de los refractarios en E.E.U.U.

TABLA 1.9
Empleo de los refractarios en E.E.U.U.

Industria	Porcentaje %
Hierro y Acero	50
Servicios Públicos	20
Metales no Ferrosos	6
Cemento y Cal	5
Fabricación de Vidrio	5
Refinado de petróleo	4
Cerámica	3
Varios	7

FUENTE: Beteman, Alain Mara, Yacimientos Mineros de Rendimiento Económico.

Como podemos ver donde mayormente se usa el refractario es en la industria del hierro y acero, siguiéndole servicios públicos y la fundición de metales no ferrosos.

En México predomina mucho la importación de productos refractarios y de tecnología para producirlos, por este motivo hablaremos de estos materiales extranjeros, a continuación mencionaremos algunos tipos y usos de ellos:

Minro-Fire Cast F80.- Es un cemento refractario de alta alúmina con aglomerante. Se utiliza para revestir ollas, tapas de hornos, bases y pedestales para hornos de inducción sin núcleo. Puede utilizarse también para cubiertas de hornos y de colada.

Minro-Al Cast A20.- Es un cemento refractario muy alto en alúmina fusionada con aglomerante. Se utiliza como revestimiento en la garganta y en el cuerpo superior de hornos de inducción.

Minro-Al Cast A41.- Es un cemento de contenido al

to en alúmina con aglomerante. Se utiliza para coronas y ---- otros componentes estructurales de hornos de inducción sin núcleo, así como su parte superior, también para revestir ollas y otros equipos de transferencia y de sostenimiento de fusión

En la tabla 1.10, presentamos un análisis químico de estos materiales.

TABLA 1.10
Análisis químico de cementos refractarios

Análisis Químico	F80	F20	F41
Al ₂ O ₃	60.0% ..	89.3% ..	95.5%
SiO ₃	33.0% ..	0.4% ..	0.1%
Na ₂ O .....	..	..	0.2%
CaO	3.0% ..	1.8% ..	3.6%
Fe ₂ O ₃	1.0% ..	0.2% ..	0.2%
TiO ₂ .....	..	1.5% ..	..
SiC .....	..	6.6% ..	..
Ctros	3.0% ..	0.2% ..	0.4%
Temperatura Máxima Recomendada	..... 1650°C ..	1705°C ..	1815°C

FUENTE: Catálogo de la Industria Minro.

Minro-Al Ram A27.- Es un refractario de muy alto contenido de alúmina, con un aglomerante que endurece por calor a baja temperatura. Se utiliza como revestimiento para -- fundir aluminio en hornos de inducción sin núcleo y de canal.

Minro-Al Ram A28.- Es un refractario parecido al anterior o sea que tiene un alto contenido de alúmina, con -- carburo de silicio y aglomerante que endurece por calor a baja temperatura. Se utiliza como revestimiento para fundir metales no ferrosos en hornos de inducción sin núcleo y de cal.

Minro-Al Ram A29.- Es un refractario de contenido muy alto de alúmina con carburo de silicio y aglomerante que endurece por calor a baja temperatura. Se utiliza como revestimiento para fundir hierro en hornos de inducción de canal.

Minro-Al Ram A31-W.- Es un refractario húmedo apisonable de contenido muy alto de alúmina con un aglomerante arcilloso y con 34% de agua. Se utiliza como revestimiento para fundir hierro en hornos de inducción de canal.

Minro-Al Ram A33-W.- Es un refractario parecido o semejante al anterior pero, con un contenido de agua de 3.2%. Se utiliza como revestimiento para fundir metales no ferrosos en hornos de inducción de canal.

En la tabla 1.11, presentamos un análisis químico de estos materiales.

TABLA 1.11

Análisis químico de refractarios de alúmina fusionada.

Análisis Químico	A27	A28	A29	A31-W	A33-W
Al ₂ O ₃	92.0%..	87.5%..	88.7%..	89.0%..	86.0%
SiO ₂	4.0%..	3.8%..	3.6%..	7.0%..	3.6%
TiO ₂	2.0%..	2.3%..	2.3%..	2.0%..	1.7%
Fe ₂ O ₃	0.2%..	0.5%..	0.5%..	0.6%..	0.2%
SiC .....	..	3.7%..	3.7%..	..	7.9%
Otros	1.8%..	2.2%..	1.2%..	1.4%..	0.6%
Temperatura Máxima Recomendada	1650°C.	1650°C.	1705°C.	1760°C.	1650°C

PUENTE: Catálogo de la Industria Minro.

Minro-Al Ram A52.- Es un apisonable con muy alto contenido de alúmina, contiene también óxido de magnesio. Se utiliza en revestimientos de hornos de inducción sin núcleo, para fundir aleaciones ferrosas a temperaturas altas (entre - 1595°C y 1785°C).

Minro-Al Ram A51-W.- Es un refractario húmedo, -- apisonable, con muy alto contenido de alúmina. Contiene también óxido de magnesio y además 4% de agua. Se utiliza en revestimientos de los inductores, gargantas, pisos y las paredes de las partes superiores de los hornos de inducción de canal. También se utilizan en hornos de inducción sin núcleo. - Está diseñado para fundir hierro, aleaciones de hierro y cobre níquel.

Minro-Al Patch A53-W.- Es un refractario con muy alto contenido de alúmina. Contiene también un aglomerante -- que endurece al aire y 4.8% de agua. Se utiliza para parchar y sellar un gran número de revestimientos.

Minro-Al Ram A60-W.- Es un refractario con alto contenido de alúmina y con un aglomerante fosfático. Se utiliza como revestimiento en hornos de inducción para todas las aplicaciones a temperaturas entre 425°C y 815°C.

En la tabla 1.12, presentamos un análisis químico de estos materiales.

Ladle Vibe 60.- Es un refractario que contiene -- alúmina y un aglomerante que endurece por calor a baja temperatura. Se utiliza como revestimiento de ollas y otros equipos de transferencia, además en la mayoría de aplicaciones ferrosas y no ferrosas.

Ladle Vibe 88.- Es un refractario similar al ante

rior. Se utiliza también como revestidor de ollas y otros -- equipos de transferencia, además en la fundición de acero y - otros metales ferrosos.

En la tabla 1.13, presentamos un análisis químico de estos materiales.

TABLA 1.12

Análisis químico de refractarios de alúmina tabular.

Análisis Químico	A52	A51-W	A53-W	A60-W
Al ₂ O ₃	93.8% ..	93.8% ..	95.0% ..	95.8%
SiO ₂	0.7% ..	0.7% ..	2.8% ..	0.2%
Na ₂ O	0.3% ..	0.3% ..	1.4% ..	
CaO	0.1% ..	0.1% ..		
MgO	4.8% ..	4.8% ..		
Fe ₂ O ₃	0.1% ..	0.1% ..	0.2% ..	0.1%
P ₂ O ₅				3.9%
Otros	0.2% ..	0.2% ..	0.3% ..	
Temperatura Máxima Recomendada	1785°C ..	1760°C ..	1815°C ..	1815°C

FUENTE: Catálogo de la Industria Minro.

TABLA 1.13

Análisis químico de refractarios Ladle Vibe

Análisis Químico	LV 60	LV 88
Al ₂ O ₃	60.0%	86.5%
SiO ₃	38.0%	5.5%
TiO ₂	2.0%	3.0%
Fe ₂ O ₃		2.0%
Otros		3.0%
Temperatura Máxima Recomendada	1650°C	1760°C

FUENTE: Catálogo de la Industria Minro.

Minro-Mag Ram M17.- Es un refractario a base de magnesio calcinado con adición de alúmina. Se utiliza como revestimiento en las aplicaciones menos rigurosas en hornos de inducción sin núcleo al aire y al vacío.

Minro-Mag Ram M20.- Es un refractario a base de magnesio calcinado, utilizado como revestimiento en aplicaciones más rigurosas para fundir acero en hornos de inducción -- sin núcleo, se utiliza también como refuerzo para crisoles de magnesio.

En la tabla 1.14, presentamos un análisis químico de estos materiales.

TAHILA 1.14

análisis químico de refractarios de magnesio.

Análisis Químico	M17	M20
MgO	77.4%	97.4%
CaO	0.8%	0.9%
Al ₂ O ₃	18.2%	0.2%
SiO ₂	2.9%	0.8%
Fe ₂ O ₃	0.3%	0.5%
TiO ₂	0.2%	
Otros	0.2%	0.2%
Temperatura Máxima Recomendada	1760°C	1815°C

FUENTE: Catálogo de la Industria Minro.

Minro-Al Plastic A75.- Es un plástico que contiene 75% de alúmina y un aglomerante de ácido fosfórico, resiste una temperatura máxima recomendada de 1650°C. Se utiliza para sellar y parchar todo tipo de revestimientos en hornos de inducción en la fundición de hierro y metales no ferrosos.

Minro-Al Plaster A78.- Es un mortero de 78% de -- alúmina similar al plástico anterior, pero que puede trabajar se con mayor facilidad. Se utiliza para parchar todo tipo de superficies refractarias.

Minro-Al Plastic A91.- Es un plástico de muy alto contenido de alúmina (90%), y con un aglomerante de ácido fosfórico. Se utiliza para sellar y parchar en todo tipo de operaciones de fundición.

Minro-Al Plaster A93.- Es un mortero de muy alto contenido de alúmina (90%), similar al plástico anterior, pero que puede trabajarse con mayor facilidad. Se utiliza para parchar todo tipo de superficies refractarias en aplicaciones muy rigurosas.

1.5.- FACTORES QUE RIGEN LA ELECCION DE REFRACTARIOS.

Muchos son los factores que afectan la vida de -- los materiales refractarios y la combinación de los mismos es tan extensa que en la mayoría de los casos da lugar a condiciones de trabajo que impiden generalizar los resultados experimentales obtenidos.

A continuación se enlistarán algunos de los factores generales que indirectamente o directamente afectan la duración del refractario:

A).- Factores que Dependen del Combustible o Combustión.

- Carácter y naturaleza del combustible.
- Carácter de las cenizas o fundentes que lo componen.
- Cantidad de cenizas o fundentes que lo componen.

- Sistema de combustión.
- Longitud de la llama.
- Dirección de la llama y golpe sobre el refractario.
- Fusibilidad o viscosidad de las cenizas.

B).- Factores que Dependen del Diseño y Construcción del Hogar.

- Volumen del hogar.
- Espesor y altura de las paredes.
- Provisión de agua o aire indirecto para enfriamiento.
- Grado de aislación.
- Tipo de bóveda del hogar (parrilla mecánica).
- Altura de la bóveda.
- Tolerancia y juntas de dilatación.
- Mano de obra en la colocación.
- Tipo de cemento empleado.

C).- Factores que Dependen del Funcionamiento -- del Hogar.

- Infiltración de aire por las paredes.
- Temperatura de trabajo.
- Carácter de la atmósfera del hogar.
- Presión o depresión en el hogar.
- Cuidado y rapidez en las reparaciones -- menores.
- Abrasión del ladrillo.
- Método seguido para remover la escoria.

1.6.- ENSAYOS Y PRUEBAS.

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:

- A) Cono Pirométrico.
- B) Módulo de Ruptura.
- C) Resistencia a la Compresión.
- D) Deformación Bajo Carga.
- E) Cambio Lineal.
- F) Despostillamiento Térmico.
- G) Cambio de Volumen.
- H) Densidad.
- I) Volumen Exterior.
- J) Absorción de Agua.
- K) Gravedad Específica Aparente.
- L) Densidad Total.
- M) Porosidad Aparente.

1.6.1.- CONO PIROMETRICO. Esta es la prueba más importante o si no una de ellas.

Las series originales de conos pirométricos fueron desarrolladas alrededor del año de 1890 por el Dr. Sager, director de las fábricas reales de porcelana de Berlín, Alemania. Posteriormente fueron perfeccionadas por el profesor Edward Orton, de la Universidad del Estado de Ohio. En el año de 1926, el "Bureau of Standard" de los Estados Unidos crea un nuevo sistema de calibraciones de temperatura para los conos Orton. Este método de prueba cubre un procedimiento para determinar el cono pirométrico equivalente (CPE) de arcilla refractaria, sílica y ladrillo, por comparación de conos de prueba y conos equivalente standard o normales.

Se debe obtener una muestra que no sea mayor de -

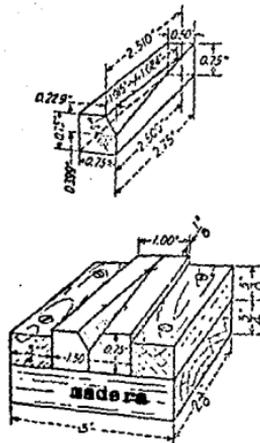
9.63 cm. de su partícula, se mezcla cuidadosamente y se reduce por cuarteos sucesivos hasta dejar solamente unos 2.50 gr. se muele en un mortero de ágata de porcelana o de acero duro y se reduce por cuarteo nuevamente hasta obtener una cantidad de 50 gr. de material, el cual debe pasar por una malla No. - 65 (No. 70 de la A.S.T.M.), con el objeto de evitar una reducción excesiva de tamaño durante la molienda, se debe también tamizar periódicamente la muestra.

La muestra seca deberá mezclarse perfectamente y agregarse una cantidad suficiente de una substancia gomosa -- que se extrae del almidón (dextrina), goma de traganto o cualquier otro aglutinante orgánico libre de álcali y una cantidad apropiada de agua. Con esta mezcla y en moldes metálicos, se forman unas pirámides triangulares truncadas, con base a un ángulo pequeño del eje triangular y con las dimensiones -- siguientes: altura total 28.57 mm., longitud de las aristas -- en la extremidades truncadas 0.79 mm., longitud de las aristas mayores de la base 7.14 mm., la base forma un ángulo externo de 82° con una de las caras de la pirámide y es perpendicular al plano de simetría a través del canto opuesto de la misma. Cuando los conos de prueba están secos, se puede someter a una coacción preliminar a una temperatura que no excede de 1300°C, con el objeto de hacerlos manejables (ver las fig. 1.4 y 1.5).

Los conos para ensayo se montan en placas redondas fabricadas de un material refractario cuya composición no afecte la fusibilidad del cono. Se colocan con la base incrustada unos 3 mm. en la placa y una de sus caras inclinada a -- 82° de la misma. Los conos de prueba deben ir alternados con los conos naturales (ver fig. 1.6).

Para esta prueba se prefiere un horno en el cual se tenga una atmósfera neutra y oxidante, evitándose así condiciones de reducción excesiva. Además se debe tener cuidado de que la llama no toque directamente a los conos o a la placa.

molde del lado izq.



Mold Assembly

Fig. 1.4 -molde para cono pirométrico

FUENTE: A.S.T.M., Métodos Standard
de Prueba.

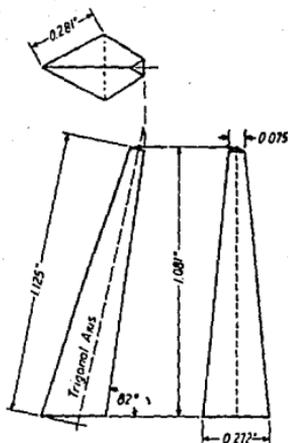


Fig. 1.5—Standard Pyrometric Test Cone.

FUENTE: A.S.T.M., Métodos Standard de Prueba.



Fig. 1.6—Method of Mounting Test Cones and Appearance After Testing.

FUENTE: A.S.T.M., Métodos Standard de Prueba

El ablandamiento del cono estará indicado por una inclinación del mismo en tal forma que la cúspide toque la --placa de sostén. El número del cono de prueba será aquel que corresponda al cono pirométrico normal que se ablanda aproximadamente al mismo tiempo.

En las tablas, 1.15, 1.16 y 1.17, daremos más información respecto a temperaturas, punto de fusión de conos - Sager y una escala del método "Bureau of Standard".

TABLA 1.15

Cone Interval	Time Interval	Cumulative Time
Cold test furnace to:		
Cone 12.....	45 min	45 min
Cone 13.....	5 min	50 min
Cone 14.....	10 min	1 hr 0 min
Cone 15.....	12 min	1 hr 22 min
Cone 16.....	26 min	1 hr 48 min
Cone 17.....	9 min	1 hr 57 min
Cone 18.....	4 min	1 hr 59 min
Cone 19.....	8 min	2 hr 7 min
Cone 20.....	9 min	2 hr 16 min
Cone 23.....	15 min	2 hr 32 min
Cone 26.....	7 min	2 hr 39 min

FUENTE: A.S.T.M., Método Standard de Prueba

TABLA 1.16

Cone Interval	Time Interval	Cumulative Time
Cold test furnace to:		
Cone 20.....	45 min	45 min
Cone 23.....	15 min	1 hr 1 min
Cone 26.....	7 min	1 hr 8 min
Cone 27.....	7 min	1 hr 15 min
Cone 29.....	8 min	1 hr 23 min
Cone 31.....	16 min	1 hr 39 min
Cone 31½.....	6 min	1 hr 45 min
Cone 32.....	7 min	1 hr 52 min
Cone 32½.....	7 min	1 hr 59 min
Cone 33.....	7 min	1 hr 59 min
Cone 34.....	9 min	2 hr 8 min
Cone 35.....	9 min	2 hr 16 min
Cone 36.....	7 min	2 hr 23 min
Cone 37.....	7 min	2 hr 30 min

FUENTE: A.S.T.M., Métodos Standard de Prueba.

TABLA 1.17

Case No.	End Point		Case No.	End Point	
	Deg F	Deg C		Deg F	Deg C
12.....	2459	1387	31.....	2061	1683
13.....	2460	1349	31½.....	2090	1699
14.....	2648	1398	32.....	2122	1717
15.....	2808	1450	32½.....	2125	1724
16.....	2716	1491	33.....	2199	1748
17.....	2754	1512	34.....	2205	1763
18.....	2772	1522	35.....	2245	1785
19.....	2806	1541	35.....	2279	1804
20.....	2847	1564	37.....	2308	1820
23.....	2921	1605	38.....	2335	1835*
26.....	2950	1621	39.....	2389	1865*
27.....	2984	1640	40.....	2425	1885*
28.....	2995	1646	41.....	2578	1970*
29.....	3018	1659	42.....	2656	2015*
30.....	3029	1666			

FUENTE: A.S.T.M., Metodos standard de Prueba.

1.6.2.- **MODULO DE RUPTURA Y RESISTENCIA A LA COMPRESION.**
 Estas pruebas, que son para medir la resistencia de los materiales, son ampliamente conocidas, en la mayoría de los casos se efectúan en frío y no siempre son representativas del comportamiento del material bajo condiciones de operación. En -- aproximación de igualdad en el análisis químico van directamente en función de todas las variables como son: peso por 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 -- reuna alto peso por volumen, baja porosidad aparente, granulometría fina, para que los poros sean lo más cerrados posible.

En la prueba de módulo de ruptura, se utilizan -- unas muestras de tamaño normal de ladrillo o bien de una forma equivalente recortada de una pieza mayor.

La muestra de prueba, se coloca de lleno en los -- cojinetes inferiores que distan entre sí 17.78 cm y la carga se aplica a la mitad de ésta distancia por medio del cojinete superior, la cara no marcada del ladrillo se pone generalmente en contacto con el par de cojinetes inferiores o cilindros

inferiores en caso de utilizarse, la aplicación de la carga - no debe ser mayor de 0.13 cm. por minuto. La velocidad de carga cuando se usa una máquina hidráulica, será de 1814.4 Kg. - por minuto, se admite una tolerancia de ±10%, tanto en las -- hidráulicas como mecánicas.

El módulo de ruptura se reporta en Kg/cm² y se -- calcula por la fórmula siguiente:

$$R = \frac{3 W L}{2 b d^2}$$

Donde:

R = Módulo de Ruptura en Kg/cm².

W = Carga Total en Kg. a la cual Falla - la Muestra.

L = Distancia entre los Soportes en cm.

d = Ancho de la Muestra en cm.

b = Espesor de la Muestra en cm.

1.6.3.- **DEFORMACION BAJO CARGA.** Esta prueba resulta ser - una de las más importantes y significativas de las que se -- efectúan rudimentariamente a los materiales refractarios, nos da a conocer el comportamiento de ellos en condiciones muy -- semejantes a las que soportan durante el uso, la prueba con-- siste en medir la deformación que sufre una muestra al suje-- tarse a una presión determinada y temperatura, la cual desde luego, se debe aproximar a la que normalmente trabaja el la-- drillo cuando se instale.

La prueba de la deformación bajo carga en calien-- te nos da pues una medida de la tenacidad de un ladrillo con respecto a otro, de mantener sus medidas originales cuando se sujete a las condiciones de la prueba.

1.6.4.- **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, manteniéndola un número de horas y luego permitir libre enfriamiento, puede sufrir cambios en sus dimensiones, los cuales pueden ser contracciones o expansiones, estos se reportan como por ciento de cambio lineal del espécimen bajo prueba, -- relacionando dicha variación con la longitud original antes del experimento.

Los cambios de dimensión de un material son, generalmente muy 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 concentración, las consecuencias pueden ser un derrumbe, despostillamiento general o un agrietamiento excesivo de la construcción.

El método de prueba cubre un procedimiento para -- determinar el cambio lineal de ciertos tipos de materiales -- refractarios, cuando son calentados a condiciones específicas

El tamaño de las muestras debe ser el comercial o normal, 229 mm. de largo, 226 mm. de ancho y 66 mm. de espesor o bien formas recortadas en estas dimensiones de piezas -- mayores, se marcarán con pintura de cerámica y deben medirse cuidadosamente sus longitudes antes y después de la prueba. Generalmente se usan tres muestras para dicho ensayo y tres -- como soporte de las mismas dimensiones.

Las muestras se colocarán en el horno en tal forma que descansen en el ladrillo de soporte de las mismas dimensiones, el cual deberá ser del mismo lote e igual refractabilidad.

Se debe poner entre soporte y muestra una capa de diáspora calcinada o aluminio en grano. Cada muestra se colocará a una distancia no menos de 3.8 cm. de la otra o de las paredes del horno.

El cambio lineal dependerá de las medidas iniciales, finales y será el promedio de las tres muestras.

$$\% \text{ C. L.} = \frac{L_1 - L_f}{L_f} \times 100$$

Donde:

L_1 = Longitud Inicial.

L_f = Longitud Final.

1.6.5.- **DESPOSTILLAMIENTO TÉRMICO.** Se define como despostillamiento térmico, a la pérdida de fragmentos de la cara expuesta de un refractario debido a grietas y roturas originadas por cambios bruscos de temperatura. La determinación de esta prueba se efectúa calentando un panel 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.

Este tipo de despostillamiento es cuando por los esfuerzos resultantes de un desigual crecimiento o encogimiento de las diferentes partes de un ladrillo que provoca la aparición de esfuerzos internos entre capas.

Los esfuerzos pueden llegar a ser de tal magnitud que agrietan el ladrillo y provocan la formación de fragmentos que constituyen el despostillamiento térmico. Podemos decir, que un ladrillo será resistente al choque térmico cuando posee una mínima expansión térmica.

1.6.6.- **CAMBIO DE VOLUMEN.** Se calcula a partir de tres dimensiones antes y después del calentamiento, también se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$V = \frac{V_o - V_f}{V_o} \times 100$$

Donde:

V = Cambio de Volumen por Ciento.

V_o = Volumen Original.

V_f = Volumen Final.

1.6.7.- DENSIDAD. Para esta prueba se utiliza las mediciones promedio individuales de la longitud y anchura. El espesor de la muestra se reporta como el promedio de la altura de 10 ejemplares divididos entre el mismo número.

En la determinación de la densidad cada una de las muestras es pesada y se toma el promedio, el cual se divide entre el volumen promedio obtenido a partir de las dimensiones anteriores.

$$D = \frac{\text{Peso (gr.)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

1.6.8.- PRUEBAS QUE SE DETERMINAN POR FORMULA. Estas pruebas las podemos determinar por métodos fáciles, puesto que las resolvemos por medio de las operaciones matemáticas, en las cuales interviene una sola incógnita y lo demás son datos

1.6.8.1.- Volumen Exterior. El volumen exterior "V" (cm³), de las muestras de prueba, se obtiene respetando el peso suspendido "S", que se determina después del proceso de ebullición, al peso saturado "W", se determina en gr. pesado en aire hasta aproximadamente 0.1 gr., por lo tanto el volumen exterior se determina por medio de la fórmula siguiente:

$$V = W - S$$

1.6.8.2.- Absorción de Agua. Se expresa como porcentaje en la relación del peso de agua absorbida al peso de la muestra seca y se determina por:

$$A = \frac{W - D}{D} \times 100$$

Donde:

W = Peso Saturado.

D = Peso Seco (se determina antes de la ebullición).

1.6.8.3.- Gravedad Específica Aparente. La gravedad específica aparente "T" de la porción impermeable de la muestra, se determina por:

$$T = \frac{D}{D - S} \times 100$$

1.6.8.4.- Densidad Total. La densidad total "B" (gr./cm³), es el cociente de su peso seco dividido por su volumen exterior y se calcula como sigue:

$$B = \frac{D}{V}$$

1.6.9.- **POROSIDAD APARENTE.** Podemos decir de esta prueba, que depende de los siguientes factores: presión utilizada, -- granulometría de la materia prima utilizada, mezclado de las mismas y temperatura de quemado, si es que el producto pertenece a la variedad de ellos. Con respecto al primer factor, o sea, presión con que se prensa el material es obvia su influencia en la porosidad del material, aunque puede introducirse algunos defectos en el ladrillo al abusar de la prensa.

La granulometría del material es un factor contralador de la mejor distribución de la porosidad en el ladrillo o en un momento dado que tengamos igual número de orificios -- en un par de ladrillos, solo que alguno de los dos los tiene más grandes que el otro y desde luego algunas ocasiones con-- vendrá el primero y en otras el segundo, según el uso específico a que se piense destinar el ladrillo.

Los poros grandes que generalmente se logran con granulometría más gruesa en la materia prima, indudablemente ayuda mucho al ladrillo para resistir el choque térmico o sea cambios bruscos de temperatura, en cambio el que contiene finos, ayuda mucho a determinar los ataques químicos y las penetraciones de sustancias fundidas o semifundidas en el seno -- mismo del ladrillo.

La porosidad aparente se expresa como un porcentaje en la relación del volumen de los poros abiertos de la -- muestra con su volumen exterior y se calcula como sigue:

$$P = \frac{W - D}{V} \times 100$$

CAPITULO II

INVESTIGACION DE CAMPO

En este capítulo hablaremos sobre el trabajo de campo que se realizó, esta actividad tuvo como objetivo adentrarnos a la comercialización de los refractarios a nivel nacional y obtener un leve panorama mundial y de ésta forma enterarnos de la materia prima utilizada, así como los procesos y pruebas que se aplican a estos materiales.

Los pasos que se siguieron en esta investigación fueron los que a continuación se mencionan:

- a) Búsqueda de otros trabajos similares a éste.
- b) Captación del universo (sujeto a estudio).
- c) Elaboración de un directorio.
- d) Elaboración del cuestionario.
- e) Captación de la información.
- f) Procesamiento de datos.
- g) Análisis de información.

2.1.- BUSQUEDA DE OTROS TRABAJOS SIMILARES.

Se visitaron 10 bibliotecas y centros de información (ver anexo I), se encontraron 12 títulos que tratan el problema de los refractarios a nivel nacional y mundial.

El propósito de indagación en centros de información fue buscar un estudio de los refractarios en México. Si observamos en la bibliografía, ninguno coincide o se traslapa con este trabajo de tesis, los textos encontrados tratan sobre:

- Los materiales refractarios (tabiques y arcillas) para fundición.
- Los procesos del caolín y su aprovechamiento como materia prima para los refractarios.
- Los yacimientos mineros en el mundo.
- Los aislantes y refractarios como arenas y tabiques.
- Estudio y selecciones de los morteros y ladrillos refractarios para locomotoras.
- Estudio del proceso y formas propuestas en una compañía de productos refractarios.
- Tecnología en los materiales refractarios y en la cerámica.
- Recomendaciones para el mejor uso de los refractarios en la industria.
- Métodos standard de pruebas para esfuerzos de aplastamiento y módulo de ruptura de tabiques de aislamiento a temperatura ambiente.
- Métodos standard para pruebas de cono pirométrico equivalente (P.E.C.) de materiales refractarios.
- Los métodos standard para pruebas de aparente porosidad, humedad, absorción, gravedad específica y densidad del tabique para ladrillos refractarios.
- Definición del material refractario.

Reiterando, como se puede observar no hacen referencia a un análisis global de los refractarios, sino que se ocupan de uno solo o de dos casos a lo más, por ello se vio la necesidad de realizar este trabajo.

2.2.- DETERMINACION DEL UNIVERSO.

Con el fin de obtener veracidad en la investigación que se plantea (análisis de los materiales refractarios

del país), fue necesario ubicar nuestro universo, este consistió en el agrupamiento de fabricantes y distribuidores. Sin embargo tomando en consideración que gran parte de las compañías ubicadas en otras entidades federativas tienen filiales en el área metropolitana o en caso contrario poseen una relación estrecha con las ubicadas en la Ciudad de México. Se tomó la decisión de considerar el universo única y exclusivamente en el área metropolitana, esta decisión se tomó también -- por motivos económicos. En el anexo II podemos apreciar que este universo está constituido por 19 compañías, de las cuales 3 son productoras del material refractario y 16 son distribuidoras.

En un principio se pensó en entrevistar exclusivamente a los fabricantes, sin embargo encontramos que el 84.3% de los negocios anunciados en la Sección Amarilla del Directorio Telefónico, son distribuidores, con esta situación deducimos que podríamos obtener información de la república si incluíamos a este sector.

2.3.- ELABORACION DEL DIRECTORIO.

Para realizar esta actividad, en primer lugar, se efectuó una visita de consulta a la Secretaría de Minas y Empresas Paraestatales, allí se nos proporcionó asesoría sobre los yacimientos, sin embargo esta información no fue conveniente introducirla, dado que estaba fuera del objetivo de este trabajo, por lo anterior la mejor alternativa fue la Sección Amarilla del Directorio Telefónico. Esta actividad concluyó en la elaboración de un listado de 19 compañías, como se indicó en el punto anterior (ver el anexo II). El directorio contiene los principales datos de las compañías de nuestro interés, estos son, nombre o razón social, teléfono, persona a entrevistar y puesto que ocupa (la recabación de los últimos datos para integrar el directorio se hizo telefónicamente).

2.4.- ELABORACION DEL CUESTIONARIOS.

Antes de elaborar un cuestionario se debe tomar - en cuenta principalmente:

- Como se aplicará.
- Cuanto y de que tiempo disponemos.
- Si se aplicará directamente o lo enviaremos -- por correo.
- Con cuantos colaboradores contamos.
- Cuantos son los entrevistados.

De acuerdo a los puntos anteriores se decidió --- aplicar el cuestionario con entrevista directa, el tiempo de aplicación se ensayó y resultó de aproximadamente de una hora

Desechamos la idea de enviarlo por correo, ya que por experiencia de otros trabajos de investigación, este medio tiene poca respuesta.

Se elaboró el cuestionario con 4 temas que son:

- Comercialización.
- Materia prima.
- Procesos.
- Pruebas.

Los puntos anteriores están compuestos de 20 preguntas abiertas y 3 cerradas, dándonos un total de 23. Estas de acuerdo a la clasificación anterior quedaron como sigue:

- De la 1 a la 6 comercialización.
- De la 7 a la 13 materia prima.
- De la 14 a la 18 proceso.
- De la 19 a la 23 pruebas.

De esta forma el cuestionario definitivo se encuentra en el anexo III, se pensó también en el cruzamiento

de la información, el cual se mostrará en este mismo capítulo

2.5.- CAPTACION DE LA INFORMACION.

En base al directorio con que se contó, se procedió a llamar por teléfono para confirmar si la compañía produce o distribuye material refractario, tuvimos que eliminar -- algunas de ellas por que no se dedicaban al ramo en cuestión.

En las compañías que confirmamos como aptas para la entrevista, procedimos primero, a dar una explicación telefónicamente a la persona de nuestro interés, para posteriormente pedir una cita, en donde nos respondería el cuestionario. La persona que generalmente nos atendió, fue el jefe de ventas.

De las 19 compañías enlistadas, con 10 tuvimos -- problemas para que nos proporcionaran la información (no se encuentra el jefe, vuelva a llamar mañana, presente una solicitud de entrevista por escrito, etc.), por lo tanto la información que presentamos en este trabajo es de 9 empresas, 2 -- fabricantes y 7 distribuidoras (ver anexo II).

2.6.- PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.

Los 9 cuestionarios con que contamos fueron procesados pregunta por pregunta, de tal manera que se obtuvieron 8 tablas, las cuales nos servirán en el análisis que se realiza a continuación en este mismo capítulo, de las tablas obtenidas, 7 consideran la respuesta a una sola pregunta y 1 analiza el cruzamiento de dos preguntas. Estas aparecen en el -- mismo orden en que se plantearon las preguntas.

2.7.- ANALISIS DE LA INFORMACION.

Para dar más credibilidad a la información que -- aquí presentamos, es preciso antes que nada, comentar las ca-

racterísticas en cuanto a información y experiencia de las -- personas que nos mostraron la información que en este capítulo presentamos.

De las personas entrevistadas el 77.7% desempeña el cargo de jefe o gerente de ventas, el 11.1% gerente de producción y el 11.1% jefe de laboratorio.

La información anterior nos muestra que la opinión de los funcionarios entrevistados tiene la posibilidad de ser usada como fuente verídica sobre el caso nacional.

2.7.1.- PRODUCTOS REFRACTARIOS CON MAYOR DEMANDA EN EL -- MERCADO NACIONAL. Como podemos apreciar en la tabla 1, señalan al Mortero, Arcilla y Tabique como los refractarios que mayor demanda tienen en el mercado nacional. Lo anterior ya se vislumbraba por lo que no es novedoso, ya que la mayoría de las instalaciones que necesitan refractarios requieren de una estructura que exteriormente puede ser de metal y por dentro debe llevar mortero, arcilla y tabique.

En la pregunta II.1 del cuestionario volvemos a insistir, pero ahora planteando cuales son los materiales que mayormente se distribuyen en el mercado nacional, como era -- lógico la respuesta fué, que los de mayor demanda desde luego son los mas distribuidos.

Tabla 1
Productos Refractarios con Mayor Demanda en el Mercado Nacional

PRODUCTO	MATERIALES INVESTIGADOS*										NÚMERO DE EMPRESAS
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
Mortero**	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6
Tabique	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5
Arcilla	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4
Concreto**									x		1
Otros	x	2									3
											Totales: 19

FUENTE: Investigación directa.

(*) A cada una de las empresas las pedimos distinguir por -- una letra, ya que para efectos de este estudio, el cuestionario se planteó con carácter confidencial.

(**) Los morteros en general que se usa son los refractarios que son utilizados para pegar o unir entre sí a otras piezas refractarias. Los concretos normalmente se utilizan para moldear formas específicas que apoyan a otros refractarios para la construcción de paredes, puertas y bóvedas.

2.7.2.- PAISES PRODUCTORES DE LOS MEJORES MATERIALES REFRACTARIOS (opinión de los funcionarios entrevistados). Los materiales refractarios que se fabrican en un país muestran en su conjunto la capacidad para generar calidad, por lo anterior planteamos la pregunta directamente y encontramos que -- países gozan de más prestigio entre los distribuidores y/o -- fabricantes del país. De acuerdo a lo observado en la tabla 2 entre Alemania y E.E.U.U. se llevan más del 50% de las opiniones, seguidos por Francia y Brasil. Es notorio el hecho de -- que dos compañías consideran a México como uno de los países que mayor calidad en refractarios tiene, desafortunadamente -- no se nos especifico las razones que tienen para considerarlo como el de mejor calidad, lo cual hubiera sido interesante.

Para reforzar la pregunta I.2 del cuestionario se planteó otra más, la I.3 (¿en que lugar ubicaría a los refractarios nacionales?), la cual no obtuvo respuesta en 7 de las compañías entrevistadas (distribuidores), sin embargo los fabricantes si respondieron y ubicaron a México, de acuerdo a su criterio en el contexto mundial. Uno de ellos considera -- que los refractarios que aquí se fabrican están colocados --- aproximadamente en el cuarto lugar, el otro específico que -- son de buena calidad.

La pregunta I.4 hizo referencia a la posibilidad de substituir a los refractarios que se encuentran en la actualidad, el 88% de los entrevistados especificaron que sí se puede substituir el material actual, esto tal vez implica que el producto que se emplea en estos días, mañana o pasado será remplazado por otro que se cree será de mejor calidad.

TABLA 2

Países Productores de los Mejores Materiales Refractarios
(opinión de los funcionarios entrevistados)

PAIS	EMPRESAS ENTREVISTADAS									ABSOLUTAS	RELATIVAS (%)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I			
Alemania	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10	9	28
E.E.U.U.	x	x	x	x	x	x	x	x	x		8	25
Francia		x	x	x	x		x	x			6	19
Brasil					x	x		x	3		4	13
México	x		x								2	6
Canada								x			1	3
Dinamarca								x			1	3
Japon									2		1	3
										TOTALES:	32	100

FUENTE: Investigación Directa.

2.7.3.- ZONAS DE LA REPUBLICA MEXICANA CON MAYOR CONSUMO DE MATERIALES REFRACTARIOS. La tabla 3 nos muestra que la zona norte, dentro del mercado nacional es la más importante -- para los distribuidores y/o fabricantes de la Ciudad de México, principalmente esto sucede por la influencia que tiene la Ciudad de Monterrey y Monclova. En segundo lugar tal parece -- que los refractarios se consumen de acuerdo a la pujanza industrial en la zona centro, resultando esto por la importancia de las compañías ubicadas en la periferia del D.F., también de importancia.

2.7.4.- PROCEDENCIA DE LA MATERIA PRIMA PARA PRODUCIR REFRACTARIOS. "Los lugares de extracción de la materia prima para la fabricación de refractarios, fueron en alguna época los pantanosos o desembocaduras de ríos"(8). Con esto podemos concluir que en Alemania y en E.E.U.U., existieron grandes lagos o desembocaduras de ríos, que al desaparecer dieron paso a la materia prima de los refractarios. También podemos apreciar en la tabla 4, que en la actualidad las compañías fabricantes de refractarios, realizan una mezcla de materias primas nacionales con las importadas para fabricar sus productos según lo expresaron.

TABLA 4
Procedencia de la Materia Prima para Producir
Refractarios

LUGAR	EMPRESAS ENTREVISTADAS									RESPUESTAS
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Alemania	x	x						x	x	4
E.E.U.U.	x	x		I	I	I	x		x	4
Zacatecas (Méx.)		x	x	M	M	M			x	3
China				P	P	P		x	x	2
Brasil	x			O	O	O			x	2
Francia				R	R	R		x	x	2
Japón				T	T	T			x	1
Guyana (Inglesa)				A	A	A		x		1
Nayarit (Méx.)				C	C	C			x	1
Pachuca (Méx.)				I	I	I		x		1
Puebla (Méx.)				O	O	O			x	1
Guajuato (Méx.)			x	N	N	N				1

FUENTE: Investigación directa.

Después de agrupar la información de los cuadros de exportación e importación encontrados en las páginas 206, 207, 209, 210, 211, 232, 247, 248, 276, 277, 298, 299, 336, - 337, 338 y 339 del Anuario Estadístico de la Minería Mexicana de 1980 y publicado en 1981, detectamos que los datos obtenidos con las entrevistas y que se muestran en la tabla 4, concuerdan con la información publicada, ya que nos mencionan a E.E.U.U. y Alemania, como los mejores países exportadores de la materia prima para la fabricación de materiales refractarios. En la tabla 4.1, mostraremos la exportación e importación de México, donde apreciamos que los principales países - a donde se exporta son Guatemala, E.E.U.U., Colombia y Chile. También podemos decir que los productos de mayor exportación son, el Sílice, Arcilla y Magnesita. Mientras que por la parte de la importación, los países que nos surten el producto - son, Alemania, E.E.U.U., Francia, Japón y Brasil. Siendo los productos, Caolín, Alúmina, Bauxita, Arcilla, Sílice, Magnesita y Dolomita. Como se aprecia en la tabla sujeta a análisis (4.1), importamos Arcilla, Sílice y Magnesita entre otros, pero estos mismos productos también los exportamos, esto parece aberrante, sin embargo la explicación podría ser en el aspecto de comercialización por empresas filiales o en lo referente a refinamiento o calidad.

Tabla 4.1
Exportación e Importación de Refractarios en México

PRODUCTO	EXPORTACIONES	IMPORTACIONES
Arcilla	Colombia, Chile, Ecuador, España, E.E.U.U., Guatemala, Nicaragua, Perú.	Alemania Federal, E.E.U.U., Francia, Reino Unido, Suecia, Suiza, Japón.
Caolín		E.E.U.U., Alemania Federal, Bélgica, Luxemburgo, Canadá, Checoslovaquia, España, Reino Unido.
Sílice	Ecuador, E.E.U.U., Guatemala, Haití, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Honduras, El Salvador, España, Honduras, Nicaragua, Panamá, Perú, República Dominicana, Uruguay, Venezuela.	Alemania Federal, E.E.U.U., Guatemala.

(*) Esta tabla abarca los años de 1979 a 1980, además se menciona la exportación e importación de México. Nos ocupamos solo de los países que contengan cifras mínimas de 10 000 Kg. (en bruto).

Tabla 4.1 (Continuación)
Exportación e Importación de refractarios en México

PRODUCTO	ORIGENES	DESTINACIONES
Alúmina	Venezuela.	Alemania Federal, Brasil, E.U.A., Francia, Inglaterra, Italia, Japón, Polonia.
Agnesita	China, E.E.U.U., Guatemala, República de Sudáfrica, Yugoslavia.	E.E.U.U., Holanda, Brasil
Dolomita	Guatemala.	E.E.U.U.
Beuxita		E.E.U.U., Brasil, China, Guyana Francesa, Guyana, Reino Unido.

FUENTE: Instituto Mexicano de Comercio Exterior.

La pregunta II.2 del cuestionario pretendía captar la procedencia de la materia prima, sin embargo reforzo el cuestionamiento que hicimos en la pregunta I.2, respecto a los países que producen refractarios, lo importante de esto es que pudimos detectar la mayor incidencia de las zonas o entidades federativas que producen materiales refractarios en México. Se aprecia en primer lugar como zona proveedora de materia prima a Zacatecas y de una manera igual tenemos a los estados de Nayarit, Pachuca, Puebla y Guanajuato.

2.7.5.- COMBINACIONES QUE SE EFECTUAN PARA LA FABRICACION DE REFRACTARIOS. Es importante realizar las combinaciones de dos refractarios diferentes, lo cual es muy usual en la mayoría de los procesos industriales, tocante a éste tema, en la tabla 5 podemos apreciar que la mayor combinación señalada es la que mezcla Caolín con Arcilla. En realidad puede éste ser considerado como un tipo de Arcilla, ya que éste forma una mezcla plástica que no encoge al ser cocido, además es muy --

TABLA 3

Zonas de la República Mexicana con Mayor Consumo
de Materiales refractarios

ZONAS	EMPRESAS ENTREVISTADAS										TOTALES
	A	B	C	D	E	F	G	H**	I*		
ZONA NORTE											11
Monterrey N.L.	x	x	x	x	x	x	x	3v			8
Coahuila								2v			1
Guadalajara								4v			1
									2v		1
ZONA CENTRO											9
Naucalpan Edo. de Méx.	x	x				x	x				4
Toluca Edo. de Mex.				x	x						2
Santa Clara Edo. de Méx.			x								1
Edo. de Méx. y D.F.											1
									1v		1
ZONA SUR.											6
Las Truchas Mich.				x	x	x	x				4
Villahermosa Tab.			x								1
									3v		1

PUENTE: Investigación Directa.

(**) La compañía "I" nos dió la información por zonas y no por entidad federativa.

(*) La empresa "H" nos dió la información de acuerdo al lugar que ocupan las entidades federativas, según su criterio.

abundante en la naturaleza, las Arcillas que no son denominadas como Caolines se subdividen en grasas y magras e incluso existe una clasificación mucho más grande (fusibles e infusibles), las verdaderas Arcillas refractarias contienen pocos óxidos metálicos y alcalis, pueden resistir temperaturas elevadas sin disgregarse. Si consideramos que el Caolin no encoque al ser calcinado y la Arcilla no se disgrega a temperaturas altas la combinación de ambos generará un refractario con mejores características con respecto a utilizar uno solo.

De la misma forma anterior, también se mezcla el tabique, que se deteriora en las maniobras de movimiento, en su proceso de fabricación o venta, con algo de arcilla. Aquí el problema es que podemos tener laurillos neutros, básicos o ácidos, pero como el fabricante o distribuidor ya los tiene clasificados esto se puede resolver, lo que si sería crítico es revolverlos sin tener conocimiento de su clasificación correspondiente.

TABLA 5
Combinaciones que se Efectuan para la Fabricación de Refractarios

COMBINACIONES	EMPRESAS ENTREVISTADAS									RESPUESTAS TOTALES	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
Caolin-Arcilla			x	x	x	x				x	5
Tabique Triturado-Arcilla			x	x					x	x	4
Mortero-Caolin					x	x			x		3
Mortero-Arcilla					x	x					2
Tabique Triturado-Caolin				x							1
Mortero-Caolin (Calcinado)									x		1

FUENTE: Investigación Directa.

2.7.6.- REFRACTARIOS RECOMENDADOS POR LOS DISTRIBUIDORES O FABRICANTES PARA DIFERENTES HORNOS. Tomando en considera--- ción que gran parte de la producción de refractarios se utili za en plantas siderúrgicas y en que dichas plantas encontra mos diversas aplicaciones, tales como recubrimientos de altos hornos, hornos de recalentamiento, hornos de hogar abierto, - etc. y que en las otras industrias dedicadas a la fundición de metales se tienen hornos de cubilote, de piso, muflas, etc Pretenderamos hacer una breve semejanza de la utilización de los materiales refractarios en la república de acuerdo a la - tabla 6 de este trabajo.

En el análisis que hicimos en la tabla 1, aprecia mos que los productos que mayor demanda tienen son la Arcilla Mortero y Tabique. Cuantificando las respuestas de las 6 com pañías del lado derecho del cuadro 6, expresamos que el Morte ro es mencionado 40 veces (para 40 aplicaciones), el Tabique se indica 31 veces y lo interesante de esta tabla es que, ya no señalan a la Arcilla como tal, pues ésta constituye parte de los parchadores, apisonables, entre otros.

Para simplificar el análisis de la tabla 6, ya -- que no es posible comentar horno por horno, hablaremos de los más importantes y de las recomendaciones que se hace para la colocación del material refractario de acuerdo a la opinión del fabricante y/o distribuidor, por ejemplo: Alto horno; --- existe diferencia en criterios, ya que dos compañías especifi can tabique, sin embargo una de ellas especifica cemento jun to con tabique y mortero. Otra compañía (D) recomienda un api sonable, mientras que dos fabricantes y una distribuidora --- aconsejan un mortero. Como se puede apreciar hay diversidad de criterios y existe distinta manera de interpretar esta pre gunta. Sin embargo con la tabla 6 creemos que se puede tener una ligera idea de la necesidad de una gama de refractarios para el uso industrial.

TABLA 6

Morteros Recomendados por los Distribuidores o Fabricantes para Diferentes Hornos.

HORNO	EMPRESAS ENTREVISTADAS							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Horno de Hogar Abierto	Alta Aldeana (Aroille), Mortero		Tabique, Aroille	Corolum (Aplonable)	Mortero, Tabique	Tabique, Mortero	Superlig (Mortero)	Alcon (Concrete)
Alta Horna	Firo, Mortero		Tabique, Aroille	Corolum (Aplonable)	Casante, Tabique		Superlig (Mortero)	Magalig (Mortero)
Horno de Recalentamiento	Firo Mortero		Tabique, Aroille	Plastilix (Plastico)			Ultralum (Aplonable)	Aluton (Concrete), Magoplast (Far.), Superlig (Mortero)
Horno Tipo Campana	H.V.F. (Aroille)		Mortero	Corolum (Aplonable)	Mortero, Tabique	Ultralum (Aplonable)	Ultralum (Aplonable)	
Horno de Tipo Eléctrico	Alta Aldeana (Aroille)	Porta Resistencias	Mortero	Corolum (Aplonable)	Mortero, Tabique	Ultralum (Aplonable)	Ultralum (Aplonable)	Aplonable, Mortero
Horno Andrica Brida	H.V.F. (Aroille)		Mortero	Superlig (Mortero)	Mortero, Tabique	Mortero, Mortero	Daimson (Mortero)	
Horno de Recalentamiento de Jca	Firo		Tabique, Mortero	Plastilix (Plastico)	Mortero, Tabique	Tabique, Mortero	Bernelg (Mortero)	Mortero
Horno de Colada	Firo		Tabique, Mortero	Corolum (Aplonable)	Mortero, Tabique	Tabique, Mortero	Ultralum (Aplonable)	
Horno para Tratamiento Termico (aullas)	Alisante Cordisco, Fluor 20 a 25	Porta Resistencias, Tubos Cordiscos	Porta Resistencias, Tubos Cordiscos	Plastilix (Plastico)	Mortero, Tabique, Porta Resistencias	Tabique, Mortero	Plastilix (Plastico)	Magoplast (Far.), Mortero
Horno de Fico	H.V.F. (Aroille)		Tabique, Mortero	Corolum (Aplonable)	Mortero	Tabique, Mortero	Ultralum (Aplonable)	Alvalig-65 (Con.), Aluson (Concrete), Plastilix (Fico), Aroille No. 16-N, Mortero
Horno de Chubote	H.V.F. (Aroille)			Superlig (Mortero)	Mortero, Tabique	Tabique, Mortero	Bernelg (Mortero)	
Horno de Empuje Mecanico	H.V.F. (Aroille)		Tabique, Mortero	Corolum (Aplonable)	Mortero, Tabique	Tabique, Mortero		
Convertidor	H.V.F. (Aroille)			Corolum (Aplonable)	Mortero, Tabique	Tabique, Mortero	Daimson (Mortero)	Aluson (Concrete), Mortero
Horno de Intercada	Alta Aldeana (Aroille)			Plastilix (Plastico)	Mortero, Tabique	Tabique, Mortero	Ultralum (Aplonable)	Aluson (Concrete), Altonon (Concrete)

FUENTE: Investigación Directa.

ESTA TESIS NO DEBE
SAIR DE LA BIBLIOTECA
79

2.7.7.- RECOMENDACIONES QUE LOS FABRICANTES Y/O DISTRIBUIDORES HACEN A SUS CLIENTES. En cualquier catálogo de productos que muestren las características de los refractarios, encontramos recomendaciones como temperatura de trabajo, procesamiento recomendados y efectos del medio ambiente en el producto, entre otros, de acuerdo con las preguntas 14, 15, 16 y 17, se puede vislumbrar de una manera muy amplia el programa de las recomendaciones a estos puntos. Referente a los rangos de temperatura que se tienen para los diferentes productos, observamos una gran coincidencia en el rango de temperatura máxima (mayoría de los refractarios) alcanza entre los 1500°C y los 1800°C, la temperatura mínima oscila entre los 600°C y los 700°C. Resultando raro que uno de los fabricantes haya señalado un rango mínimo y máximo de tres de sus productos con una diferencia de aproximadamente 60°C.

Referente al procesamiento es notoria la utilización standard de los productos, es decir 8 de 9 compañías no recomiendan en una forma especial mezclar sus productos con otros desconocidas, solo una lo hace, esto tal vez indique -- protección de la calidad o haya un motivo especial para evitar mezclarlos, por ejemplo; si mezclamos un refractario ácido con un básico tendríamos una pérdida total de lo que era el objetivo inicial del material.

Con relación al efecto que causa el medio ambiente en el almacenamiento de los productos refractarios, fue notoria la respuesta en el sentido de que a ninguno de los distribuidores les afecta el almacenamiento ó el medio ambiente (porque estos productos ya fueron amoleados o encostalados), sin embargo los fabricantes como tienen sus productos a granel deben cuidar que no estén a la intemperie.

Para el análisis de ésta información se procesaron cuadros los cuales resultaron muy pobres, por lo tanto, si desea el lector información, puede acudir a la oficina de Ciencia de Materiales, para analizar el archivo correspondiente a éste trabajo.

2.7.8.- METODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL RANGO DE --
TEMPERATURA EN MATERIALES REFRACTARIOS. Como se puede apre---
ciar en la tabla 7, hay un concenso general en utilizar los -
conos pirométricos, solo una de las compañías señaló la utili-
zación de otro método, como son pirométero óptico y pirométero
del horno. La utilización de los conos pirométricos data en -
México desde hace aproximadamente 40 años, fecha en la cual -
ya existía una de las compañías entrevistadas. Las otras pi--
den ésta prueba como requisito, si son distribuidores o la --
realizan se se trata de fabricantes.

TABLA 7

Métodos Utilizados para Determinar el Rango de Temperatura en
Materiales Refractarios

METODO	EMPRESAS ENTREVISTADAS									RESPUESTAS TOTALES	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
Cono Pirométrico	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9	
Pirométero Optico								x		1	
Pirométero del Horno								x		1	
Antigüedad en Uso del Proceso	DESDE SU FUNDACION						20	30 a			
								40			
							AÑOS Aprox.				

FUENTE: Investigación Directa.

2.7.9.- PRUEBAS QUE SE APLICAN A LOS MATERIALES REFRACTA-
RIOS. Se preguntó en forma cerrada sobre algunas de las prue-
bas que se realizan a los materiales refractarios, como era -
de esperarse todos los entrevistados contestaron que si rea--
lizan pruebas o las exigen de: Análisis Químico, Textura de -
Grano, Viscosidad, Dureza y Plasticidad, sin embargo solo los

fabricantes, como era lógico especificaron realizar otro tipo de prueba diferentes a las encajonadas por los distribuidores estas son: Quemado, Peso Volumétrico y Cambio Lineal, que se realiza en concretos, plásticos y apisonables. Además de las pruebas indicadas para los materiales anteriores, también se realizan inspecciones con Rayos X y Ultra Sonido (ver tabla - 8).

TABLE 8

Pruebas que se aplican a los Materiales Refractarios.

PRUEBA	EMPRESAS INVESTIGADAS								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	REFRACTARIO	REFRACTARIO	REFRACTARIO	REFRACTARIOS	REFRACTARIOS	REFRACTARIOS	REFRACTARIOS	REFRACTARIOS	REFRACTARIOS
Plasticidad	Arcilla, Mortero	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Flisticos, Apicables, Concretos	Flisticos, Apicables
Viscosidad	Arcilla, Mortero	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Concretos, Flisticos, Apicables	Morteros
Dureza	Arcilla, Mortero	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Concretos, Flisticos, Apicables	Todos
Textura de Grano	Arcilla, Mortero	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Concretos, Flisticos, Apicables	Todos
Determinación de Componentes Químicos	Arcilla, Mortero	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Concretos, Flisticos, Apicables	Todos
Queimado								Concretos, Flisticos, Apicables	
Peso Volumétrico								Concretos, Flisticos, Apicables	
Cambio Lineal								Concretos, Flisticos, Apicables	
Rayos X								Concretos, Flisticos, Apicables	Todos
Ultraconido									Todos

FUENTE: Investigada Directa.

CAPITULO III

YACIMIENTOS Y COMERCIALIZACION DE LOS MATERIALES
REFRACTARIOS EN MEXICO.

Siendo los yacimientos de materiales refractarios el punto de partida en la obtención de este producto y la comercialización el paso final para utilizarlo, no sera recomendable pasarlos por alto y dejarlos en el olvido, por esta razón en este capítulo los mencionaremos.

3.1. YACIMIENTOS.

Existen en la naturaleza yacimientos de materiales refractarios superficiales, pero en general y sobre todo en México los yacimientos son subterráneos, algunas ocasiones basta remover la vegetación para su explotación, operación conocida en la jerga minera como "Despalme". En otras ocasiones hay necesidad de hacer trabajos más o menos profundos para su extracción.

En México los principales estados productores de refractarios en orden de importancia son Guanajuato, Zacatecas y Jalisco, no queremos decir con esto que no se encuentran en otros estados de la república pero los mencionados son donde su explotación tiene alguna importancia. Los materiales con mayor pureza se encuentran en el estado de Guanajuato donde los yacimientos, en su mayoría son refractarios de arrastre (materiales que se conjuntan de acuerdo al deslize). En el estado de Zacatecas, el principal yacimiento se localiza en el cerro de la Bufo. Este producto tiene como principal impureza azufre, lo que lo hace limitativo para algunos usos industriales, sin embargo este yacimiento tiene --

gran capacidad y homogeneidad. En el estado de Jalisco los yacimientos principales se encuentran en la zona suroeste del estado, en donde los yacimientos son de "Boleo" o sea acumulación de material refractario.

3.1.1- **EXTRACCIONES.** En general la explotación del refractario en México se hace en forma muy poco mecanizada, en muchos casos podemos decir que rudimentaria.

Con pocas excepciones, debido a la naturaleza de los yacimientos la extracción se hace a cielo abierto por medio de trascabos, pero aún en estos casos el material se traslada en camiones a los sitios en que se procesa.

La mayor parte de las veces la extracción se hace a base de pico y pala, además es conducido a los vehículos de transporte por medio de carretillas manuales.

No existen normalmente bandas transportadoras, - quebradoras, secadoras ó molinos en los sitios de explotación. Posiblemente esto se deba a que la industrialización del refractario no ha cobrado la debida importancia.

3.1.2.- **TIPOS.** Los principales yacimientos que podemos encontrar en la naturaleza para la fabricación de materiales refractarios son los siguientes:

3.1.2.1- **Yacimiento "A".** Este yacimiento se trabaja a cielo abierto descapotado en el cerro y se puede observar que -- existen dos colores predominantes de la materia prima refractaria, ellos son blanco y rozado, generalmente el producto -- blanco es el de punto de fusión más elevado.

También se puede ver que hay lunares de material no aprovechable o que tiene un punto de fusión más pequeño -- que el blanco o el rosado, debido a la presencia de impurezas en él.

No existen fundentes o humedad apreciable en el yacimiento. Este refractario no es plástico pero tiene un --

número de cono pirométrico que oscila entre 30 y 32 lo cual le da muy buenas características de refractividad.

3.1.2.2.- Yacimiento "B". El yacimiento "B" se trabaja en diferentes frentes a cielo abierto, pero además existen túneles donde se extrae refractario. La corteza del cerro también se utiliza para obtener este material que se encuentra en la superficie en forma de boleo eliminando sus impurezas vegetales y rocas, mediante el arneado. El material explotable no homogéneo y existen varios colores en el producto, así como algunos lunares de material no aprovechable. El análisis térmico de este producto ha establecido que su número de cono pirométrico va de 28 a 32 y sus propiedades le dan características no plásticas y muy buena refractividad.

3.1.2.3.- Yacimiento "C". La forma de trabajar este yacimiento es, siguiendo un túnel principal que se encuentra en la falda del cerro, no es homogéneo el material que aquí se presenta, sino que existen varios frentes cuyos colores de refractario son blanco y ligeramente rojo, habiendo también algunos lunares de productos no aprovechables, no hay humedad apreciable ni materiales fundentes.

El refractario de este lugar no es plástico pero tiene un número de cono pirométrico igual a 30.

3.1.2.4.- Yacimiento "D". Este yacimiento es el que surte mayores cantidades de materia prima por ser el único que contiene refractario plástico. En él existen dos tipos de este producto con muy buenas características plásticas, blanco y rozado.

El refractario blanco se trabaja en la parte superior del cerro a cielo abierto y se puede observar que contiene poca humedad y que no está mezclado con fundentes ni materia orgánica sin embargo hay algunos lunares de material no aprovechable aunque en menor proporción que en los yaci-

mientos anteriores, este producto es menos plástico que el rosado pero tiene un número de cono pirométrico mayor, que oscila entre 26 y 28. El refractario rosado se trabaja siguiendo beta en el interior del cerro lo cual ha formado una serie de túneles por donde se extrae la carga en carros de mina. El material se presenta muy uniforme, con pocas impurezas, no existen fundentes, pero si una humedad apreciable. La característica más importante del refractario rosado es su elevada plasticidad que es fundamental en la elaboración de diversos productos refractarios de alta calidad, este material tiene un número de cono pirométrico que va de 20 a 26.

De los yacimientos antes descritos únicamente el "D" proporciona materia prima altamente plástica, los demás - aún cuando no sean plásticos tienen un número de cono pirométrico relativamente alto, en tales condiciones se ha encontrado que una mezcla de los materiales substraídos de algunos de los yacimientos "A", "B" ó "C", combinado con el "D" dará un producto con ambas características.

3.1.3.- YACIMIENTOS MUNDIALES. Como ya se mencionó, los yacimientos de los materiales refractarios son formados por los residuos de los lagos o desembocadura de ríos hoy extintos. A continuación en la tabla 3.1. mencionaremos algunos -- lugares importantes donde se encuentran estas materias primas

PRINCIPALES MATERIALES
REFRACTARIOS EMPLEADOS EN E.E.U.U. -

MATERIAL	FORMULAS CONSTITUYENTES	TEM. MAXIMA °C	LOGAR DE ORIGEN
ARCILLAS:			
Caolin	$SiO_2Al_2O_3$	1765	Alemania, Bélgica, Georgia, Alabama
Arcilla Refractaria	"	1744	Luisiana, Missouri
SILICE:			
Cuarzo	SiO_2	1700	Ocio, Alabama, Pen.
Cristobalita	"	"	California
Diatomita	"	1629	Nevada, California
ALTA ALUMINA :			
Sauxita	$Al_2O_3 \cdot nH_2O$	2025	Costa de Oro, Arkansas
Diasporo	"	2001	Missouri
Corindon	Al_2O_3	2331	Canada, Africa del Sur, Artificial
Grupo de la			
Sillimita	$Al_2O_3SiO_2$	1810	N. India, California Nevada, Carolina
MAGNESITA :			
Magnesita	Ca_2MgO	2800	California, Washington Manchuria
DOLOMITA	$Ca_2MgO \cdot CaO$	2465	
Feroclesa	MgO	2800	Artificial
Cromita	$FeCr_2O_3$	2050	Africa, Cuba, Turquia
VARIOS :			
Berilia	BeO	2400	Brasil, Argentina

MATERIAL	PRINCIPALES CONSTITUYENTES	TEMP. MÁXIMA °C	LUGAR DE ORIGEN
Grafito	C	Infusible	E. U. A., México Madagascar
Caliza	CO ₂ CaO	2405	En Todas Partes
Rutilo	TiO ₂	1686	Brasil, India Virginia
Torio	TaO ₂	3020	Artificial
Utrio	U ₂ O ₃	2410	"
Zircon y Baddeleyita	SiO ₂ ZrO ₂	2503	India, Brasil Australia

3.2.- COMERCIALIZACION.

Los materiales refractarios no solo se utilizan en la fundición del hierro, acero o de metales no ferrosos, - sino que también en la industria del cemento, cal, refinación de petróleo y en la fabricación de vidrio y cerámica, la cual se considera como refractario por tener las propiedades de -- éstos.

Los productos más comerciales, en el mercado nacional son los morteros, arcillas y tabiques, por tener la -- mayor demanda.

Los lugares donde se exporta con mayor frecuencia son Colombia, Chile, Ecuador, España, E.E.U.U., Guatemala Nicaragua, Perú, etc., mientras que los importadores son; Alemania Federal, E.E.U.U., Francia, Reino Unido, Suiza, Japón, España, etc.

En el mercado a los materiales refractarios los podemos encontrar de varias formas, que van de acuerdo a su presentación, por ejemplo:

Los ladrillos refractarios se fabrican en las -- dimensiones normales Inglesas de, 229 x 114 x 63 mm (9 x --- 4 1/2 x 2 1/2), y también en la forma de nueve pulgadas ó -- sea de 23.5 x 11.7 x 6.5 cm.

Así como ya mencionamos en el capítulo I, los -- refractarios se utilizan en la fabricación de diversos objetos, así sean de formas muy especiales.

Las arcillas, morteros, concretos y algunos parchadores los encontramos en sacos de 50 Kg., otros morteros, parchadores y apisonables en cubetas de 40 Kg., mientras que morteros, apisonables, plásticos y parchadores, también los -- encontramos en cajas de 35 Kg.

3.3.- PROBLEMATICA Y LIMITACIONES DEL REFRACTARIO EN MEXICO

México tiene grandes problemas que resolver para

dar a conocer su producto, ya no digamos al refractario, sino al producto elaborado en el país. Los materiales que hoy nos ocupan, son de buena calidad y competitivos a nivel mundial, en determinadas especialidades, ya que un solo producto lo -- recomiendan no solo para resolver una necesidad. Además nos -- hace falta tecnología adecuada para la sustracción de materia prima, eliminando la extracción rudimentaria con la que se -- trabaja (pico y pala), y elaboración del producto terminado, con esto evitaremos la exportación del producto como materia prima y la importación de refractario terminado, esto afecta a la economía del país y de la industria, además tenemos el -- grave problema de contar con muy pocas industrias netamente -- mexicanas que compiten con las extranjeras.

El material refractario tiene una máxima temperatura a la cual hay que trabajarlo, por eso se recomienda asesoría del fabricante ó distribuidor, para escoger el producto adecuado a sus necesidades.

El refractario como materia prima tiene muchas impurezas las cuales le pueden mermar sus cualidades, también los componentes químicos, como ya se vio anteriormente toman un papel determinante en las limitaciones del producto refractario.

3.4.- COMPARACION DE UNA EMPRESA EXTRANJERA CON UNA NACIONAL.

Para darnos cuenta más precisamente de la problemática del producto mexicano, determinamos realizar una comparación nacional-extranjera, no queremos decir que con este estudio daremos resultados precisos, pero nos ayudará a darnos cuenta en que situación nos encontramos.

3.4.1.- Nacional. Barro Mex, nace en 1939 como empresa dedicada a la extracción, molienda y venta de arcilla refractaria con el nombre de Francisco Bautista y Gómez, en la mina

de su propiedad en San Bartolo, Hgo. En 1941 se le da el nombre actual y en 1960 comienza a incursionar en las especialidades refractarias sílico-aluminosas, se inicia también la -- fabricación de refractarios de alta alúmina, contratando asesoría técnica, ya con esta tecnología se empieza a realizar -- las primeras exportaciones a Centro América.

Los principales productos trabajados por ésta -- industria mexicana son:

En arcilla encontraremos a las SB, 10, 16, 20-N, las que se recomiendan para ser empleadas en instalaciones -- que demandan un bajo costo de mantenimiento como: Reparaciones de hornos de Cubilote, Piso y Paredes de Ollas de Vaciado Canales de Hornos Eléctricos, etc., Además para sentar ladrillos en aquellos lugares donde las condiciones de operación -- sean moderadas y no requieran de una gran adherencia, permitiendo recuperar el ladrillo en buen estado, si se desea.

Los concretos son recomendados para unir ladrillos refractarios de acuerdo al porcentaje de alúmina que con tengan los productos que se vayan a aplicar.

Los apisonables de Barro-Mex disminuyen la porosidad, con lo cual mejoró la resistencia a la penetración de escorias, también desaparece aquella ligera contracción que -- todos los plásticos sufren al secarse.

En términos generales es aconsejable el empleo -- de los productos apisonables donde su menor plasticidad y mol deabilidad no constituyen un problema para una aplicación satisfactoria, también puede decirse que donde las condiciones de empleo son demasiado severas para los plásticos, los apisonables resisten satisfactoriamente.

Estos son algunos de los productos presentados -- por Barro-Mex a la clientela, en la tabla 1.7, del Capítulo I encontraremos mayor información referente a los refractarios producidos por esta industria.

3.4.2.- **EMPRESA EXTRANJERA.** Minro-sil es una empresa ---

Estado Unidense dedicada a la elaboración de productos refractarios, establecida en Columbus Ohio, E.E.U.U., es la primera empresa Norteamericana en producir el primer refractario de Sílice que tuvo éxito en el revestimiento de hornos de inducción sin núcleo. Esta empresa tiene una gran variedad de productos de Alúmina, Zircon, Magnesio, Plásticos y Morteros de Alúmina. En la tabla 3.2 encontraremos mayor información al respecto.

Realizando un análisis de estas dos industrias -- podemos darnos cuenta que la nacional se ocupa en producir -- refractarios para diversos tipos de necesidades, es decir que un solo producto lo podemos utilizar en distintas condiciones de trabajo, ya sea para hornos de cubilote, de piso ó eléctricos, en tanto que la extranjera utiliza solo sus productos -- para un solo tipo de necesidad ó dos a lo más, en este caso -- para hornos de inducción con núcleo ó sin núcleo, lo que lo -- hace un producto competitivo y con prestigio para la industria extranjera sobre la nacional.

TABLA 3.2

PRODUCTOS REFRACTARIOS MINRO

PRODUCTO DESIGNADO	PRODUCTO DESCRITO	METODO DE INSTALACION	RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION	TEMPERATURA MAXIMA (°F)
Minro-Sil Ram 1001	99% silice predominantemente con óxido de boro y óxido de boro.	Vibración en seco y apisonado	Se usa en hornos de inducción de centro pequeño, trabajos de revestimiento, en la fundición de algunos aceros y aplicaciones a metales no ferrosos.	3 000
Grout 514	72% silice con ligas hidráulicas.	Con cucharas	Se usa cemento utilizado en el cerrado de los hornos de inducción "silice", en todos los hornos y aplicaciones no ferrosas.	2 600
Patch S 67-W	92% silice con humedad disponible.	Apisonado neumático	Este material sirve para parchar la zona interior y puede ser usado para formar el canal de descarga, puede ser propio para casos de metales fundidos de hierro y metales no ferrosos.	2 800
Minro-Al Ram A-24	94% alúmina fundida con magnesia.	Vibración en seco y apisonado	Para hornos de inducción de núcleo pequeño y para aplicaciones a materiales ferrosos de altas temperaturas.	3 300
Ram A-27	92% alúmina fundida a baja temperatura.	Vibración en seco y apisonado	Para todas las partes del núcleo pequeño del horno y el canal de inducción del horno de aplicación. También propio para los revestimientos en seco, para la mayoría de revestimientos Minro-Sil.	3 000
Ram A-28	88% alúmina fundida con carburo de silicio.	Vibración en seco y apisonado	Sirve para trabajos de revestimiento en fundición de aleaciones de cobre y aluminio en todos los hornos de núcleo pequeño en los canales de estos mismos hornos y puede ser usado como secador de la parte superior del horno.	3 000
Ram A 29, A 30	88% alúmina fundida con carburo de silicio.	Vibración en seco y apisonado	Sirve para trabajos de revestimiento en canales y hornos de inducción, es especial para cobre y metales en hornos de núcleo pequeño.	3 100

CONTINUACION TAMA 3.2

PRODUCTOS REFRACTARIOS NISRO

PRODUCTO DESIGNADO	PRODUCTO DESCRITO	METODO DE INSTALACION	RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION	TEMPERATURA MAXIMA (°F)
Ram A 31-W	90% alúmina fundida con arcilla de ligna y 30% de humedad.	Apisonado húmedo	Sirve para trabajos de revestimiento de el canal del horno de inducción, tambien se utiliza para la fundición de metales no ferrosos.	3 200
Ram A 33-W	85% alúmina fundida con carburo de silicio, arcilla de ligna y 3.2% de humedad.	Apisonado húmedo	Sirve para trabajos de revestimiento de hornos de inducción, para metales no ferrosos fundidos en hornos de nucleo pequeño y canales de inducción.	3 000
Ram A 51 o A 51-W	94% alúmina con magnesita y agente aglutinante con 4% de humedad.	Vibración en seco y Apisonado húmedo	Sirve para trabajos en canales de hornos de inducción, para fundiciones de cobre, níquel, tambien sirve para materiales ferrosos y no ferrosos.	3 200
Ram A 52	94% alúmina con magnesita.	Vibración en seco y Apisonado	Sirve para trabajos de revestimiento en hornos de inducción de nucleo pequeño, en la fundición de hierro aliado y templado a temperatura alta.	3 250
Ram A55 o A55-W	98% alúmina con agente aglutinante con 4% de humedad.	Vibración en seco y Apisonado húmedo	El A55-W se emplea para revestimientos para todas las aplicaciones en hornos de inducción aplicadas en fundiciones de hierro y metales no ferrosos, en un rango de 2600 a 3300°F.	3 300
Ram A 60-W	96% alúmina con fosfato	Apisonado húmedo		3 300
Ram A 99 o A 99-W	65% alúmina con 6.5% humedad.	Apisonado húmedo y Apisonado seco	Se usa en la fundición del acero y crisoles de metales no ferrosos.	3 200
Patch A 58 o A 58-W	55% alúmina con 6.5% humedad.	Apisonado húmedo	Se emplea en los hornos de inducción de pequeño nucleo.	3 050

CONTINUACION TABLA 3.2

PRODUCTOS REFRACTARIOS MINRO

PRODUCTO DESIGNADO	PRODUCTO DESCRITO	METODO DE INSTALACION	RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION	TEMPERATURA MAXIMA (°F)
Minro Fire Cast P60	60% alúmina.	Vibración	Se emplea especialmente en hornos de pedestal y en hornos de superficie plana.	3 000
Minro 3	Base de sílice.	Vibración en seco y Apisonable	Se emplea en hornos de inducción y en la fundición del aluminio.	3 000
Ram 3 72 o 3 72-W	Base de sílice, 3% húmeda.	Apisonado húmedo	En la fundición de aceros de diferentes grados de temperatura y en aceros no-ferrosos, en hornos de núcleo pequeño.	3 100
Ram 3 74	Base de sílice.	Vibración en seco y Apisonable	En hornos de inducción de núcleos pequeño y en la fundición de aceros ferrosos y no ferrosos.	3 100
Patch 3 75 o 75-W	Base de sílice.	Apisonado húmedo y Temperatura graduada	Se utiliza especialmente para parchar hornos.	3 100
Minro-Mag Ram M10	89% Magnesita con alúmina.	Vibración en seco y Apisonable	Para revestimientos y en la fundición de metales ferrosos.	3 250
Ram M12, M15	92% magnesita con alúmina.	Vibración en seco y Apisonado	Para revestimientos de hornos de inducción de núcleo pequeño	3 330
Ram M14	74% Magnesita con alúmina	Vibración en seco y Apisonado	Para revestimientos de hornos de inducción y en la fundición de acero.	3 330

CONTINUACION TABLA 3.2
 PRODUCTOS REFRACTARIOS NINRO

PRODUCTO DESIGNADO	PRODUCTO DESCRITO	METODO DE INSTALACION	RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION	TEMPERATURA MAXIMA (°F)
Ram M17	77% magnesita con alúmina..	Vibración en seco d aplicado	Para revestimientos en hornos de inducción, molinos fundidos y hornos de nucleos pequeños.	3 300
Ram M20	98% magnesita.	Vibración en seco d aplicado	Para revestimientos de hornos de inducción de nucleos pequeños y como soporte para magnesia triturada.	3 300
Ram M40	63% Magnesita con alúmina.	Vibración en seco d Aplicado	Para revestimientos de hornos de inducción de nucleos pequeños.	3 300
Paton M33	60% magnesita.	Aplicado en seco d Temperatura controlada	Para parches descubrimiento del producto Niaro-Mag	3 100

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES;

- 1.- Este trabajo pretende mostrar el panorama de los refractarios, sin embargo por cuestiones económicas principalmente, centramos el estudio solo en el área metropolitana
- 2.- Referente a las pruebas físicas aplicadas a los refractarios, la plasticidad, viscosidad, dureza, textura de grano y determinación de componentes químicos. Los fabricantes de materiales refractarios no se han puesto de acuerdo en la inspección que se realiza a estos productos ya que por Ejemplo; mientras que un lugar realiza Rayos X -- como una parte de la inspección, en otros están realizando pruebas de quemado, peso volúmetrico y variaciones lineales.
- 3.- Se sabe dentro de la rama de fabricación de refractarios mexicanos, que México es productor de materiales de buena calidad, capaces de competir a nivel mundial, sin embargo las estadísticas y las tablas de comparación de productos siembra la duda sobre esta apreciación.
- 4.- Existen varios lugares de procedencia de la materia prima para producir refractarios Mexicanos, los más importantes son; Alemania, E.E.U.U., China, Brasil y Francia en los extranjeros, mientras que por los nacionales intervienen los de Zacatecas, Nayarit, Pachuca, Puebla y Guanajuato.

RECOMENDACIONES:

- 1.- Por aspectos económicos no se pudo cumplir con el objetivo de este trabajo, referente a realizarlo a nivel nacional, pero es aconsejable que en estudios posteriores, la cobertura se amplie.
- 2.- Es aconsejable que posteriormente se realice un estudio de la calidad de los materiales refractarios, para darnos cuenta claramente que se produce en México y con esto poder detectar los defectos que tiene.
- 3.- Referente a la inspección que se realiza a los productos refractarios, pienso que es recomendable que se implante una norma de calidad, en donde se hablará de un mayor número de pruebas mecánicas realizadas y que los rangos de tolerancia fueran un poco más estrictos para poder mejorar nuestros productos.
- 4.- Es recomendable hablar en estudios posteriores de la exportación e importación de un solo producto refractario, para poder detectar cual es el motivo real de que un mismo material se importa y exporta.
- 5.- Sería benéfico para la elaboración de materiales refractarios que se realice o se desarrollen técnicas y formas para ahorrarse todo el trabajo que representa el estar extrayendo la materia prima a pico y pala, para posteriormente clasificarla.
- 6.- Respecto a la distribución de materiales Mexicanos es recomendable que las industrias nacionales especialicen más sus productos con el fin de mejorar en su eficiencia, además se exhorta a estas industrias a realizar un mayor número de estudios que desarrollen la tecnología para el me

joramiento en México; los países a los que les exportamos principalmente son: E.E.U.U., Colombia y Chile, mientras que la importación la realizamos de Alemania, E.E.U.U., Francia, Japón y Brasil. Aquí podemos observar que aparece E.E.U.U. tanto en la importación como en la exportación, esto podría ser por el aspecto de comercialización por empresas filiales o en lo referente a refinamiento ó calidad.

- 7.- En México se están buscando nuevas alternativas tecnológicas que permitan incrementar la calidad y bajar el costo de los materiales refractarios; por ejemplo: la magnesia antes se obtenía eliminando magnesita y ahora se obtiene por el tratamiento de las aguas de sal.
- 8.- En México encontramos que la extracción de la materia prima para la elaboración del producto refractario, se realiza muy rudimentariamente ya que en muchos de los casos se realiza con pico y pala.
- 9.- Los yacimientos más importantes del mundo podemos encontrarlos en E.E.U.U., esto es por contar con los recursos naturales y la tecnología adecuada para su explotación, ya que en los lugares donde se encuentran estos yacimientos anteriormente fueron desembocaduras de ríos ó pantanos que ahora están secos.
10. Respecto a la comparación de las dos industrias productoras de materiales refractarios, se visualiza en el capítulo anterior (III), que la extranjera tiene un alto grado de especialización en sus productos, mientras que la nacional satisface una gama muy extensa de necesidades y -- por lo tanto debe abarcar gran extensión del mercado.

A N E X O I

BIBLIOTECAS Y CENTROS DE INFORMACION

- 1.- Biblioteca de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales "Aragon", U.N.A.M.
Hacienda Rancho Seco, Colonia Impulsora.
- 2.- Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieria Mecánica Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.
Av. Instituto Politécnico, Colonia Lindavista.
- 3.- Biblioteca de la Unión.
Calle de Tacuba # 810.
- 4.- Biblioteca de la Facultad de Química de la U.N.A.M.
Ciudad Universitaria.
- 5.- Biblioteca Nacional.
Zona Cultural de Ciudad Universitaria.
- 6.- Biblioteca México.
Plaza de la Ciudadela # 6.
- 7.- Biblioteca del Instituto Mexicano del Petróleo.
Eje Lazaro Cardenas, Antes Av. de los 100 Metros.
- 8.- Barro Mex.
Oficinas en Privada de Chapultepec No. 117, Colonia Cubitos, Pachuca Hidalgo. Informes en Via Morelos No. 224 --
Tulpetlac, Edo. de Méx.

- 9.- Biblioteca de la Secretaría de Programación y presupuesto
Av. Insurgentes Sur No. 795.
- 10.- Biblioteca de la Secretaría de Minas y Empresas Paraestatales.
Av. Insurgentes Sur No. 548, Esquina con Viaducto.

A N E X O I I

**DIRECTORIO DE DISTRIBUIDORES Y FABRICANTES DE MATERIALES
REFRACTARIOS DE LA ZONA METROPOLITANA**

AMEREX INGENIEROS S.A. (Entrevista)
Medellin 151 Z.P. 6 Col. Roma
Tel: 584-85-55

ANTA CARRILLO EVERARDO
Ahuehuetes 119 Z.P. 14
Tel: 754-00-36

BARRO MEX S.A. de C.V. (Entrevista)
Vía Morelos Km. 19.5 E.M.
Tel: 569-60-11
569-54-98
569-61-22

CASA ANTA S.A. de C.V. (Entrevista)
Patriotismo Esquina Marti 85, Col. Mixcoac
Tel: 271-42-12
277-21-83

FERRO MEXICANA S.A. de C.V.
Oriente 171 No. 450, Col. Aragón
Tel: 760-61-00
760-80-77
760-51-32

MARCRISAR S.A. de C.V.
Medellin 151-1 Z.P. 6
Tel: 584-97-22

MATERIALES LA FE
Gabriel Leyva 38 Z.P. 1
Tel: 526-18-09

MATERIALES REFRACTARIOS S.A. (Entrevista)
Marina Nacional 189, Col. Anzures
Tel: 545-51-36
545-51-67

PIDAGO S.A.
Mayerbeer 93 C.P. 07870
Tel: 517-71-25
517-71-26

PIBLICOS DE MEXICO S.A. de C.V.
Martin Mendalde No. 1451, Col. Del Valle, C.P. 03100
Tel: 534-10-50
524-13-31
534-41-10
534-84-20

PRODUCTOS INDUSTRIALES DAGCO S.A.
Blvd. La Luz 209 M.P. 20
Tel: 568-06-67

REFRACTARIOS GREEN S.A. de C.V. (Entrevista)
Francisco Montes de Oca, E.M.
Tel: 565-79-88
565-32-00

REFRACTARIOS HIDALGO S.A.

Insurgentes Norte 1501, Piso 4 Z.P. 07

Tel: 781-11-06

REFRACTARIOS HW FLIR DE MEXICO S.A.

Poniente 128 No. 672 Fracc. Industrial Vallejo C.P. 02300

Tel: 567-64-00

REFRACTARIOS LEON

Carr. Lago de Gpe. Manz. 200 Lte. 26-B

Tel: 370-05-23

REFRACTARIOS MEXICANOS S.A. (Entrevista)

Paseo de la Reforma No. 383, Col. Santa Maria la Redonda

Tel: 525-16-00

REFRACTARIOS Y EQUIPOS S.A. (Entrevista)

Pte. 116 No. 524-A, Col. Industrial Vallejo Z.P. 16

Tel: 368-10-23

CASILLAS S.A.

Márquez Sterling 33 C.P. 06070

Tel: 512-73-16

585-45-77

REPRAK (Entrevista)

Calle Uno 159, Col. Sta. Cruz Acayucan Azt.

Tel: 561-57-67

561-94-65

ZAGOSA S.A. (Entrevista)
Mier y Pesado 137, Col. Del Valle
Tel: 543-22-76
543-05-45

ANEXO III

QUESTIONARIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
E.N.E.P. ARAJON

ENCUESTA A FABRICANTES Y/O DISTRIBUIDORES
DE MATERIALES REFRACTARIOS DE LA ZONA METROPOLITANA

CONFIDENCIAL

DATOS DEL ESTABLECIMIENTO

Nombre o Razón Social

Giro o Actividad

Calle

Número

Colonia

Municipio

Telefono

Nombre del Entrevistado

Puesto

Questionario No.

Fecha

¿ Tiene distribuidores en otra entidad federativa ? _____

Puesto

ELABORO : AVELINO SANTILLAN T.

I. COMERCIALIZACION

I.1. ¿Cuál es su producto que mayor demanda tiene?

I.2. Señale usted desde su punto de vista que países son los mejores productores de refractarios.

I.3. ¿En qué lugar ubicaría a los refractarios nacionales?

I.4. Ubique en orden de importancia de las diversas zonas de la república que para el consumo de refractarios tiene. (Señale con el # 1 el más importante, con el # 2 el siguiente y así sucesivamente).

Zona Norte _____

Entidad Federativa Municipio

Zona Centro _____

Zona Sur _____

I.6. ¿Todas las pruebas mecánicas que se aplican al refractario se realizan en México?

II. MATERIA PRIMA

II.1. Señale que refractario fabrica o distribuye.

Arcilla Caolin Mortero
 Tabique Otros _____
Especifique

II.2. ¿De dónde traen la materia prima o el refractario que fabrican o distribuyen?

II.3. ¿Cuál es el constituyente predominante en sus refractarios?

- Alúmina _____%
- Carburo de Silicio _____%
- Oxido de Magnesio o Magnesita _____%
- Acido Bórico _____%
- Otros _____

Especifique

II.4. ¿Que procesamiento recibe el material que usted fabrican o distribuyen?

II.5. ¿De las siguientes combinaciones cuáles manejan con frecuencia?

_____ Mortero-Arcilla

_____ Arcilla-Caolin

_____ Tabique Triturado- Caolin

_____ Tabique Triturado-Arcilla

_____ Tabique Triturado-Mortero

_____ Mortero-Caolin

_____ Otros _____

_____ Especifique _____

II.6. ¿Qué porcentaje del refractario que utilizan como materia prima es material de recirculación?

II.7. ¿De los hornos que se señalan a continuación que refractario recomienda como el idóneo en cada caso?

- | | | |
|---|-------|-------|
| - Horno de hogar abierto | _____ | _____ |
| - Alto horno | _____ | _____ |
| - Horno de recalentamiento | _____ | _____ |
| - Horno tipo campana | _____ | _____ |
| - Horno de arco eléctrico | _____ | _____ |
| - Horno américa bride | _____ | _____ |
| - Horno de recalentamiento de gas | _____ | _____ |
| - Horno de inducción | _____ | _____ |
| - Horno de colada | _____ | _____ |
| - Horno para tratamientos térmicos (muflas) | _____ | _____ |
| - Horno de piso | _____ | _____ |
| - Horno de cubilote | _____ | _____ |
| - Horno de empuje mecánico | _____ | _____ |
| - Convertidor | _____ | _____ |

III. PROCESO

III.1. ¿Cuál es el rango de temperatura de los principales refractarios que usted fabrica o distribuye?

Refractario	Mínima	Máxima
_____	_____	_____
_____	_____	_____

III.2. ¿Qué procesamiento recomienda usted de una manera especial para instalar sus productos?

III.3. ¿Cómo afecta el medio ambiente en la instalación y en el almacenamiento de su producto?

III.4. ¿Los materiales apisonables traen implícita esta propiedad desde que es materia prima o ustedes tienen que promoverla con algún proceso especial?

_____ Si _____ No _____

En caso afirmativo que proceso. _____

III.5. ¿Cuándo recomienda apisonar y cuándo no lo -
recomienda?

IV. PRUEBAS

IV.1. ¿Cómo realiza la prueba para determinar el ran-
go de temperatura?

IV.2. ¿Cuánto tiempo tiene utilizando esta prueba?

IV.3. ¿Existen otros métodos en México? ¿Cuales son?

IV.4. ¿A qué tipo de refractario se le realiza las
siguientes pruebas?

- Plasticidad	_____	_____
- Dureza	_____	_____
- Viscosidad	_____	_____

Textura de
grano

Determinación
de componentes
químicos

Otras

IV.5. ¿Cuál es la prueba más importante o importan-
tes para usted?

BIBLIOGRAFIA

- 1.- De Galiana Mangot Tomas, Diccionario Pequeño Larouse de Ciencias y Técnicas, Editorial Larouse, Valentin Gómez, 3530-Buenos Aires, Marzilla 53 esq. Nápoles México D.F., 21000 Artículos, 2400 Ilustraciones, 15 laminas en color 1981
- 2.- Capello Eduardo, Tecnología de la Fundición, Gustavo Gilii (1971), Ed. Barcelona, 493 p.
- 3.- López Escobedo Juan Francisco, Procesos del Caolin y -- Aprovechamiento Actual en Materiales Refractarios, Tesis Profesional de Licenciatura, Química, U.A.Z., 1977.
- 4.- Beteman, Alain Mara, Yacimientos Mineros de Rendimiento Económico, 5 Ed., Omega 1957, pag. 975, 1978
- 5.- Enciclopedia Ilustrada Cumbre, Decima Edición, Editorial Cumbre, 14 Tomos, 1978.
- 6.- Ernitz, Anatalio, Manual de Combustibles, Aislantes y -- Refractarios, Buenos Aires, 90 p., 1942
- 7.- Buenrostro G. Rebolledo Manuel, Estudio y Selección del Mortero y Ladrillo Refractario para Locomotoras, Tesis -- Profesional de Licenciatura, Química, U.N.A.M., 1952
- 8.- Ruiz Flores Javier, Estudio del Proceso y Reformas Propuestas en una Compañía de Productos Refractarios, Tesis Profesional de Licenciatura, Ing. Química, U.G., 1968.

- 9.- Duderov G., *Tecnología de la Cerámica y Materiales Refractarios* (traducción de Pedro Rouklove), Buenos Aires Hispanoamericana 384p, 1949
- 10.- *Catálogos de la Industria Barro-Mex S.A. de C.V., Fábrica y Oficinas en Privada de Chapultepec No. 117 Col. Cu-bitos, Pachuca Hidalgo, Informes en Vía Morelos No. 224, Tulpetlac Edo. de Méx.*
- 11.- *Catálogos de la Industria Productos Aliados "Minro", --- 2626, Fisher Road, Columbus Ohio.*
- 12.- A.S.T.M., *Métodos Standards de Prueba para Esfuerzos de Aplastamiento y Módulo de Ruptura de Tabique de Aislamiento a Temperatura Ambiente, Designación C93-67, Adaptación original 1967, Enero 1970.*
- 13.- A.S.T.M., *Métodos Standard para la Prueba de Cono Piro-métrico Equivalente (P.E.C.) de Materiales Refractarios, designación C24-56, Adaptación original 1956, Enero 1970*
- 14.- A.S.T.M., *Método Standard para la Prueba de Aparente Porosidad, Humedad de Absorción, Gravedad Específica Aparente y Densidad del Tabique para Ladrillos Refractarios Designación C20-70, adaptación original 1970.*
- 15.- *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1980, Publicado en México D.F., 1981 Editado por el Consejo de Recursos Minerales, Dr. Claudio Bernard No. 159- 2º piso, México 06720, D.F.*
- 16.- Teylor Howard F., *Fundición para Ingenieros, México Continental (1961) 460 p.*

- 17.- Norma Oficial Mexicana NOM-0-18-1984, Productos Generales para uso Industrial-Materiales Refractarios, Definición de Terminos Empleados en la Industria, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.

- 18.- Métodos y Procesos de la Clasificación de las Arcillas, A.P. Green.