

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA METALURGICA**



**FABRICACION Y CONTROL DE CALIDAD DE
PRODUCTOS REFRACTARIOS**

**TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

DAVID PEDRO MARTINEZ AGUILAR

PROMOCION 90-2

**LIMA - PERU
1995**

En Agradecimiento a mis Padres Juvenal y Constantina, Ejemplo de Trabajo y Perseverancia. A mi hija Janet, al bebe y mi esposa María con amor y cariño, quienes me indujeron constantemente para lograr mi carrera profesional, comprendiendo las dificultades.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a las personas y entidades que han ayudado de una u otra forma a la realización del presente Trabajo.

A la Dra. Bertha Váldez de Bexaira quien fue mi guía y profesora, por su invaluable enseñanza y orientación en el campo de los No Metálicos y en especial en el área de Cerámica.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería y a Refractarios y Anexos "RASA", quienes han brindado el uso de sus laboratorios para el desarrollo de las pruebas.

INTRODUCCION

Desde los tiempos más remotos, el hombre ha manifestado interés por el mundo que le rodea. Este interés es comprensible, ya que las fuerzas de la naturaleza afectan nuestras vidas en forma directa.

La cerámica es un arte tan multifacético que asombra el enumerar sólo algunos de sus principales productos. Tiene que ver con la forma, el color, la textura, el fuego, formas de hornear, la geología y los métodos de extracción de arcillas. Para el científico cerámico, es arte, matemática, química, mineralogía y metalurgia.

En años recientes, se reconoce la cerámica como ciencia que estudia los materiales y productos cerámicos obtenidos a partir de los minerales no metálicos. Existen razones fundamentales que apoyan este punto de vista. En primer lugar, la investigación actual requiere de un riguroso análisis cualitativo y cuantitativo de la materia prima como de los productos. En segundo lugar hoy en día, se manifiesta un gran auge por la ciencia cerámica; (Alfarería, vidrio, cemento,

abrasivos, aisladores, superconductores, refractarios, etc.)..

Por esta y otras razones, la cerámica y en especial los materiales y productos refractarios se están desarrollando muy rápidamente..

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio de la Fabricación y Control de Calidad de Productos Refractarios, el que con el transcurrir del tiempo ha sido motivo de un sin fin de modificaciones y mejoras hasta llegar al nivel en el que nos encontramos.

La industria moderna, en su gran mayoría depende de algún proceso que requiere de la utilización del calor, por consiguiente, de determinada construcción termorresistente; (Calderos, Muflas, Hornos, etc.). Los productos refractarios desempeñan un rol protagónico en las instalaciones de estas construcciones. Las industrias que dependen de los materiales y productos refractarios son:

La Industria Ferrosa (Hierro, Acero, etc.)

La Industria No Ferrosa (Aluminio, Cobre, Plomo, Zinc, Bronce, Latón, etc.).

La Industria Cerámica (Alfarería, Refractarios, Vidrio, etc.).

Centrales Térmicas (Calderos).

La Industria Cementera (Calcinación del clincker).

Los hornos de calcinación (Calcinación de la caliza CaCO_3).

La Industria Aeronáutica (Propulsión por turbina de gas y a chorro).

Energía Nuclear.

Con el avance industrial surge la necesidad de contar con nuevos materiales en muchas áreas de la producción, los cuales sólo podían ser fabricados en condiciones extremas de temperatura. Los hornos para cumplir estos requerimientos ampliaron los productos refractarios a otros que no sólo soporten temperaturas elevadas sino que resistan la erosión, minimicen las pérdidas de calor y en lo posible sean de costo aceptable.

Los productos refractarios son cerámicos, fabricados con arcillas de alto punto de fusión (arcillas refractarias), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), Magnesia (MgO) y cromita (Cr_2O_3). El carbón es actualmente un refractario importante, los carburos, nitruros y boruros se están desarrollando para trabajos de alta temperatura. Algunos metales como el Molibdeno (Mo), Wolframio (W) y el Cromo (Cr) son refractarios.

RESUMEN

El estudio y las pruebas experimentales de la Fabricación y Control de Calidad de Productos Refractarios realizados en esta Tesis se desarrolla en 8 capítulos.

En el Primer Capítulo se realiza una descripción de la materia prima (minerales no metálicos) utilizados para este fin, la clasificación de los minerales no metálicos se hace atendiendo su refractariedad es decir aquellos que tiene una refractariedad mayor de cono pirométrico 19 (1520°C) se encuentra en el grupo de los minerales no metálicos Refractarios y los menores a cono pirométrico 19 como minerales no metálicos fundentes.

El Segundo capítulo hace mención de los diagramas de fases de los materiales refractarios, en forma especial del diagrama Sílice-Alúmina debido a que las pruebas experimentales son realizados con este tipo de material.

El Tercer Capítulo describe los Productos Refractarios (ladrillos refractarios, morteros refractarios, castables refractarios, plásticos refractarios, apisonables refractarios, proyectables refractarios, crisoles y escorificadores o cápsulas de tostación); teniendo en cuenta

sus propiedades físicas y químicas, características, instalación, utilización y su clasificación de acuerdo a su reacción química.

El Cuarto Capítulo trata sobre la Fabricación de Productos Refractarios desde la preparación mecánica (trituration, molienda y clasificación) de la materia prima y luego se describe los métodos de fabricación y el proceso de fabricación de los diferentes tipos de ladrillos refractarios (ácidos, básicos, neutros y especiales).

En el Quinto Capítulo se realiza el Control de calidad de los Productos Refractarios, teniendo en cuenta los criterios básicos de calidad y la descripción de los ensayos de control de calidad para productos refractarios.

El Capítulo Sexto corresponde a las Pruebas Experimentales desde la descripción y análisis químico de la materia prima utilizada, luego las formulaciones y el proceso para obtener los ladrillos refractarios densos y aislantes y la obtención de las especificaciones técnicas de éstas por medio del control de calidad para productos refractarios.

El Capítulo Séptimo se refiere al Aspecto Técnico para la Selección y Utilización de los Productos Refractarios de acuerdo a factores relacionados a la operación, diseño y construcción del horno, refractariedad y económico; también se adjunta la distribución de los diferentes tipos de refractarios en los hornos para la fusión del hierro, cobre, plomo, etc.

El Capítulo Octavo corresponde al Análisis Económico de los productos refractarios Sílice-Alúmina, estos datos fueron obtenidos del Banco Central de Reserva del Perú desde 1992 hasta los dos primeros meses de 1995.

CAPITULO I

MATERIA PRIMA

1.1. GENERALIDADES

El Perú, es un país rico en recursos mineros No Metálicos, se conocen aproximadamente 67 sustancias no metálicas, de las cuales por ahora se explotan sólo la tercera parte.

Los no metálicos se emplean en creciente proporción en muchas industrias y la demanda actualmente, a nivel mundial, aumenta con gran rapidez. Las naciones con mayor grado de industrialización están en busca constante de sustancias no metálicas que satisfagan sus necesidades. Los países que las tienen, en abundancia y de calidad comprobada como el Perú, deben aprovechar el amplio mercado existente.

La finalidad de tener conocimiento de los no metálicos más usados en nuestro país se debe a la industria cerámica, especialmente para la fabricación de los productos refractarios. De la gran cantidad de no metálicos existente, solamente el 25% de las sustancias No Metálicas utiliza la industria metalúrgica.

1.2. MATERIA PRIMA

La materia prima para la fabricación de los productos cerámicos son obtenidas de la alteración de las rocas ígneas y sedimentarias:

- a. De las rocas ígneas se obtienen los materiales refractarios: cromita, forsterita, olivino, magnesita, así como los fundentes (feldespato, ortosa, albita, etc.).
- b. De las rocas sedimentarias se obtienen:
 - Minerales resistentes a las alteraciones químicas y a la abrasión: variedades de cuarzo, circón, corindón, etc.
 - Minerales productos de alteraciones químicas: arcilla de bola, diáspora, arcilla refractaria, bentonita, etc.
 - Minerales por precipitación química: calcita, dolomita, anhidrita.
 - Restos orgánicos: lignito, carbón, etc.
 - Compuestos formados después de la deposición del sedimento pirita (FeS_2), derivados del hidróxido de hierro y el yeso.

1.3. CLASIFICACION

La clasificación de los materiales arcillosos resulta difícil por las infinitas formas que toman (similitud del comportamiento plástico y de la estructura química); sin embargo, basándose en la refractariedad, se puede ensayar la siguiente clasificación:

- a. Minerales no metálicos refractarios
- b. Minerales no metálicos fundentes

1.4. MINERALES NO METALICOS REFRACTARIOS

- a. **CAOLIN:** Son arcillas de calcinación blanca, de baja plasticidad y muy refractarias (1750-1770°C). El caolín se usa como carga en la industria del papel, en cerámica (porcelana, refractarios, aislantes etc.), en la industria de la construcción, como inerte en caucho y textiles.

En el caso de cerámica, se le usa combinada con otras arcillas, pues su fragilidad luego de la cocción es alta. Es químicamente inerte y puede servir para el transporte de sustancias químicas inestables.

Los caolines residuales se hallan cerca de la roca de origen, tiene grano tosco y poca plasticidad.

Los caolines sedimentarios son los transportados o redepositados; su tamaño de partícula es de 100u a 0.1u de diámetro.

- b. **ARCILLA GRASA (ball-clays):** Son arcillas refractarias de origen sedimentario, de color obscuro por las impurezas orgánicas que contienen. Su color de calcinación es blanco o crema al quemarse el carbono presente.

Se usan en la fabricación de loza, porcelana, y en general cuando se necesitan más plasticidad en la pasta cerámica. Su uso en ladrillos refractarios debe ser controlado, pues tienen un alto índice de contracción y no se obtendría ladrillos de tamaño uniforme.

- c. **ARCILLA DE GRES:** Son refractarias o semi refractarias, pero contienen suficiente fundente para cocerse hasta formar una pasta densa a temperaturas relativamente bajas (1250°C); no sufren demasiada contracción al aire y fuego, pero son medianamente plásticas. Dan colores marrones o pardos al quemarse.

Están compuestos de grano fino de caolinita, feldespatos, rutilo, sílice y mineral de hierro que son fundentes por lo tanto la arcilla vitrifica dando un cuerpo denso impermeable.

- d. **ARCILLA REFRACTARIA (fire clays):** Aparecen en masas duras, en su estado natural no absorben agua hasta hacerse plástica, pero molidas finamente se plastifican. Se utilizan en el revestimiento de hornos y para la fabricación de productos refractario.

Estas arcillas consisten principalmente de silicatos de alúmina hidratado. Ningún silicato de alúmina es completamente fusible a temperaturas altas de los hornos en operación, cuando existe un exceso de alúmina o sílice, el cuerpo es aún más refractario.

El agua de hidratación está en estado de combinación química y no puede eliminarse por desecación a la temperatura de ebullición del agua, pero si por calcinación de la arcilla a temperatura mayores de 900°C . Su presencia en la arcilla da a ésta una de sus propiedades más importantes, a saber: la de admitir agua mezclada mecánicamente tornándose blanda y plástica. La

arcilla no absorbe la máxima cantidad de agua inmediatamente, sino sólo gradualmente, de modo que antes de usarla es macerada en agua y ablandada o madurada por exposición. El agua absorbida mecánicamente puede eliminarse por secado. Si no se ha madurado, los artículos fabricados con ella son menos resistentes y se rompen con gran facilidad.

Cuando la arcilla se cuece, el agua de hidratación es expulsada y queda una substancia anhidra dura. Este cuerpo no es capaz de absorber agua y volverse plástico. La eliminación del agua y la aglomeración resultante del efecto escorificante de las impurezas existentes durante la cocción determinan la contracción de la arcilla, por lo que es preciso tener en cuenta un sobredimensionamiento del objeto cerámico para compensar la contracción.

- e. **SILICE: (SiO₂):** Viene asociado con los caolines y arcillas; está presente como cuarzo libre (cristal) o amorfo como sílice hidratado o coloidal.

Reduce la plasticidad y contracción al secado por aire y por quema, da resistencia por quema, refractariedad y aumenta la dilatación térmica.

El ganister es un material altamente silíceo. Es una especie de piedra arenisca en la que los granos están cementados con materiales arcillosos, de modo que, molida y humedecida con agua, ligan y juntan totalmente los granos por compresión. Su principal particularidad está en que no se dilata

ni se contrae gran cosa durante la cocción. Esto permite hacer y cocer el revestimiento en el horno mismo, calentándolo gradualmente hasta su temperatura de maduración.

Este tipo de revestimiento es usado en los hornos de viento para la fabricación de acero en crisol y en los convertidores Bessemer. También se usa para reparar revestimientos de ladrillos refractarios ácidos de sílice. La ausencia de juntas y la gran refractariedad de este cuerpo hacen a estos revestimientos muy duraderos. Sirven para fabricar también ladrillos refractarios.

La arena siliciosa, se usa para la fabricación de soleras de hornos para la fabricación de acero (Martín-Siemens) y para hornos de fundición de cobre. Durante el servicio se impregnan los óxidos metálicos, y forman un revestimiento firme y duradero. Ciertas piedras areniscas fueron empleadas antiguamente en bloques para las cámaras de los hornos de cuba. Esta práctica está abandonada, debido a la tendencia natural de los bloques de piedra a decrepitar por el calor.

f. **ALUMINA:** Está presente en los feldespatos, mica, bauxita, diáspora y minerales de arcillas. Tiene acción reductora de plasticidad y aumenta la refractariedad.

g. **ANDALUCITA:** Es un silicato $(SiO_4)Al_2O_3$, de composición Al_2O_3 63.2%; SiO_2 36.8%. Es un material muy buscado para fabricación de productos refractarios, para la industria del acero. Posee buena resistencia a la carga en caliente (50

lbs/pg²) hasta pocos grados antes de fundirse (1710-1730°C)

Buena resistencia al ataque por óxido de fierro y álcalis, también se halla libre de contracción aún a temperatura de servicio de 1600-1710°C. Tiene buena resistencia al choque térmico a temperaturas mayores de 600°C.

h. CIANITA: Es un silicato de $(SiO_4)AlAlO$, la composición de este mineral es de: $(SiO_4)AlAlO.Al_2O_3$ 63.2%; SiO_2 36.8%. El contenido de Al_2O_3 es mayor que el del ladrillo refractario de arcilla refractaria de super servicio. Se clasifican según el contenido de Al_2O_3 de 45 a 65%. Este mineral pertenece a los refractarios de alta alúmina, tiene las mismas propiedades que la andalucita. Debe calcinarse por su alta dilatación.

i. SILLIMANITA: Pertenece a los silicatos de aluminio y a la familia de los refractarios de alta alúmina, su fórmula es $(SiO_4)AlAlO$ su composición es de $(SiO_4)AlAl.Al_2O_3$ 63.2%; SiO_2 36.8%. La sillimanita no presenta la alta dilatación de la sílice, ni la hidratación de la magnesia (MgO) ni se dismembra como el cromo.

Sufre una pequeña contracción y una deformación mínima. El producto es fuerte, resistente al choque térmico. Sólo habrá dificultad si se exige muy baja porosidad o una resistencia demasiada alta al ataque por las escorias ricas en Fe. Se le precalcina y enfría con agua para facilitar el chancado.

j. **MULLITA:** Material utilizado en la fabricación de refractarios de alta alúmina, cuya fórmula es $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, donde el contenido de alúmina es de 65 a 80%. En primer lugar diremos que casi no existe Mullita natural, se obtiene por conversión de los minerales del grupo de la sillimanita o de la pirofilita y si no por síntesis, generalmente a partir de la bauxita.

Se prefiere utilizar la cianita calcinada por fácil conversión a mullita.

Descomposición	Sillimanita	Andalucita	Cianita
Comienza	1550°C	1410°C	1100°C
Termina	1625°C	1510°C	1410°C

El factor más importante para el crecimiento de los cristales de mullita es una altísima temperatura.

k. **BAUXITA:** Es una mezcla de óxidos de aluminio hidratados, por lo tanto de composición no definida; su importancia es por ser mena del aluminio. Debido al alto contenido de alúmina existente en la bauxita se la utiliza para la fabricación de ladrillos refractarios de alta alúmina, para recubrimientos de cucharas de colada en la fundición del hierro y el acero.

l. **CORINDÓN:** El corindón es un mineral accesorio de las rocas metamórficas. También es un constituyente primario de las rocas ígneas; pobres en contenido de sílice.

Es utilizado en la fabricación de refractarios de muy alta alúmina, de 80 a 100% de Al_2O_3 . Para estos refractarios generalmente se obtiene el corindón por fusión eléctrica de la alúmina pura o de la bauxita.

La alúmina de alta refractariedad se produce a partir de la bauxita, por calcinación a alta temperatura o por solución química y precipitación de la alúmina pura, la que luego se calcina, briquetea y quema a $2000^{\circ}C$.

Al triturar los pellets se obtiene alúmina tabular cristalina y una alúmina alfa de alta densidad y alta pureza (95% Al_2O_3) y baja contracción ulterior. La alúmina alfa, romboédrica, es más estable que la gamma que es cúbica o la beta.

El material utilizado para la fabricación de refractarios es altamente refinado para elevar el contenido Al_2O_3 que es obtenida al fundir la alúmina "marrón" de 96% de Al_2O_3 que se obtiene por fusión de la bauxita o la alúmina calcinada por el proceso Bayer cuya forma es tabular.

11. **MAGNESITA:** Es un carbonato de magnesio ($MgCO_3$), está compuesto de MgO en un 47.8%; CO_2 52.2%. La magnesita calcinada (MgO) sobre los $1600^{\circ}C$, con menos del 1% de CO_2 se emplea en la fabricación de ladrillos refractarios básicos para la construcción de hornos.

La magnesita es fácil de hidratarse, por lo que tiene que calcinarse a muerte, a una temperatura de $1600-2000^{\circ}C$ obteniéndose un excelente material

refractario de reacción química básica.

- m. DOLOMITA:** Es un carbonato doble de calcio y magnesio de fórmula $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, cuya composición es de CaO 30.4%; MgO 21.7%; CO 47.9%. En la dolomita ordinaria la proporción del CaCO_3 a MgCO_3 es de 1:1.

La dolomita se utiliza en la fabricación de refractarios de dolomita, en ciertos cementos, para revestimientos refractarios de los convertidores en los procesos básicos de obtención del acero.

- n. FORSTERITA:** Es un silicato de magnesio cuya fórmula es 2MgSiO_2 . Fue el primer refractario básico con suficiente resistencia a la carga a temperatura de servicio para uso en hornos de arcos. La forsterita de alta pureza se utiliza en la industria química, del vidrio y no ferrosa debido a su bajo costo y su elevado punto de fusión de 1890°C .

Sin embargo como no hay suficiente forsterita natural, se utiliza al olivino para fabricarla:



También a partir de la serpentina:



- ñ. CROMITA:** FeCr_2O_4 , es un constituyente de las peridotitas y serpentinas de las cuales se deriva. Los minerales de cromita son utilizados en

procesos metalúrgicos, químicos y cerámicos.

En el proceso cerámico la cromita es utilizada para la fabricación de ladrillos refractarios de cromita, para la construcción de los hornos metalúrgicos. Los ladrillos refractarios se hacen normalmente de cromita cruda y brea de carbón, o de cromita con caolín, magnesita, bauxita u otros materiales.

La cromita también se utiliza para dar color a los vidriados cerámicos.

1.5. MINERALES NO METALICOS FUNDENTES

- a. **FELDESPATO:** Es el fundente más importante utilizado en las pastas y vidriados cerámicos. El término cubre un cierto número de silicatos de aluminio alcalinos o alcalinotérreos. Es un mineral ígneo, uno de los más comunes en las rocas primarias, en las que aparece principalmente mezclado con cuarzo y a menudo con mica.

Se usa como un constituyente del vidrio y esmaltes, para los productos de categoría fina, promueven la fusión durante la quema e imparten fuerza, corrosión extensible y durabilidad. En la cochura del vidrio el Feldespato adelanta el trabajo y retarda la devitrificación. Como el Feldespato es mas duro que otros productos cerámicos y se muele en caras filosas y fragmentarias, es eficaz como un moderado abrasivo.

Existen dos tipos de feldespato, el potásico, llamado "Ortoclasa" o "Microclina"

$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, es un buen fundente para las pastas cerámicas, y el sódico llamado "Albita" $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ de menor punto de fusión son utilizados para la preparación de vidriados cerámicos.

- b. **ALCALIS:** Generalmente asociados con compuestos de Alúmina especialmente en micas y feldespato, también por adsorción de los iones sobre la superficie de los minerales de arcilla. Son fuertemente fundentes, reducen la refractariedad, y la temperatura de vitrificación de la arcilla; al aumentar la vitrificación hay menor absorción y disminuye su plasticidad.
- c. **COMPUESTOS DE HIERRO:** Existen óxidos, sulfuros, hidróxidos, carbonatos y silicatos.

Magnetita: Fe_3O_4

Oxido ferroso: FeO

Hematita : Fe_2O_3

Pirita : FeS_2

Limonita · $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$

Siderita · $FeCO_3$

La hematita y magnetita no bajan mucho la temperatura de maduración de los productos cerámicos (vidrio a $1455^\circ C$), pero por reducción del Hierro, forma vidrio a $1180^\circ C$ y con algunos silicatos de alúmina da compuestos que se derriten a $1100^\circ C$.

Si hay Pirita debe haber una atmósfera oxidante sino el FeO actúa como un fundente poderoso, formando vidrio y si esto sucede antes de eliminar el SO_2 podrá haber abultamiento y una deformación permanente.

d. **COMPUESTOS DE CALCIO:** Calcita (CaCO_3), Aragonito (CaCO_3), y Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a la temperatura de calcinación (950 a 1050°C) se descomponen dando Oxido de Calcio (CaO) que actúa como fundente y resulta un aumento de resistencia por vitrificación y la absorción disminuye. Destiñe la coloración roja de minerales de Fe a crema.

La caliza es uno de los minerales más corrientes y difundidos. Aparece como enormes y extensas masas de rocas sedimentarias, en las cuales la calcita es el mineral más importante.

La caliza se usa para la fabricación de cal y cemento. La caliza al calcinarlo a 950°C , pierde el CO_2 y se convierte en cal viva CaO que, mezclada con agua, forma el hidrato cálcico (cal apagada), se hincha, produce mucho calor y se endurece o, como corrientemente se dice, fragua. La cal viva mezclada con arena forma el mortero corriente.

1.6. MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS ESPECIALES

a. **OXIDO DE BERILIO:** Es un cristal iónico, de red compacta, que cristaliza en el sistema exagonal. Sus propiedades más notables son su alto punto de fusión y la singular combinación de alta conductividad térmica con alta resistividad eléctrica en el estado cristalino. Estas propiedades, combinadas con la estabilidad a alta temperatura e inercia químico-térmica, hacen del óxido de berilio un material cerámico refractario notable.

b. **SULFUROS DE TORIO:** El torio forma sulfuros que son de naturaleza refractaria, que pueden usarse para la fabricación de recipientes refractarios a altas temperaturas (1500 a 2200°C), en vacío, o en atmósfera inerte. Son lentamente atacados por los ácidos diluidos, pero en su forma sinterizada son estables en el aire y en el agua hirviendo.

c. **CARBURO DE SILICIO:** (SiC), es un material cristalino cuyo color varía entre verde pálido y negro; según la cantidad de impurezas del producto. Es un producto relativamente estable desde el punto de vista químico. Se emplea principalmente en abrasivos, refractarios y resistencias para hornos eléctricos.

El uso en la fabricación de productos refractarios se debe a su pequeño coeficiente de dilatación, su elevada conductividad térmica y su estabilidad química y física.

d. **GRAFITO:** (C), se utiliza en la fabricación de crisoles, tiene una alta resistencia a los choques térmicos. En artículos refractarios usados en la fundición de metales no ferrosos, especialmente en la industria del bronce, aluminio, titanio, cobre.

Los crisoles de grafito se han utilizado hace años para colado y manipulación del hierro y sus aleaciones. Se prefiere el grafito natural cristalino por el gran tamaño de sus granos y de alta pureza (85% de C).

El grafito proporciona a los productos refractarios las siguientes propiedades: Alta

conductividad térmica, gran conductividad eléctrica, mínima dilatación térmica, alta refractariedad, buena resistencia al ataque de metales y fundentes, propiedad termoplástica a altas temperaturas.

e. **OXIDOS DE ZIRCONIO:** Se conocen tres óxidos de zirconio, ZrO , ZrO_2 y ZrO_3 , pero sólo el dióxido es estable a temperatura ambiente.

f. **DIOXIDO DE ZIRCONIO:** (Circona), es utilizado para la fabricación de productos refractarios, aislantes térmicos y promueve la resistencia al calor. Los artículos cerámicos fabricados con dióxido de Zirconio puro tienden a estallar cuando pasan por la temperatura de inversión ($1000^{\circ}C$, monoclinico a tetragonal). Combinada con 5% de óxido de calcio o magnesio, adquiere estabilidad cristalina (Cúbica), y los productos cerámicos fabricados con este material dan buen servicio como refractarios hasta una temperatura promedio de $2500^{\circ}C$.

1.7. PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS

a. **Contenido de Humedad:** La arcilla es un material que puede contener gran cantidad de agua y mostrarse aparentemente seca, por lo que debe determinarse exactamente el contenido de humedad del material para corregir los pesos y proyectar su comportamiento en caso de que sufra un tratamiento térmico. Puede determinarse el contenido de humedad pesando una muestra, introduciéndola al horno y luego volviéndola a pesar; la diferencia es el agua presente. Debe tenerse cuidado si la arcilla tiene materia

orgánica, pues la combustión de ésta hará perder peso a la muestra, pudiendo aparentar que es pérdida de agua.

Se puede medir directamente el contenido de humedad de una arcilla con el equipo denominado "Speedy", el que utiliza carburo de calcio para este fin. Al reaccionar el carburo de calcio con el agua se produce acetileno.



Es importante conocer el contenido de humedad de las materias primas, no sólo para hacer las pertinentes correcciones en la pesada, sino también, en el caso de las arcillas empleadas lo más aproximadamente posible en su condición natural, a fin de hacer el ajuste necesario para agregarles el agua de plasticidad.

- b. **Color y Textura:** El aspecto de la arcilla en crudo es de importancia relativa, pues no siempre refleja el comportamiento térmico del material. Sin embargo, generalmente las arcillas rojas y marrones tienen óxidos de fierro y bajo punto de fusión, mientras que las arcillas de tonos verdes pueden tener carbonatos y mostrar expansión con la temperatura.

Las arcillas grises y negras revelan presencia de materias orgánicas difundida en la arcilla.

Las arcillas blancas y rosadas, si no tienen bentonita, resultan relativamente frágiles luego de la cocción.

En cuanto a la textura, el grano fino y homogéneo revela buena plasticidad. La fractura laminar puede indicar presencia de sales interestratificadas o diferencias en el comportamiento térmico entre diferentes partes del mismo material. El material con apariencia pulverulenta normalmente tiene mucha sílice libre y puede fracturarse en el calentamiento.

- c. **Granulometría:** La granulometría en crudo es una característica muy importante para determinar el grado de molienda que debe darse a la arcilla y para tener una idea del comportamiento plástico, el cual viene regulado por la fracción coloidal.*

Este análisis puede hacerse por mallas para la parte gruesa y para la parte fina con el método del hidrómetro, midiendo la velocidad de sedimentación.

- d. **Plasticidad:** La plasticidad es la propiedad más característica de la arcilla y cuantificarla no es tarea fácil.*

Para determinarla, en la mayoría de los casos, se muele 200 gr. de arcilla, se mezcla con 250 gr. de agua y luego se determina al tacto asignándole un número de 1 a 5, de acuerdo a cuan "plástica" se muestre.

Como resulta un método muy empírico, se ha desarrollado el método del índice del catión de Azul de Metileno para determinar la fracción coloidal de la arcilla, que es la que domina el comportamiento plástico del material.

Este método relaciona los moles de Azul de Metileno absorbidos por las arcillas con la superficie específica de ésta, expresada en metros cuadrados por gramos. Cuanto mayor es la superficie específica, mayor será la plasticidad del material.

Influyen mucho en la plasticidad las impurezas presentes en la arcilla. La materia orgánica aumenta la plasticidad, mientras que las sales del calcio y magnesio la disminuyen, lo que obliga a hacer un estudio integral del material para determinar su plasticidad con precisión.

La plasticidad está inherentemente ligada con las relaciones fisicoquímicas entre las partículas coloidales de arcillas y el agua, y de aquellas entre sí, por lo tanto, se ve afectada por los siguientes factores:

- Composición mineralógica.
- Tamaño de partícula y distribución de tamaños.
- Capacidad de cambio de catión y pH.
- Tensión superficial del agua.

e. **Fluidez y Defloculación:** Como en la mayoría de los procesos industriales en los que utilizan arcillas se trabaja con pastas o pulpas, es de vital importancia determinar el comportamiento de la arcilla en su interacción con el agua. Esto se puede lograr mezclando la pulpa con aditivos como el Carbonato de Sodio, Silicato de Sodio, Dolaflox, etc. Con aproximadamente 50 gr de pulpa se mezcla de 0.1 a 0.5 ml de aditivo y se agita

la total defloculación, de lo contrario la pasta endurece en el caso de tener sales solubles que forman complejos con los aditivos.

Resulta imprescindible determinar el tiempo de defloculación y el grado de éste, con lo que se evitarán dificultades de bombeo, de molienda y de agitación.

- f. **Resistencia:** Los materiales arcillosos ofrecen resistencia a la ruptura, tanto en crudo como cocidos. Esta resistencia es importante por la seguridad en el manipuleo y por la posibilidad de fracturar el material si no tiene buena resistencia.

Considerando la fragilidad de las piezas cerámicas, resulta necesario determinar su punto de ruptura.

Para esto se ensaya a flexión una barra (cruda o cocida) del material y se la lleva al punto de ruptura, observándose la fuerza aplicada y midiendo el área transversal de la barra se obtiene el módulo de ese material en Kg/cm².

- g. **Permeabilidad:** La posibilidad de que el agua pase a través de una capa de arcilla depende del modo en que estén empaquetadas las partículas y de las películas de agua absorbidas alrededor y entre las partículas.

La permeabilidad de una arcilla se ve afectada por su capacidad de cambio de base, no excede

correlación directa. La permeabilidad de una arcilla es un factor fundamental en las características de secado de la misma.

- h. Sílice Libre:** Es normalmente la causa de gran parte de la fractura y micro-fractura de los objetos de arcilla. El coeficiente de dilatación de la sílice es diferente al resto del material y provoca tensiones al calentar la pieza.

Es posible determinar la cantidad de sílice libre presente, usando un dilatómetro. Este aparato grafica la expansión del material cuando aumenta la temperatura y al pasar la curva por 600°C, debe observarse un salto respecto a su tendencia, la magnitud de este salto indica la cantidad de sílice libre presente.

- i. Sales Solubles, Fierro y Carbono:** El análisis químico de estos elementos resulta de vital importancia, ya que las sales solubles impiden la defloculación y crean problemas de eflorescencia y rajaduras en el material después de cocido. Un alto contenido de fierro baja el punto de fusión de los materiales arcillosos hasta ponerlo entre 1060 y 1100°C. El carbono, por su parte, mancha los esmaltes (si se van a usar) y provoca porosidades en el material, lo que baja la resistencia de éste.

- j. Respuesta Térmica:** La gran mayoría de los procesos industriales que emplean arcillas, usan calor para tratarlas. La respuesta térmica de las arcillas al aumentar o descender la temperatura, varía de una clase a otra; el caolín por ejemplo, pierde el

agua combinada a los $580 \pm 10^{\circ}\text{C}$ y tiene un reordenamiento molecular (sin pérdida de masa) a los $960 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Estos cambios pueden provocar tensiones si la gradiente de temperatura se acelera en estos puntos.

La respuesta térmica es la característica más importante en las arcillas y el Análisis Térmico Diferencial y Termogravimétrico (DTA-TG) es el método más adecuado para determinar el comportamiento térmico de los materiales arcillosos. En este análisis se grafica los cambios de entalpía y cambios en la masa de la muestra, a medida que se aumenta la temperatura. El aumento de temperatura es controlado, pudiendo variarse la gradiente a voluntad.

- k. Secado al aire:** La arcilla húmeda cede agua gradualmente, al principio a velocidad constante y posteriormente con velocidad decreciente, hasta que ya no contiene agua libre. Durante el período de velocidad constante la superficie tiene siempre la misma humedad y se produce una contracción en toda la pieza. Después de esto, la superficie comienza a secarse y la evaporación tiene lugar dentro de la pieza, produciéndose poca o ninguna contracción.

CAPITULO II

DIAGRAMA DE FASES DE MATERIALES REFRACTARIOS

2.1. GENERALIDADES

Los productos cerámicos están compuestas de 1 o más componentes (minerales no metálicos), por lo que es imprescindible saber el comportamiento de estos componentes cuando varía la temperatura y el porcentaje de los componentes.

El diagrama de fases relaciona las condiciones que se debe especificar, a fin de describir totalmente un sistema en equilibrio.

En un agregado de fases se observa discontinuidades en los valores de las propiedades cuando se atraviesa las interfases.

Una mezcla de diferentes formas cristalinas de la misma sustancia química dará como resultado un sistema que se componga de una o más fases. Las soluciones sólidas que pueden existir en más de una estructura cristalina se denomina polimórficas. Cuando un elemento manifiesta este polimorfismo, cada forma cristalina constituye una fase diferente.

<i>SUSTANCIAS</i>	<i>FORMAS CRISTALINAS</i>
<i>CARBONO: (C)</i>	<i>Diamante (Isométrico), Grafito (Hexagonal).</i>
<i>CUARZO: (SiO₂)</i>	<i>Tridimita (Hexagonal), Cristobalita (Tetraogonal).</i>

2.2. DIAGRAMA DE FASES DE UN COMPONENTE

Es un diagrama de fase sencillo, de un solo componente. Este diagrama, que tiene varias fases presentes, a diferentes presiones y temperaturas y también, los valores de estas variables para equilibrios entre fases, se conoce como diagrama de fases. En este grupo estudiaremos los diagramas del Carbono y el Cuarzo.

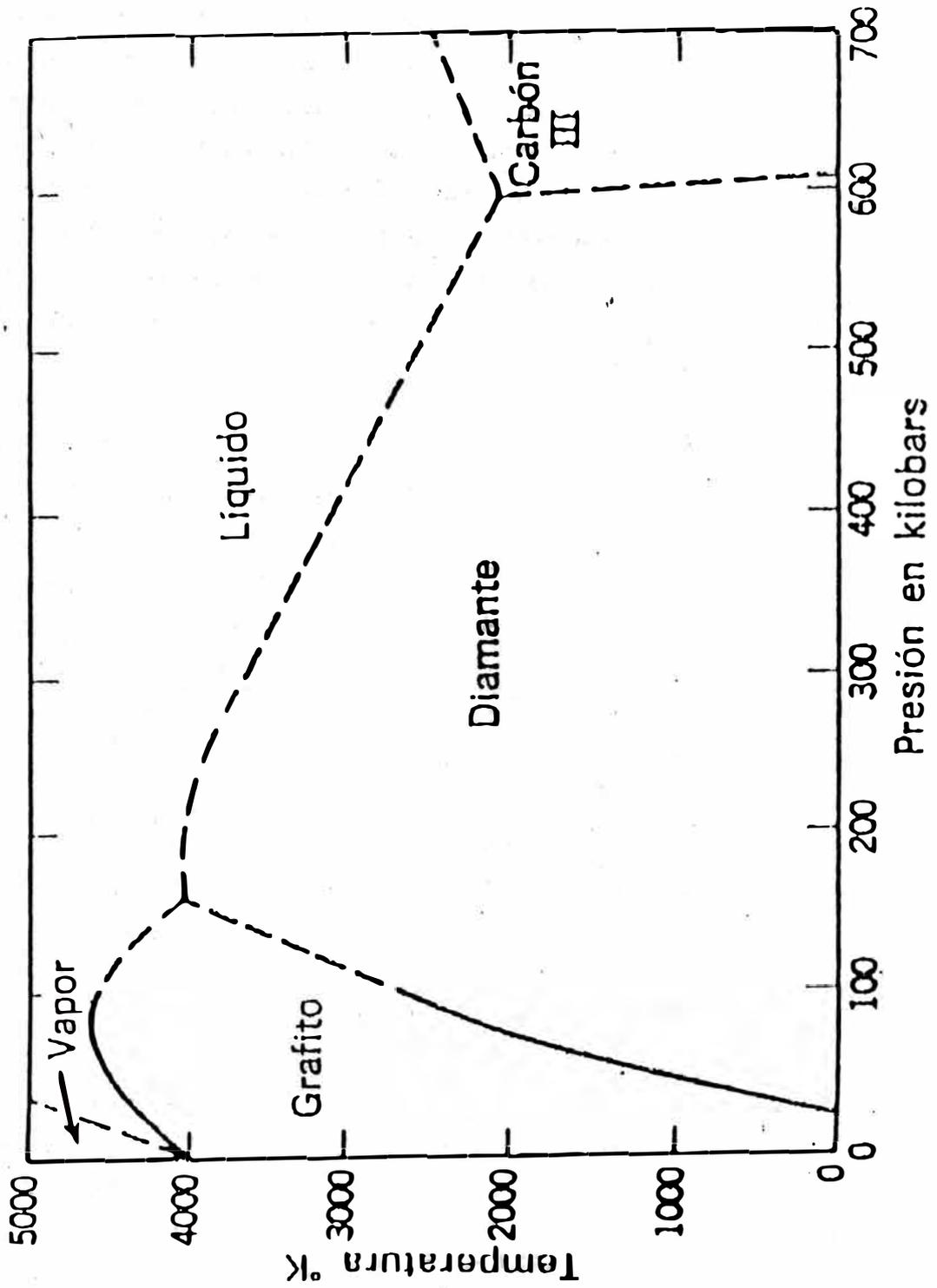
2.2.1. DIAGRAMA DE FASE DEL CARBONO (C)

El diamante y el grafito, ambos carbono elemental, constituyen el ejemplo más notable de polimorfismo. A temperaturas suficientemente elevadas, ambos arden por completo, dando dióxido de carbono. No obstante su identidad química, el diamante se diferencia del grafito en todos los demás aspectos y las diferencias son directamente imputables a sus estructuras.

La síntesis del diamante conseguida en 1955 ha sido la realización de un sueño de muchos años y ha establecido firmemente las relaciones de estabilidad entre las formas polimorfas del carbono en un amplio campo de presiones y temperatura. El diamante, tiene un elevado peso específico y empaquetamiento bastante compacto, es el polimorfo de alta presión, inestable a presiones o temperaturas bajas, con respecto al

DIAGRAMA DE FASES DEL

CARBONO

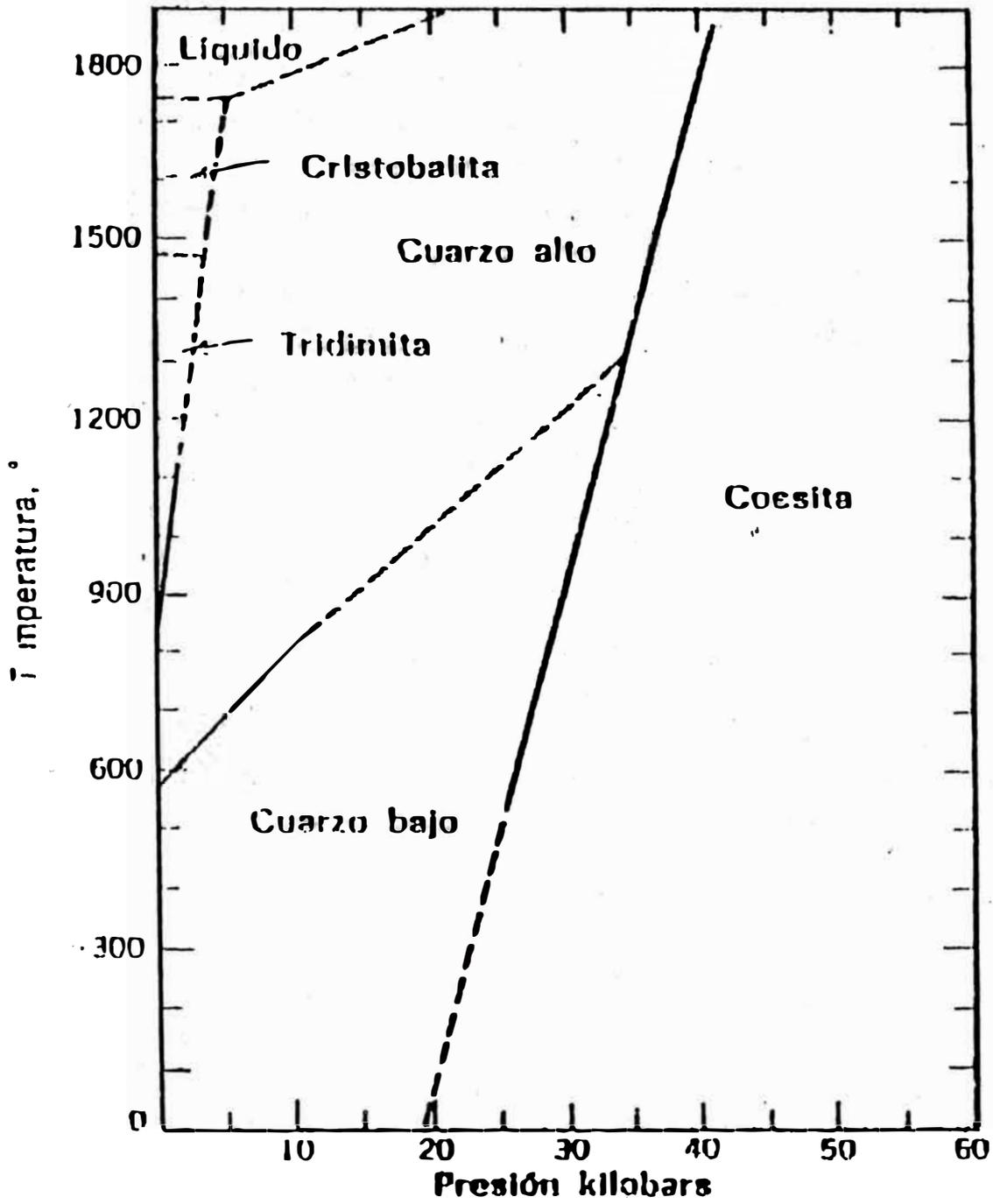


grafito y que puede ser convertido en éste, a temperaturas moderadas y en recipientes cerrados. La razón de que el diamante y el grafito puedan coexistir a las temperaturas y presiones ambientes, es debida a que la reacción es muy lenta; con el fin de permitir la inversión de grafito a diamante, se necesitan temperaturas elevadísimas para lograr que los átomos de carbono del grafito se separen por efecto de la agitación térmica y queden en disposición de formar la red de diamante. Estas temperaturas aumentan también la presión requerida para que la inversión se lleve a cabo.

2.2.2. DIAGRAMA DE FASE DEL CUARZO (SiO_2)

Los polimorfos del cuarzo (SiO_2) pertenecen a tres categorías estructurales: Cuarzo, Tridimita y Cristobalita. Cada una de estas estructuras pueden ser transformado en otro, siendo suficiente romper los enlaces silicio-oxígeno y disponer los tetraedros según un nuevo modelo. La transformación de un tipo en otro es por lo tanto un proceso lento y todos pueden existir, metaestablemente en presencia de los demás durante largos períodos de tiempo. La temperatura de inversión varía ampliamente dependiendo principalmente de la magnitud y dirección del cambio de temperatura. Sin embargo, cada tipo de estructura tiene modificaciones de alta y baja temperatura que sólo se diferencian entre sí por la longitud o dirección de los enlaces que unen los iones de silicio y oxígeno. Por lo tanto estas transformaciones tienen lugar rápidamente y son reversibles a una temperatura de inversión bastante constante y bien definida y pueden ser

DIAGRAMA DE FASES DEL
CUARZO SiO_2



repetidas una y otra vez sin desintegración física del cristal. El pequeño instante de inversión, alta-baja, tiene lugar con la liberación de una cantidad constante de energía. Muy próxima a la misma temperatura tiene lugar la inversión baja-alta, con absorción de energía.

La forma de baja temperatura de cada tipo tiene, simetría inferior que la forma de temperatura alta, pero esa diferencia de simetría es menor que la que hay de un tipo a otro.

El aumento de presión tiene por efecto, elevar todas las temperaturas de inversión y, para cualquier temperatura, favorecer la cristalización del polimorfo que ocupe el menor espacio.

2.3. DIAGRAMA DE FASES DE DOS COMPONENTES

Un diagrama de fase de dos componentes, consiste únicamente en fases sólidas y líquidas el cual se conoce como sistemas condensado donde se mantiene constante una de las variables, la presión, las únicas variables intensivas que quedan son el porcentaje de material o concentración y la temperatura. Por tanto, el diagrama de fases para un sistema binario condensado consistirá en una gráfica de la temperatura en función de la concentración. Este último se expresa en porcentaje en peso.

El desarrollo experimental realizado en este trabajo se basa en el diagrama de fase Sílice-Alúmina debido a que las arcillas refractarias utilizadas tienen esta composición química. Por lo tanto detallaremos dicho sistema.

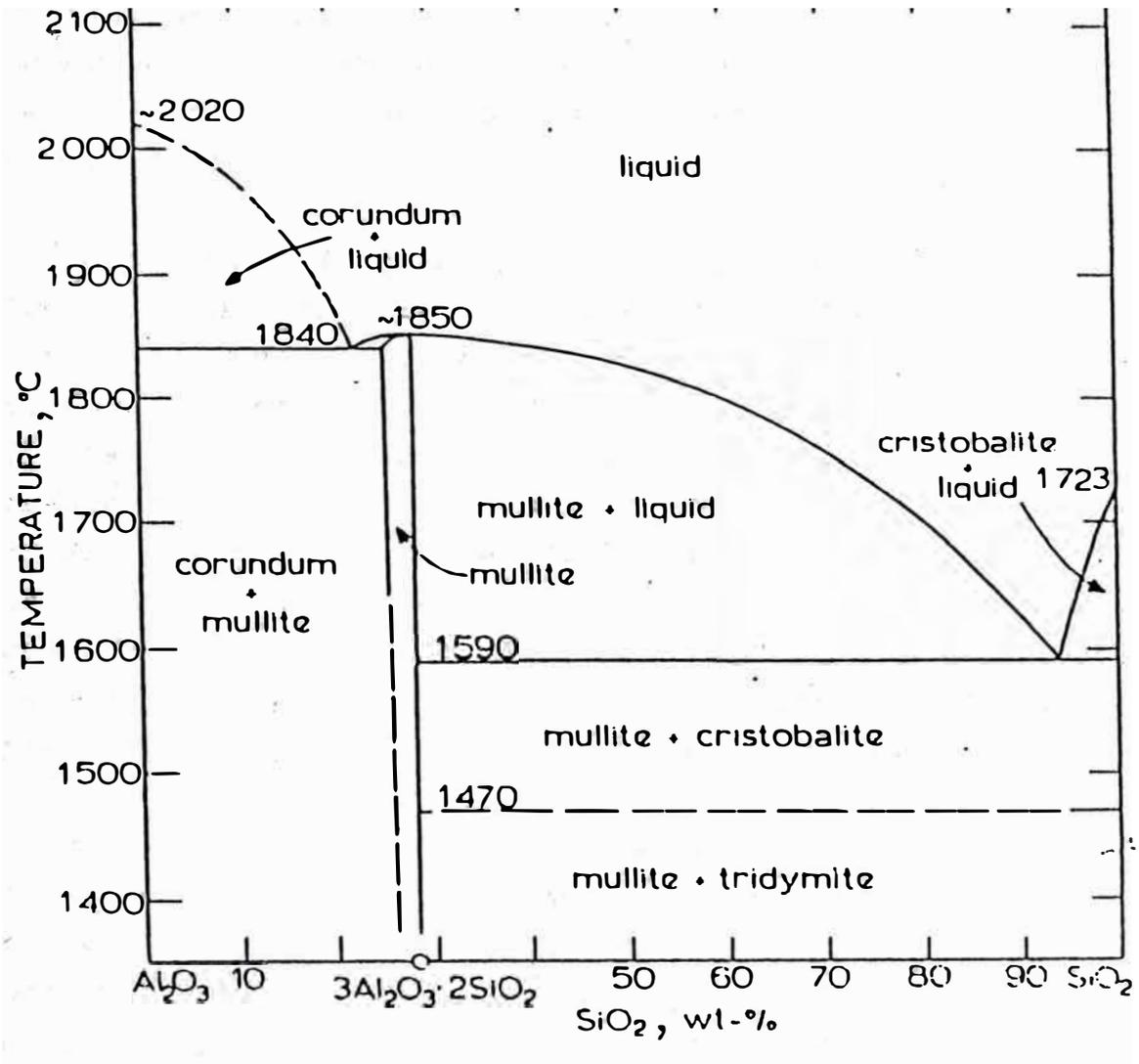
2.3.1. DIAGRAMA DE FASES SILICE-ALUMINA

A la temperatura de 1545°C los ladrillos refractarios están formados por sílice y mullita. La mullita se encuentra presente como cristales en forma de agujas que forman un esqueleto entrelazado que puede mantener su robustez y rigidez hasta temperaturas elevadas, hasta 1810°C en donde se funde. La resistencia mecánica depende, por supuesto, de la proporción de mullita presente, por ejemplo, en el contenido de Al_2O_3 . La sílice se encuentra presente como tridimita o cristobalita (o ambas) pero el efecto de los fundentes es transformar parte de ellos en silicatos vítreos (vitrifica).

A temperaturas mayores de 1545°C se encuentra en estado líquido y la estructura se transforma en un esqueleto de agujas de mullita con líquido en los intersticios. Si se solidifica un ladrillo refractario con 25% de Al_2O_3 se encuentra que la proporción de líquido es aproximadamente el 70%, y es poco probable que el 30% restante en forma de mullita sea capaz de mantener la forma del ladrillo refractario por mucho tiempo. La refractariedad de los ladrillos refractarios sílico-aluminoso se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de alúmina.

Los ladrillos refractarios con 45% de Al_2O_3 contienen sólo el 40% de líquido a 1545°C , permaneciendo el 60% restante como mullita que se mantiene sólida. Cuando la temperatura aumenta por encima del 1545°C , la cantidad de líquido aumenta en todos los casos, pero el aumento es lento. A 1700°C los ladrillos refractarios de alta alúmina

DIAGRAMA DE FASES DEL
SiO₂-Al₂O₃



tienen un 45% de líquido.

Si el contenido de alúmina es mayor del 72% (mullita), la proporción de líquido a 1545°C disminuye prácticamente a cero y permanece así hasta los 1810°C.

2.4. DIAGRAMA DE FASES DE TRES COMPONENTES

Un diagrama tridimensional refleja la composición y el número de fases en el sistema de equilibrio en función de la variación de la composición inicial y de la temperatura.

Al construir el diagrama de estado de un sistema de tres componentes, su composición se representa en el plano, y en la dirección perpendicular al plano se dispone la temperatura (la presión se toma constante) o la presión (la temperatura se toma constante). Es más frecuente la aplicación de la primera variante, ya que, en la mayoría de los casos, la presión varía muy poco o no varía en las transformaciones estudiadas, mientras que la temperatura oscila mucho. Pero a veces es necesario estudiar también la influencia de la presión, por ejemplo, al estudiar los procesos geológicos.

La forma de representar la composición de un sistema de tres componentes es aplicando el triángulo de Gibbs-Roozeboom. Los vértices del triángulo equilátero corresponden al contenido del 100% de cada uno de los componentes A, B y C, en el sistema. Los lados del triángulo permiten representar las composiciones de los sistemas de dos componentes $A + B$, $B + C$ y $C + A$. Los puntos que se encuentran dentro del triángulo describen las composiciones de los sistemas de tres componentes.

DIAGRAMA DE FASES DE
SiO₂-Al₂O₃-FeO

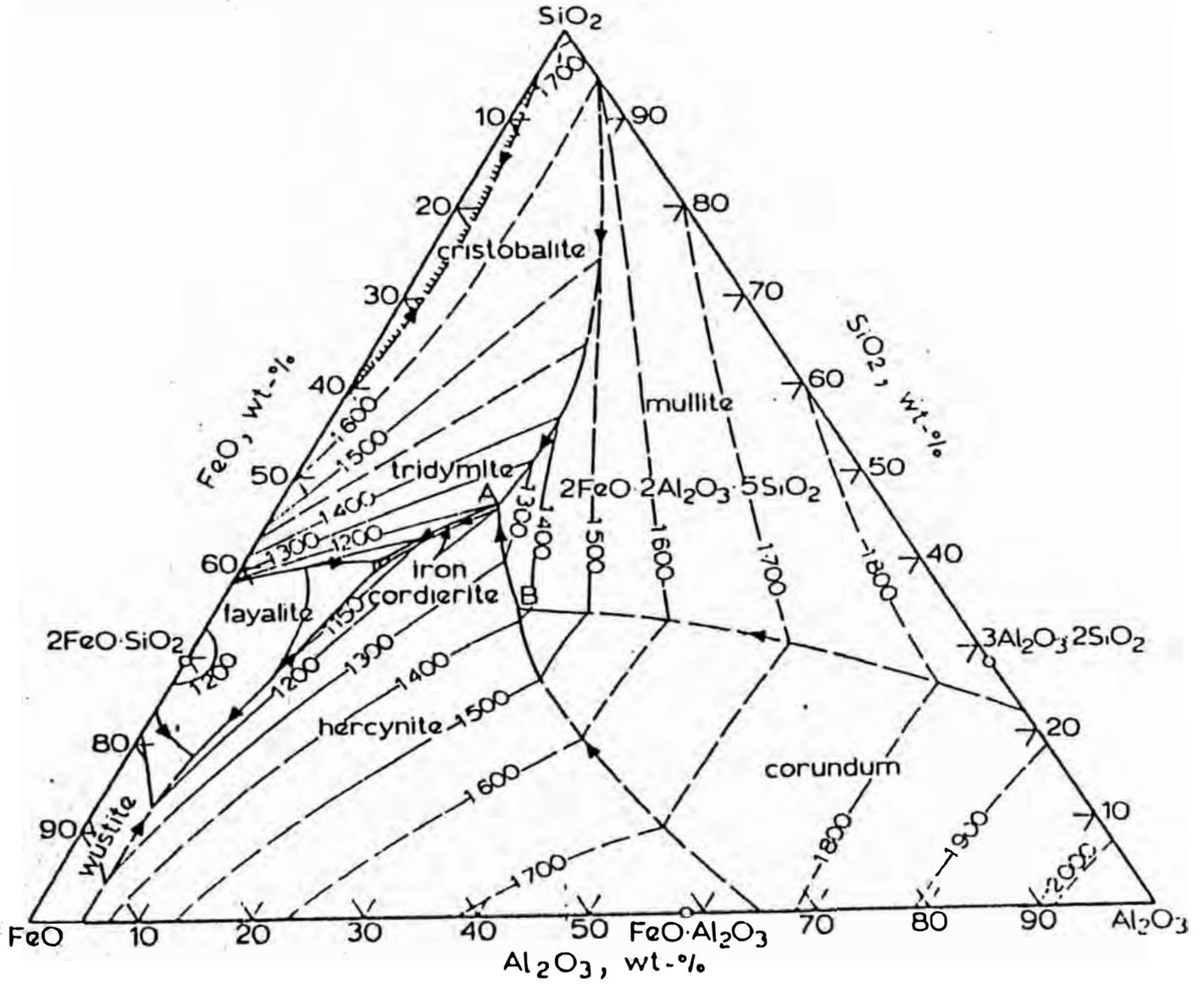


DIAGRAMA DE FASES DEL
SiO₂-Al₂O₃-FeO·Fe₂O₃

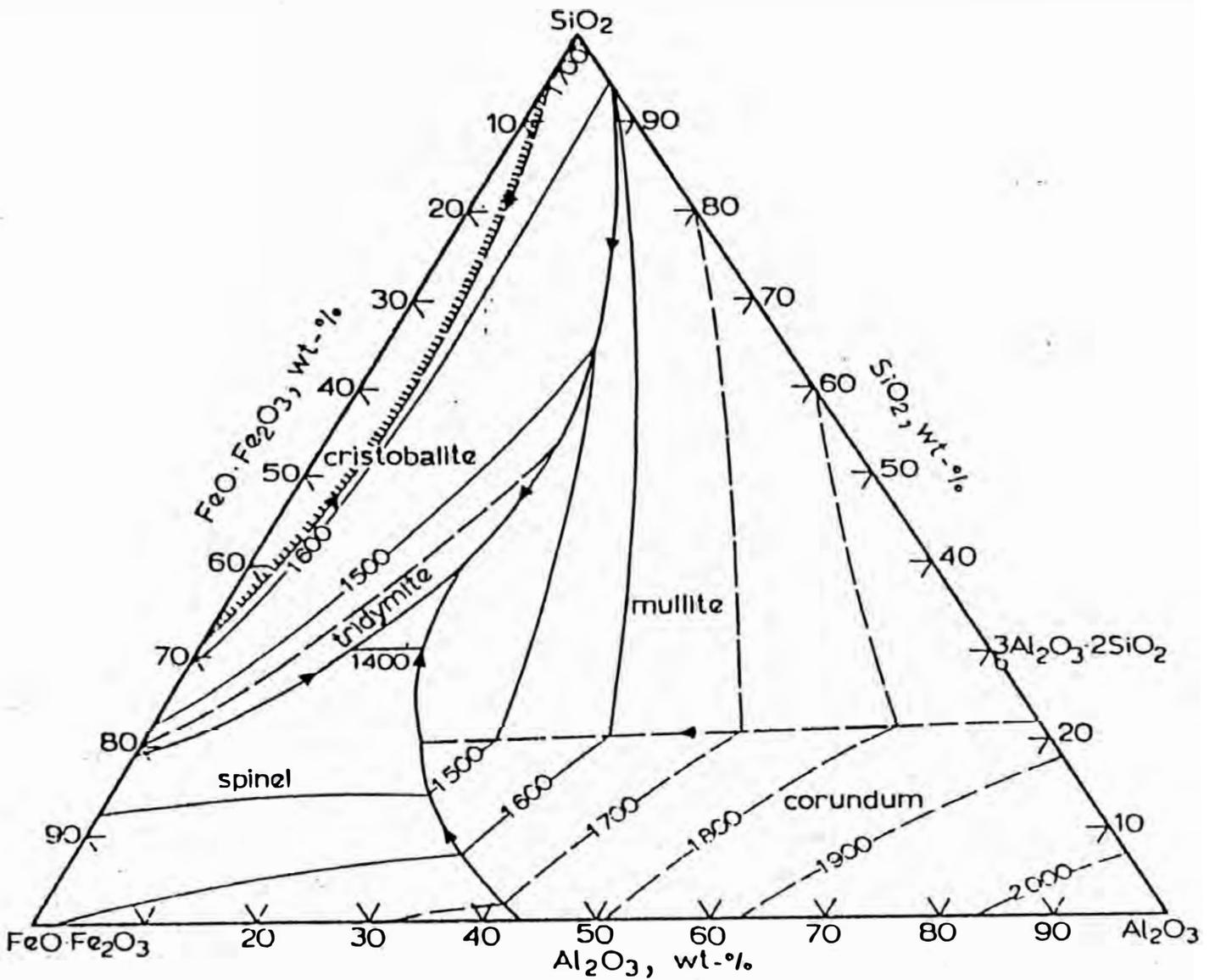
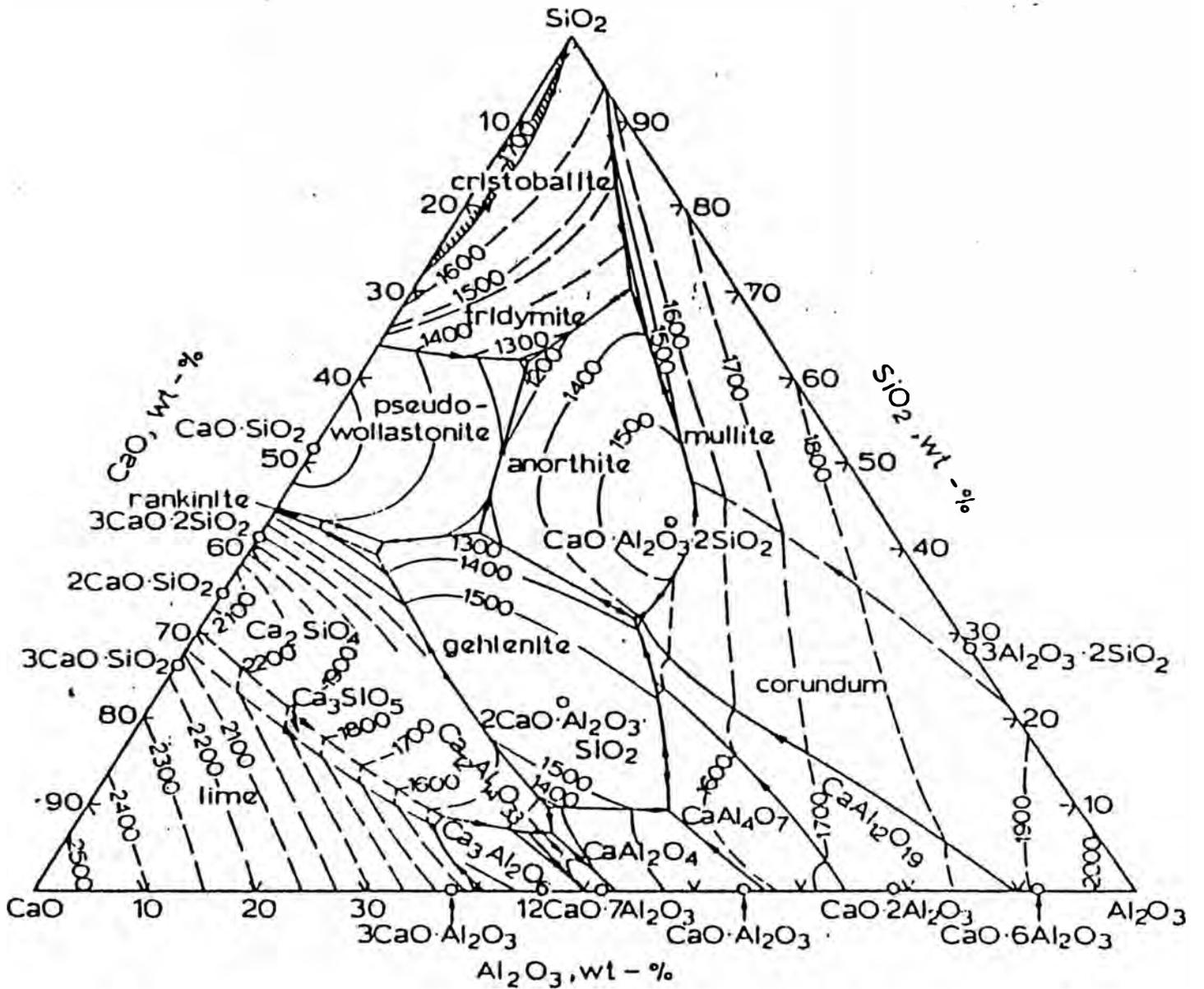


DIAGRAMA DE FASES D&L

SiO₂-Al₂O₃-CaO



CAPITULO III

PRODUCTOS REFRACTARIOS

3.1. GENERALIDADES

Los refractarios son productos o materiales No Metálicos con los que se construyen los hornos, debido a que resisten altas temperaturas y la acción de los líquidos corrosivos, tales como de los metales, escorias y matas fundidas, y la de los gases calientes en movimiento que transportan polvos y humos. Además de resistir a la destrucción de fuerzas físicas y químicas han de resistir la acción de las fuerzas mecánicas y conservar el calor, es decir tener propiedades térmicas apropiadas de transferencia del mismo.

Los materiales refractarios se escogen entre aquellas sustancias que tienen una composición mineral que les permite permanecer inalterables, aún cuando estén expuestos a altas temperaturas; consisten principalmente de óxidos puros o combinaciones minerales de ellos entre los que se encuentran las arcillas, sílice, bauxita, magnesita, dolomita y cromita. Si se realiza la combinación de materiales se

deberá tener en cuenta que el incremento de una cantidad apreciable de material fundente hará que descienda el punto de fusión del material principal de acuerdo a los diagramas de fases correspondientes para esos materiales.

En la industria moderna se conoce como refractarios a los productos cerámicos fabricados con óxidos de elevado punto de fusión, particularmente SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , etc. No obstante el carbón es actualmente un refractario importante y los carburos, nitruros, boruros, se están desarrollando para el trabajo a altas temperaturas. Algunos metales como el Mo, Cr, W, son refractarios y encuentran aplicación en aparatos de investigación.

Otros materiales refractarios importantes son el asbesto y aquellos materiales que si bien no poseen un elevado punto de fusión se utilizan como aislantes en trabajos de baja temperatura. El asbesto al presentarse en forma de fibras favorece para que éstas se puedan utilizar en tejidos y de esa manera poder fabricar prendas que servirán como protectores.

Los productos refractarios utilizados en la construcción de los hornos son:

a. Ladrillos Refractarios

- Densos
- Aislantes

b. Morteros refractarios

- Morteros de fragua en frío
- Morteros de fragua térmica

c. Refractarios Monolíticos

- Castables o Concretos refractarios
- Refractarios Plásticos
- Refractarios Apisonables
- Refractarios Proyectables

3.2. CLASIFICACION DE LOS REFRACTARIOS

a. Por su composición:

- Refractarios Acidos.
- Refractarios Básicos.
- Refractarios Neutros.
- Refractarios Especiales o Raros.

**** Por su Refractariedad:** Esta clasificación rige para los refractarios de sílice-alúmina con 20 a 45% de Al_2O_3 .

- | | | | |
|---|------------------|--------|---------|
| - | Bajo servicio | C.P.E. | 19 - 28 |
| - | Mediano servicio | | 28 - 30 |
| - | Fuerte servicio | | 30 - 33 |
| - | Super servicio | | > 33 |

3.2.1. REFRACTARIOS ACIDOS

Son productos de arcillas refractarias recomendados para usarse en diversas condiciones de operación no muy severas, como en cámaras de combustión, calderos, incineradores, hornos metalúrgicos, hornos de cemento, vidrio y cerámica.

Los manufacturados con cuarcitas seleccionadas, se usan principalmente en la construcción de las bóvedas de los hornos de vidrio, hornos de coque, hornos eléctricos, hornos reverberos,

convertidores, cubilote. Son productos de reacción química ácida.

3.2.2. REFRACTARIOS BASICOS

Son los materiales refractarios más usados en los hornos metalúrgicos y que se fabrican con los minerales de Magnesita y Cromita o la mezcla de ambas. Se les denomina comúnmente como refractarios de magnesita, magnesita-cromo, cromo-magnesita o cromo. Se usan en hornos metalúrgicos, hornos de fundición, hornos de cemento, regeneradores de hornos de vidrio, hornos eléctricos, paredes y bóvedas de reverbero.

3.2.3. REFRACTARIOS NEUTROS

No son atacados por las escorias básicas o ácidas y se usan en vez de los refractarios básicos en los casos que la acción corrosiva es intensa. Entre ellos tenemos:

Varias formas de carbón, grafito, cromita artificial o mineral de $FeO.CrO_3$. Refractarios tales como el carburo de circonio (punto de fusión $3530^{\circ}C$), carburo de Niobio ($3800^{\circ}C$) y carburo de Tántalo ($3800^{\circ}C$), éstos se preparan en el horno eléctrico y sólo se usan para casos especiales.

3.2.4. REFRACTARIOS ESPECIALES O RAROS

En esta categoría se encuentra los refractarios nuevos de reciente descubrimiento o por ser muy caros. Casi todo su uso se da para fines de investigación y entre otros usos aislados (energía atómica y tecnología de turbinas de gas).

Dentro de esta categoría también se puede clasificar en ácidos, básicos y neutros; así tenemos a los óxidos de Berilio (2450°C), Titanio, dióxido de Cerio (1950°C), dióxido de Zirconio (2700°C), dióxido de Torio, etc.

3.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACION DE REFRACTARIOS

MATERIALES ACIDOS	TEMPERATURA DE FUSION (°C)
<i>Oxido de zirconio</i>	2303
<i>Zircón</i>	2300
<i>Sílice</i>	1700
<i>Semisílice</i>	1680
<i>Arcilla refractaria</i>	1744
<i>Caolín</i>	1785
<i>Sillimanita</i>	1810
<i>Mullita</i>	1750
MATERIALES NEUTROS	TEMPERATURA DE FUSION (°C)
<i>Bauxita</i>	2025
<i>Alúmina</i>	2031
<i>Carbono</i>	<i>Infusible</i>
<i>Carburo de silicio</i>	2700
<i>Oxido de cromo</i>	2050
<i>Oxido de cromo aluminio</i>	1750
<i>Oxido de cromo magnesio</i>	2050

MATERIALES BASICOS	TEMPERATURA DE FUSION (°C)
Magnesita	2000
Magnesita-cromo	2050
Cromo-magnesita	1980
Cromita	1770
Periclasa	2800
Dolomita	2985
Forsterita	1890
MATERIALES ESPECIALES O RAROS	TEMPERATURA DE FUSION (°C)
Oxido de berilio	2450
Oxido de titanio	1950
Dióxido de cerio	1950
Dióxido de circonio	2700
Dióxido de torio	2250

3.4. PROPIEDADES DE LOS REFRACTARIOS

Los refractarios dados al uso que van a ser destinados deberán de tener una serie de requisitos, siendo algunos de ellos muy imprescindibles y otros serán requisitos complementarios estas son:

- a. **REFRACTARIEDAD:** expresión de la resistencia térmica del producto, se expresa en C.P.E. (cono pirométrico equivalente).
- b. **CONDUCTIVIDAD TERMICA:** propiedad que orienta el flujo calórico en un sentido definido, con lo que

se logra obtener un correcto equilibrio térmico en el horno y el consiguiente ahorro energético.

- c. **RESISTENCIA A LOS CHOQUES TERMICOS:** resistencia al cambio de temperatura tal como ocurre en la calefacción y enfriamiento del horno, en las fluctuaciones que ocurre en la carga, descarga y operaciones normales.
- d. **RESISTENCIA A LOS ATAQUES QUIMICOS:** tales como el producto de:
 - reacciones entre refractarios.
 - reacciones entre metal fundido y refractarios.
 - reacciones entre escoria formada y el refractario.
 - reacciones entre refractario y los gases producido.
- e. **RESISTENCIA A LA ABRASION:** cuando hay impacto de partículas sólidas sobre la superficie refractaria la desgasta por raspadura o pulimenta.
- f. **RESISTENCIA A LA EROSION:** cuando hay impacto o flujo de fluidos que roen y destruyen al refractario.
- g. **RESISTENCIA A LA CORROSION:** cuando se suman las acciones indicadas en d y f, esto es cuando se roe o gasta por acción química.
- h. **EXPANSION TERMICA:** propiedad que permite construir en frío los hornos, de tal manera que en caliente, al alcanzar la temperatura de operación, los productos refractarios desarrollan un hermetismo

- completo, sin llegar a desarrollar esfuerzos excesivos ni a dejar unidades descompensadas estructuralmente.
- i. **RESISTENCIA A LA FLEXION:** capacidad para soportar las acciones mecánicas presentes en la estructura del horno. En los productos con unión cerámica disminuye con el aumento de la temperatura, pero en los productos directamente ligados aumenta con el incremento de la temperatura.
 - j. **RESISTENCIA A LA ROTURA EN FRIO:** capacidad de soportar un esfuerzo cuando es sometida a ella al medio ambiente.
 - k. **DENSIDAD:** relaciona al refractario con las principales características dependientes de la masa.
 - l. **POROSIDAD DEL REFRACTARIO:** está directamente relacionada con la densidad y muchas otras propiedades, incluyendo la resistencia al ataque químico, conductividad térmica y capacidad calorífica.

3.5. LADRILLOS REFRACTARIOS DENSOS

Los ladrillos refractarios densos son utilizados en un gran número de industrias, que dependen de determinado tipo de estructuras termorresistentes. Tienen alta conductividad térmica y baja porosidad.

Estos ladrillos refractarios son destinados para la construcción de las paredes, bóvedas y soleras de los hornos, calderos, reactores, etc. deben poseer una buena resistencia a la compresión, tanto a temperaturas

normales como a altas temperaturas. Deben tener al mismo tiempo una exactitud dimensional suficiente para poder instalarse con juntas finas, así como estabilidad dimensional al variar la temperatura de trabajo.

Las propiedades físicas de estos ladrillos deben ser de excelente fortaleza, estabilidad de volumen a altas temperaturas, baja porosidad y alta temperatura de vitrificación, cualidades que los hacen notablemente resistentes a las influencias que causan la desintegración térmica, mecánica o estructural.

La preparación de estos ladrillos se realiza teniendo en cuenta que deben resistir las acciones corrosivas de las escorias, gases nocivos, matas fundidas, los efectos químicos de los fundentes y las acciones térmicas continuadas con función saturante.

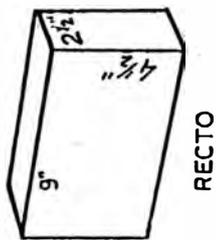
El uso de estos ladrillos es en los diferentes tipos de hornos y equipos expuestos a elevadas temperaturas (horno rotatorio, cerámico, cubilotes, cámaras de combustión y recalentamiento, secadores, calderos, reverberos, muflas, cucharas metalúrgicas, etc.)

3.6. LADRILLOS REFRACTARIOS AISLANTES

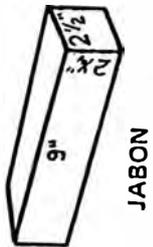
Es aquel refractario que tiene una conductividad térmica mucho mas baja que los ladrillos densos, los aislantes no están expuestos en el interior de los hornos porque se deterioran con gran facilidad, se funden o sufren otros desperfectos a la temperatura de trabajo.

Estos ladrillos contienen un gran número de poros, por lo tanto tienen poca resistencia mecánica. Las propiedades de estos ladrillos varían más que los

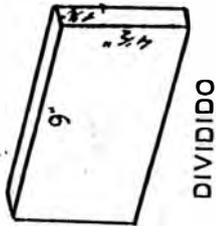
LADRILLOS REFRACTARIOS
 SERIE: 9" x 4 1/2" x 2 1/2"



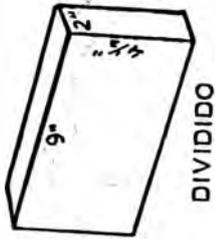
RECTO



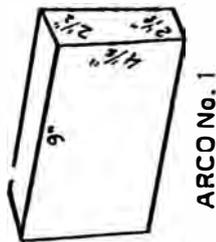
JABON



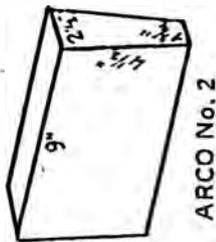
DIVIDIDO



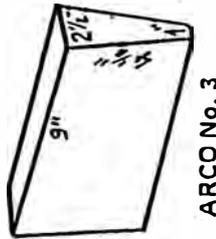
DIVIDIDO



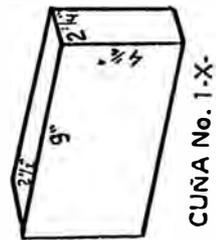
ARCO No. 1



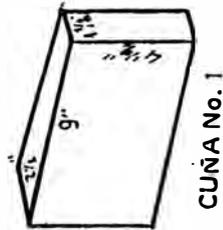
ARCO No. 2



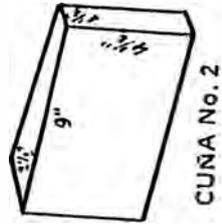
ARCO No. 3



CUÑA No. 1-X

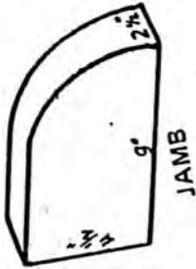


CUÑA No. 1

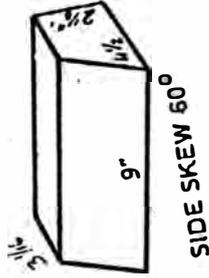


CUÑA No. 2

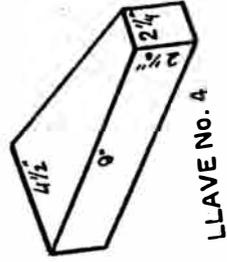
LADRILLOS REFRACTARIOS
SERIE: 9" x 4 1/2" x 2 1/2"



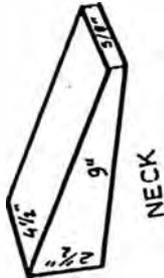
JAMB



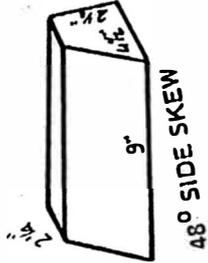
SIDE SKEW 60°



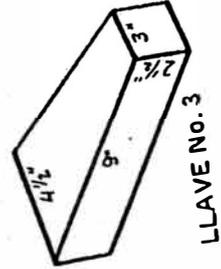
LLAVE No. 4



NECK



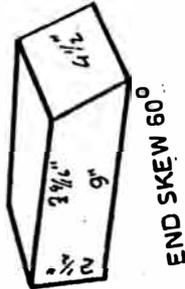
48° SIDE SKEW



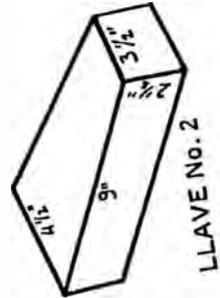
LLAVE No. 3



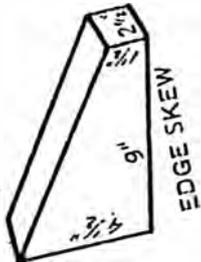
FEATHEREDGE



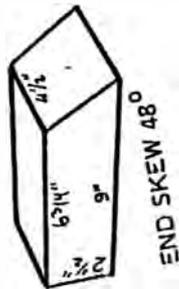
END SKEW 60°



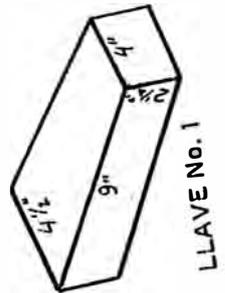
LLAVE No. 2



EDGE SKEW



END SKEW 48°



LLAVE No. 1

ladrillos densos, el tamaño y número de poros afectan a las propiedades.

Los ladrillos refractarios aislantes son ligeros en peso, lo cual es de gran ventaja para los hornos con campanas móviles, y por su gran ahorro en almacenamiento de calor.

Las ventajas que ofrecen estos refractarios son: la economía de calor, menor tiempo de trabajo, menor peso y menor espacio.

3.7. MORTEROS DE FRAGUA EN FRIO

Los morteros refractarios de fragua en frío son argamasas no hidráulicas que producen un pegamento estable aun sin la intervención del calor; forman juntas de unión que por acción de la temperatura se hace resistentes tanto a la abrasión como a la erosión y corrosión, lo que permite que las construcciones refractarias desarrollen una impermeabilidad a través de toda la pared y no simplemente en la cara caliente de la construcción.

Los morteros de fragua en frío o al "aire", consisten de materiales refractarios finamente molidos y mezclados con ligantes químicos; las sustancias ligantes son las que imparten a la mezcla las características de adhesividad que posee todo mortero y que mantiene la fortaleza de las construcciones, una vez secas, desde la temperatura ambiente hasta la temperatura en que se forme un pegamento o ligazón cerámico.

La composición química varia para cada mortero, de tal manera que se puede usar uno de estos morteros para

asentar el correspondiente tipo de ladrillo. Ejemplo morteros de fragua en frío con materiales de arcilla, bauxita, sílice y cromita.

3.7.1. CARACTERISTICAS

- a. Durante el secado y quemado producen sólo un mínimo encogimiento, que no origina rajaduras.
- b. Producen pastas con excelente trabajabilidad.
- c. Forman juntas de unión:
 - Muy fuertes y estables.
 - Prácticamente impermeables a gases y escorias.
 - Que pegan tanto la zona caliente como la zona fría del ladrillo refractario.
- d. No se descomponen ni con el calor ni con el frío, pero sí con la humedad.
- e. Dan seguridad a las juntas potencialmente débiles de una construcción refractaria.
- f. Aumentan la vida del horno y reducen las paradas de reparación.
- g. Necesitan solamente del añadido de agua fresca y limpia para tomar pastas muy trabajables.

3.7.2. FORMA DE APLICAR

- a. La superficie del ladrillo es cubierta con el mortero mediante un badilejo.
- b. La superficie del ladrillo es cubierta por inmersión en una lechada de mortero.

Para aplicar los morteros de fragua en frío se prepara en una batea una mezcla con el material de la bolsa, al que se le agrega solamente agua limpia, en cantidad suficiente para formar una

...pasta fluida y con la densidad deseada. Con esta pasta se pueden asentar ladrillos siguiendo cualquiera de los métodos indicados. Los mejores resultados se obtienen cuando la junta es mas delgada por eso se recomienda usar la forma (b) o sea por inmersión.

Los ladrillos asentados con mortero de fragua en frío deben calentarse suavemente, para expeler la humedad gradualmente y evitar la formación de grietas en el mortero. No es necesario humedecer los ladrillos previamente.

Es muy importante almacenar estos morteros en lugares secos y protegidos de la lluvia y la humedad.

3.7.3. USOS DE LOS MORTEROS REFRACTARIOS DE FRAGUA EN FRIO

Para el cementado del ensamblaje de las abrazaderas en las juntas de unión de los ladrillos de cuchara o en las instalaciones de colada en fuente de la siderurgia; en las paredes de los hornos de coquificación y en general para asentar ladrillos que requieren de uniones cerámicas fuertes y herméticas.

3.8. MORTEROS DE FRAGUA TERMICA

Los morteros refractarios de fragua térmica son la argamasas que se emplean para consolidar las construcciones hechas con ladrillos refractarios. Cuando las condiciones de operación alcanzan temperaturas que les permitan al mortero formar una unión cerámica efectiva entre los ladrillos. Para que las construcciones sean eficientes y duraderas los

morteros que se usan deben tener características similares a la de los ladrillos que unen, deben corresponderla en refractariedad y expansión térmica, deben ser compatibles en composición química y poseer una trabajabilidad buena y uniforme.

Estos morteros sólo desarrollan una buena consolidación cuando son calentados hasta la temperatura en que se forman los cuerpos cerámicos, por eso es que permiten una mayor flexibilidad a las expansiones y contracciones que se producen en la estructura refractaria, cuando se somete a la acción del calor.

La composición química varía para cada uno de estos morteros, pudiendo ser básica, neutra o ácida. Para cada relación ladrillo:mortero correctamente diseñada, cualquiera que sea el tipo de operación a que se someta, siempre se pueden formar juntas de unión con la mayor resistencia a la penetración y ataques de escorias, fluidos, o fundentes.

3.8.1. FORMA DE APLICAR

Los morteros refractarios de fragua térmica sólo necesitan del agregado de agua limpia y fresca para formar una masa de consistencia controlable con la que se puede recubrir los ladrillos que se quieren asentar, bien sea con badilejo o por inmersión en una lechada de mortero. Para obtener los mejores resultados debe usarse la menor cantidad de mortero en las juntas.

El efecto ligante comienza a producirse generalmente entre los 980°C y los 1100°C dependiendo de las propiedades físicas y composición del producto, pero en algunos casos

esta función consolidante del mortero recién se desarrolla a los 1200°C.

3.9. CASTABLES REFRACTARIOS

Los castables o concretos refractarios, son preparaciones formadas por gránulos de material refractario, molidos al tamaño adecuado, mezclados completamente con una cantidad precisa de cementos refractarios especiales, generalmente de fragua hidráulica, que con el agregado de una determinada proporción de agua se transforma en una mezcla muy trabajable que endurece rápidamente. Con los concretos refractarios se pueden hacer instalaciones nuevas o reparaciones a materiales refractarios que fallan o se deterioran en el servicio; se usan pues para reemplazar a los ladrillos refractarios convencionales, para fabricar de emergencia formas especiales complicadas, para reparar zonas del horno afectadas por desgaste físico o ataque químico y en general para hacer construcciones monolíticas, sin juntas de unión e impermeables.

3.9.1. PREPARACION

Los castables refractarios, se suministran en forma seca y para prepararlo necesitan solamente de ser mezclados con una cantidad de agua limpia y fresca, la cantidad varía generalmente entre 8-15% en peso. Como regla general se dice que la densidad final del producto está en la relación inversa de la cantidad de agua usada. Es indispensable uniformizar perfectamente la mezcla húmeda antes de instalarla. La preparación de la mezcla depende también del método que se usará para instalarlo, esto es:

- a. *Mezclado manual, para instalación con badilejo.*
- b. *Manual o mecánico, generalmente en función del tamaño de la obra, para instalación por vaciado en encofrados.*
- c. *Mecánico (automático) para instalación con pistola.*

3.9.2. INSTALACION

En las instalaciones hay que tener en cuenta dos factores: el primero es la forma de aplicación y el segundo es el fraguado.

Los castables se instalan bien sea con badilejo, mediante el vaciado en un encofrado o molde, o proyectando con una pistola neumática sobre la zona que se desea revestir. En las aplicaciones por vaciado es necesario vibrar, sacudir o rebullir el encofrado. Con el badilejo no hay que pulir la superficie.

Para obtener mejores resultados se usan los castables asegurándolos con anclajes, cerámicos o metálicos, contra la estructura del horno; si el molde o el material donde se instalará el castable absorbe humedad, es imperativo que sea mojado previamente, para evitar que tome agua del concreto y malogre el fraguado.

Una vez instalado el material hay que dejarlo fraguar; el fraguado dura 12 horas de "curado" más 24 horas de "secado".

3.9.3 CURADO

Consiste en cubrir con agua o mantener en ambiente húmedo toda la zona de aplicación, debido a que los concretos requieren agua para fraguar y desarrollar toda su resistencia; el "secado" debe hacerse al aire y sin aplicar calor, usando solamente las condiciones atmosféricas normales.

3.9.4. CALENTAMIENTO

Aún después del secado las obras hechas con "Castables" conservan todavía mucha humedad, por eso hay que calentarlas lentamente mientras expelen el agua residual. Es muy importante no calentar rápidamente cuando la instalación aún está húmeda; porque la evaporación violenta del agua produce rajaduras o despostillamientos. Una buena curva de calentamiento sería:

- a. Mantener durante 18 a 24 horas a 100°C.
- b. De 100°C a 340°C calentar con un incremento máximo de 10°C por hora.
- c. De 340°C en adelante subir libre, pero cuidadosamente, hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

Si no es posible seguir un ritmo tan lento se debe mantener en 200°C el mayor tiempo (24 - 36 horas) antes de subir a temperaturas superiores. Naturalmente que todo este esquema puede cambiar de acuerdo con la naturaleza del trabajo, que en efecto representa, la masa real de agua a eliminarse.

3.9.5. VENTAJAS DEL USO DE LOS CASTABLES

- a. *Eliminar los stocks de ladrillos de formas especiales.*
- b. *Permiten hacer reparaciones rápidas, seguras, eficaces.*
- c. *Facilitan el diseño y construcción de zonas vitales del horno.*
- d. *Desarrollan edificaciones monolíticas, fuertes, impermeables.*
- e. *Pueden ser aplicados fácilmente, no se necesita experiencia previa para hacer una buena instalación, basta seguir las instrucciones.*

3.10. PLASTICOS REFRACTARIOS

Los refractarios plásticos, son productos apisonables preparados cuidadosamente en forma de barro semi-seco con una trabajabilidad mayor de 15%, con ingredientes que producen la consistencia ideal de instalación y que desarrollan en operación las características apropiadas de un material refractario de su clase.

3.10.1. APLICACION DE LOS PLASTICOS REFRACTARIOS

La instalación de los productos refractarios plásticos es rápida, fácil y económica, tanto cuando se hace una construcción nueva como cuando se hace una reparación sobre material ya usado. En cualquier caso desarrollan obras monolíticas, sin juntas de unión, que producen revestimientos sellados y prácticamente impermeable a los gases.

Por razones de estabilidad estructural y resistencia mecánica el material debe ser sujetado fuertemente a las paredes del horno mediante anclajes cerámico y/o metálicos.

Puesto que la instalación de los productos refractarios plásticos se hacen con las técnicas generales del apisonamiento, debe seguirse cuidadosamente esta secuencia:

- a. Separar las tajadas del producto.*
- b. Compactar con martillo.*
- c. Asegurar con anclajes.*
- d. Emparejar sin pulir.*
- e. Hacer juntas de expansión y respiraderos.*
- f. Secar lentamente a temperatura ambiente.*
- g. Calentar lentamente y llevar a temperatura de trabajo.*

3.10.2. USOS DE LOS PLASTICOS REFRACTARIOS

Los productos refractarios plásticos se recomiendan en instalaciones de bóvedas en hornos eléctricos de acerías; para recubrir o parchar hornos de tratamiento térmico en zonas de mayor impacto térmico; para hacer bloques de quemadores; para construir pisos, bóvedas y paredes de hornos de recalentamiento; cámaras de combustión de hornos de pelletización; paredes de hornos de foso; hogares de calderos; revestimientos de cubilotes, cucharas, canales de colada, sangrías de hornos metalúrgicos, etc.

3.10.3. CARACTERISTICAS

- a. Gran fortaleza mecánica en altas temperaturas.*
- b. Excelente resistencia al impacto mecánico, a la erosión y a la abrasión.*
- c. Baja porosidad y permeabilidad.*
- d. Buena resistencia a la penetración de escorias y metales líquidos, principalmente cuando se usan productos grafitados.*

e. *Alta resistencia a los cambios bruscos de temperaturas.*

Excelente resistencia al impacto mecánico, a la abrasión, corrosión y desgastes semejantes principalmente cuando se usan productos fosfatados.

3.11. MATERIALES APISONABLES

Son mezclas granulares de materiales refractarios, diseñados para instalarse por apisonamiento y desarrollar estructuras monolíticas densos, fuertes y seguros.

Refractarios granulares semejantes a la arena húmeda. Se colocan con apisonables neumáticos. Se emplea para pisos de hornos de fundición, hornos de hogar abierto y hornos de arco, para la industria del acero.

El material se mezcla con agua y se apisona en el lugar deseado, a mano o con martillo neumático. Al completar una capa se deja pequeñas aberturas de más o menos 2" de profundidad cada 3" entre centro, para permitir que escape el vapor al secar.

3.12. PROYECTABLES

Tienen la misma composición que los castables pero con diferente granulometría. Los materiales toscos tienden a segregarse y rebotar al emplazarlos (hasta el 50%) se usa pistola neumática para su aplicación. Se emplazan en húmedo o en seco; en húmedo se pre mezcla con agua en cámara de vacío antes de proyectar, la consistencia es de barro. En seco toma la humedad al pasar el material por la boquilla de la pistola; este método permite una aplicación gruesa.

Se preparan diferentes mezclas para proyectado, con diferentes temperaturas máximas de servicio, densidad luego de secado, resistencia a la compresión en seco, conductividad térmica, etc.

3.13. REFRACTARIOS DE FORMAS ESPECIALES

Son piezas refractarias de formas especiales, estas pueden ser: bloques, juntas, ladrillos corrugados, recipientes, boquillas de quemadores, tubos, anclajes, bandejas y otros accesorios de horno.

Como ejemplo podemos citar las retortas que sirven como receptáculos para la destilación de Zinc y se fabrica en forma de botella o de tubo de caras planas. Los tubos, varillas y agitadores sirven para el transporte y la agitación de metales fundidos.

La fabricación de estos refractarios se pueden realizar en cualquier tipo de material refractario.

3.13.1. REFRACTARIOS ESPECIALES DE CARBONO

Tienen alta refractariedad con estabilidad de volumen satisfactorio, extensa gama de resistencia al ataque químico, baja expansión térmica, alta resistencia al choque térmico, resistencia satisfactoria a temperaturas altas; no reaccionan con las escorias del hierro fundido, poseen una conductividad térmica relativamente alta. Es oxidado por el aire por encima de 350°C, y reacciona con el agua a temperaturas superiores a 590°C y con el dióxido de carbono por encima de los 700°C. Los residuos alcalinos del alto horno lo atacan por encima de los 815°C.

3.13.2. REFRACTARIOS ESPECIALES DE CARBURO DE SILICIO

Tienen capacidad muy elevada de soporte de cargas tanto en frío como en caliente; resistencia al resquebrajamiento, características de transmisión de calor, resistencia muy notable a la reducción, a las escorias ácidas, a la adherencia y penetración de las escorias y a la abrasión mecánica; alta refractariedad; resistencia moderada a la oxidación en el intervalo de 800 a 1200°C, pero satisfactoria fuera de dicho campo, resistencia eléctrica muy reducida a altas temperaturas.

3.13.3. CRISOLES Y ESCORIFICADORES O CAPSULAS DE TOSTACION

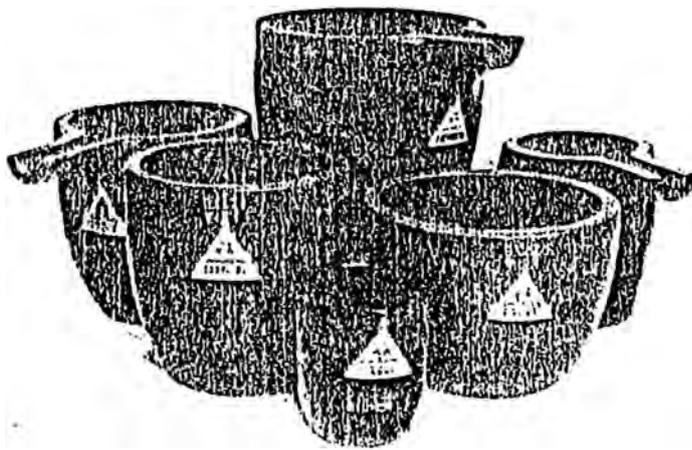
Los crisoles son vasijas muy refractarias de boca ancha utilizadas para calentar diversos materiales y en particular para la difusión de metales, aleaciones etc. Sus tamaños varían desde 1 pulgada de altura hasta 30 pulgadas.

Los escorificadores o cápsulas de tostación son recipientes poco profundos fabricados a partir de los mismos materiales y por los métodos similares a los utilizados en el caso de los crisoles. Se utilizan también para exposición de minerales al aire a alta temperatura, a fin de oxidar uno o más constituyentes.

Las características principales de los crisoles y escorificadores son:

- a. Refractariedad suficiente para soportar cualquier temperatura a la cual se ha de exponer.

CRISOLES



- b. Resistencia al choque térmico.
- c. Densidad suficiente para no ocasionar pérdidas de contenido por absorción.
- d. Resistencia a la acción corrosiva del contenido, por ejemplo, óxidos metálicos, escorias, cenizas y gases.
- e. Resistencia para soportar el contenido cuando se transporta en caliente.

CRISOLES DE ALUMINA

Poseen elevada refractariedad a los álcalis en ebullición o fundidos, alta conductividad térmica. Tienen resistencia elevada a las escorias ácidas y básicas.

Son fabricados de la siguiente manera:

- a. Bauxita, diáspora con adición de arcilla refractaria.
- b. Corindón sinterizado y aglutinantes.
- c. Alúmina fundida y aglutinante.

Estos crisoles son utilizados para análisis de carbones, fusión de metales raros y de aleaciones de alto punto de fusión.

CRISOLES DE GRAFITO O PLUMBAGINA

Son crisoles refractarios de alta conductividad térmica y resistencia al choque térmico, con escasa tendencia a la oxidación de su contenido. De elevada resistencia química, excepto a la oxidación.

Son fabricados de grafito, carbón vegetal o coke, arcilla refractaria plástica que se vitrifique a temperaturas relativamente bajas pero que no

experimenten post-contracción alguna.

Estos crisoles son utilizados para la fusión de aceros, latones, cobre, aluminio, antimonio y diversas aleaciones.

Para la fabricación de crisoles de grafito, se utiliza 20-30% de brea o alquitrán de carbón, 20-30% de grafito y 50-60% de carburo de silicio.

CRISOLES DE CARBURO DE SILICIO

Son de alta conductividad térmica, por lo que permite el ahorro de energía; de resistencia elevada al choque térmico y al resquebrajamiento. Con estos crisoles se obtiene productos limpios. Tienen elevada resistencia química.

Son fabricados con carburo de silicio, arcilla plástica y aglutinantes, luego prensados en seco.

Son utilizados para la fundición ferrosa y no ferrosa.

CAPITULO IV

FABRICACION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

4.1. GENERALIDADES

Los procesos de fabricación de los productos refractarios son muy variados. Las operaciones preliminares de trituración, molienda, purificado, lavado y clasificación, dependen de las condiciones de las materias primas.

La materia prima requiere trituración seguida por molienda en seco o en húmedo hasta obtener diversos grados de finura. Los materiales individuales precisan de diferentes máquinas para esto conforme a su tamaño de grano, dureza y tipo de fractura.

La materia prima se trata en seco, plástico o húmedo. La preparación seca puede llevar consigo secado, trituración, molienda. La preparación plástica puede incluir también trituración, molienda, mezclado y amasado. La preparación húmeda se emplea únicamente para pastas de alta calidad.

El método de fabricación influye especialmente en la distribución de la porosidad y por ende en la densidad del refractario. Muchos refractarios especiales dependen no solo de los materiales empleados sino de los métodos de formación. Algunos métodos son los tradicionales y otros son exóticos.

En la actualidad los métodos más importantes para la fabricación de productos refractarios se clasifica según el estado de la arcilla empleada.

- a. *Proceso plástico de corte.*
 - *Extrusión*
- b. *Proceso plástico compacto.*
- c. *Proceso en seco o semiplástico.*
 - *Prensado en seco*
 - *Apisonado*
- d. *Proceso de prensado en caliente.*
 - *Prensado isostático*
 - *Prensado a alta presión*
 - *Prensado continuo*
- e. *Proceso de colada.*
 - *En frío*
 - *En caliente (electrofundido y/o electrocolado)*

4.2. PREPARACION MECANICA DEL MATERIAL ANTES DEL PROCESO DE FORMACION

4.2.1. TRITURACION

Es una operación que consiste en la reducción de tamaño de rocas grandes a fragmentos de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ " utilizando fuerzas de compresión y en menor proporción fuerzas de fricción, flexión, cizallamiento u otras.

Se realiza en máquinas que se mueven a velocidad media o baja en las cuales se consume una apreciable proporción de energía produciendo calor y sonido, por lo que se consideraba que su eficiencia era muy baja respecto a las eficiencias obtenidas en molienda.

Para la fabricación de productos refractarios solo es necesario realizar la trituración primaria debido a que son frágiles y tamaño máximo de 8" a producto de $\frac{1}{8}$ " a $\frac{3}{4}$ ".

4.2.2. MOLIENDA

Es aquella operación mediante la cual, se realiza una reducción de tamaños en rangos deseados. Los aparatos en los que se realiza generalmente son cilindros rotatorios forrados interiormente con materiales resistentes, cargados en una fracción de su volumen con mineral y el medio moledor (barras, bolas, guijarros, etc.), que al girar el molino ejercerán fuerzas de desgaste y/o impacto sobre el mineral reduciendo su tamaño.

La molienda puede realizarse en húmedo, con pulpas de 60 a 70% de sólido o en seco con materiales de 7% de humedad como máximo. En ambos casos los consumos energéticos son altos y representan un elevado porcentaje de los costos operativos.

4.2.3. TAMIZADO

Es la separación por el tamaño o volumen de un conjunto de partículas en dos o más fracciones. La forma más usual de determinar los tamaños de un conjunto de partículas es mediante el análisis granulométrico por una serie de tamices.

Durante el tamizado, la separación por tamaño se produce por la acción de superficies planas ó curvas, con aberturas de un tamaño definido, sobre las cuales se alimenta el material que se desea tamizar.

La inclinación de la superficie o su movimiento, hará que el material fluya y al mismo tiempo sufra una estratificación en la que las partículas grandes se sitúan en la parte superior, mientras que las finas pasarán el lecho de partículas gruesas por los espacios vacíos y llegaran a la superficie del tamiz atravesándola si las aberturas son mayores a ellas.

4.2.4. CLASIFICACION

Es la separación de un conjunto de partículas de tamaños heterogéneos en dos porciones, cada una conteniendo partículas de granulometría más específica que el conjunto original. La clasificación se realiza por diferencia de tamaño y de gravedad específica que originan diferentes velocidades de sedimentación entre las partículas en un fluido (agua o aire), cuando sobre ellas actúan campos de fuerzas como gravitatoria u otros.

La clasificación se realiza generalmente para productos finos así por ejemplo para castable se requiere una granulometría de -10μ $+100\mu$, de -100μ para morteros refractarios. Esto se consigue utilizando ciclones para clasificarlos.

EQUIPO DE TRITURACION

TIPO DE MATERIAL Especificaciones	DURO Se rompe con poco fino	MEDIO Se rompe en cubos	MEDIO Se pulveriza con muchos finos	BLANDO Se disgrega en finos facilmente
ELEMPLOS	Cuarcita, roca de ganister o arcilla de pedernal dura	Arcilla de pedernal algunas pizarras	Ciertas arcillas de pedernal, pizarras	Pizarras blandas, arcilla refractaria plastica
TRITURADORA DE QUIJADA	Trituracion primaria	Rara vez	Rara vez	Nunca
TRITURADORA GIRATORIA	Trituracion primaria y secundaria	Rara vez	Rara vez	Nunca
TRITURADORA DE RODILLO SIMPLE	Nunca	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
TRITURADORA DENTADO DE DOBLE RODILLO	Nunca	Satisfactorio si no es demasiado duro	Satisfactorio si no es demasiado duro	Excelente con arcilla helada o humeda
TRITURADORA DE CABEZA CORTA O GIRATORIA	Satisfactorio, produce un minimo de finos	Nunca	Nunca	Nunca
TRITURADORA DE RODILLOS LISOS DEBILES	No satisfactorio para materiales abrasivos	Produce un minimo de finos	Produce un minimo de finos	Se utiliza algunas veces

EQUIPO DE MOLIENDA

TIPO DE MATERIAL Especificaciones	DURO Se rompe con poco fino	MEDIO Se rompe en cubos	MEDIO Se pulveriza con muchos finos	BLANDO Se disgrega en finos facilmente
MOLINO O PLATAFORMA SECA CON REBORDE ELEVADO	No satisfactorio para materiales abrasivos	Produce menos finos que la plataforma seca	Usualmente produce suficientes finos	Satisfactorio, en especial si el material esta humedo o helado
MOLINO DE MARTILLO CON PARRILLAS	Nunca	Satisfactorio, pero puede sufrir un rapido desgaste	Generalmente satisfactorio	No satisfactorio para materiales humedos
MOLINO DE IMPACTO SIN PARRILLA	Algunas veces, pero no satisfactorio para materiales abrasivos	Satisfactorio, generalmente produce menos finos que la plataforma seca	Satisfactorio	Puede utilizarse con materiales humedos si no son demasiados pegajosos
MOLINO DE BOLAS (el material debe estar seco, o hacerse fluido con agua)	Excelente para molienda mas fina que 40 mallas. Satisfactorio para material abrasivo	Satisfactorio para finos si el material esta seco	No se necesita	No se necesita
MOLINO DE BARRAS (el material debe estar seco, o hacerse fluido con agua)	No produce muchos finos	Produce menos finos que la plataforma seca	No se necesita	No se necesita
MOLINO DE RODILLOS Y ANILLOS	Nunca	Rara vez. No debe utilizarse nunca con abrasivos	Satisfactorio si esta seco	Satisfactorio si esta seco

4.3. METODOS DE FABRICACION DE LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS

4.3.1. PROCESO PLASTICO DE CORTE

EXTRUSION.— Se emplea una masa de alta plasticidad, siendo el contenido de humedad de 15 a 20%. Su empleo más importante es para la manufactura del ladrillo Recto para la construcción de las paredes de los hornos.

En el proceso plástico de corte no se emplean moldes para modelar los ladrillos. El principio de este método de formación es la extrusión de una columna continua de pasta de arcilla plástica mediante una extrusora y una matriz. Esta forma las dimensiones externas del producto. La columna se corta luego en ladrillos mediante máquinas cortadoras de alambre o cizalla.

4.3.2. PROCESO PLASTICO COMPACTO

En este proceso el contenido de agua varía de 10 a 15% según la arcilla empleada y la clase de producto que debe formarse.

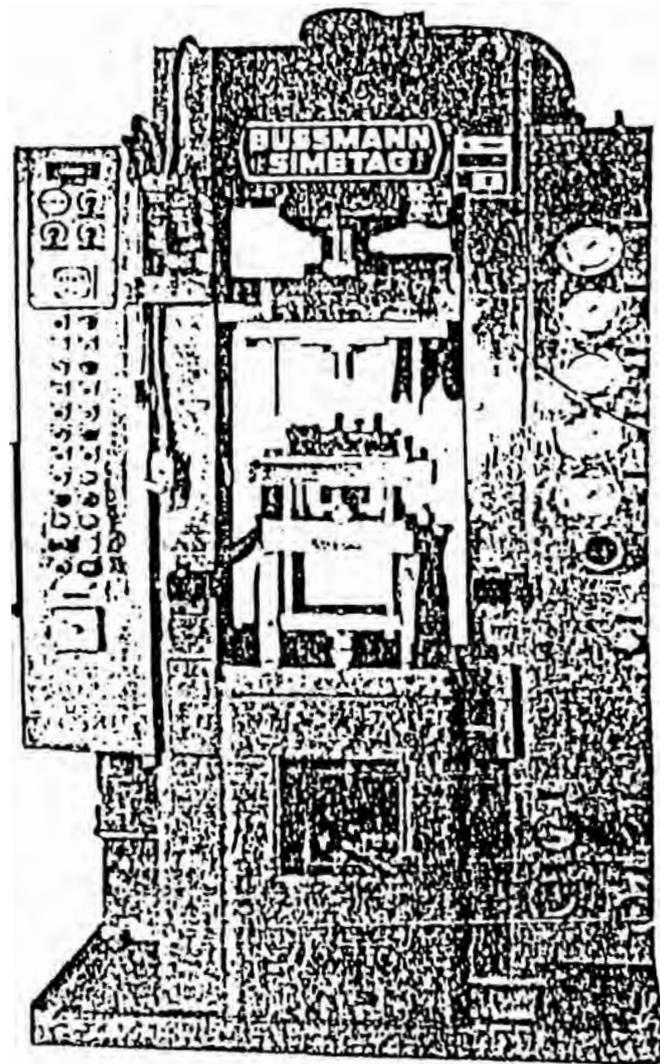
La pasta plástica es inyectada a un molde cerrado luego es prensado. Al prensar el plástico compacto es conveniente que la presión se mantenga sobre el ladrillo durante un tiempo considerable.

Cuando se requiere ladrillos de un alto grado de acabado (ladrillos menos porosos), se reprensan.

4.3.3. PROCESO EN SECO O SEMIPLASTICO

PRENSADO EN SECO.— El material utilizado en este proceso deberá tener una humedad de 5 a 7%. La cohesión de las partículas de arcillas es

PRENSA HIDRAULICA AUTOMATICA



producida por las máquinas prensadoras de hacer ladrillos, ejerciendo una presión muy elevada (500 a 12000 lb/pulg²).

Cuanto más seco sea el material, mayor será la presión requerida para cohesionar a las partículas. A mayor presión ejercida sobre el ladrillo al prensarlo habrá una mejor reacción de los granos de arcilla al quemarse y el ladrillo será de mayor densidad.

APISONADO.— La pasta para apisonar debe contener hasta 90% de material no plástico y 10% de arcilla plástica empleado como aglutinante. La pasta mezclada tiene un contenido de agua de 5 a 6%.

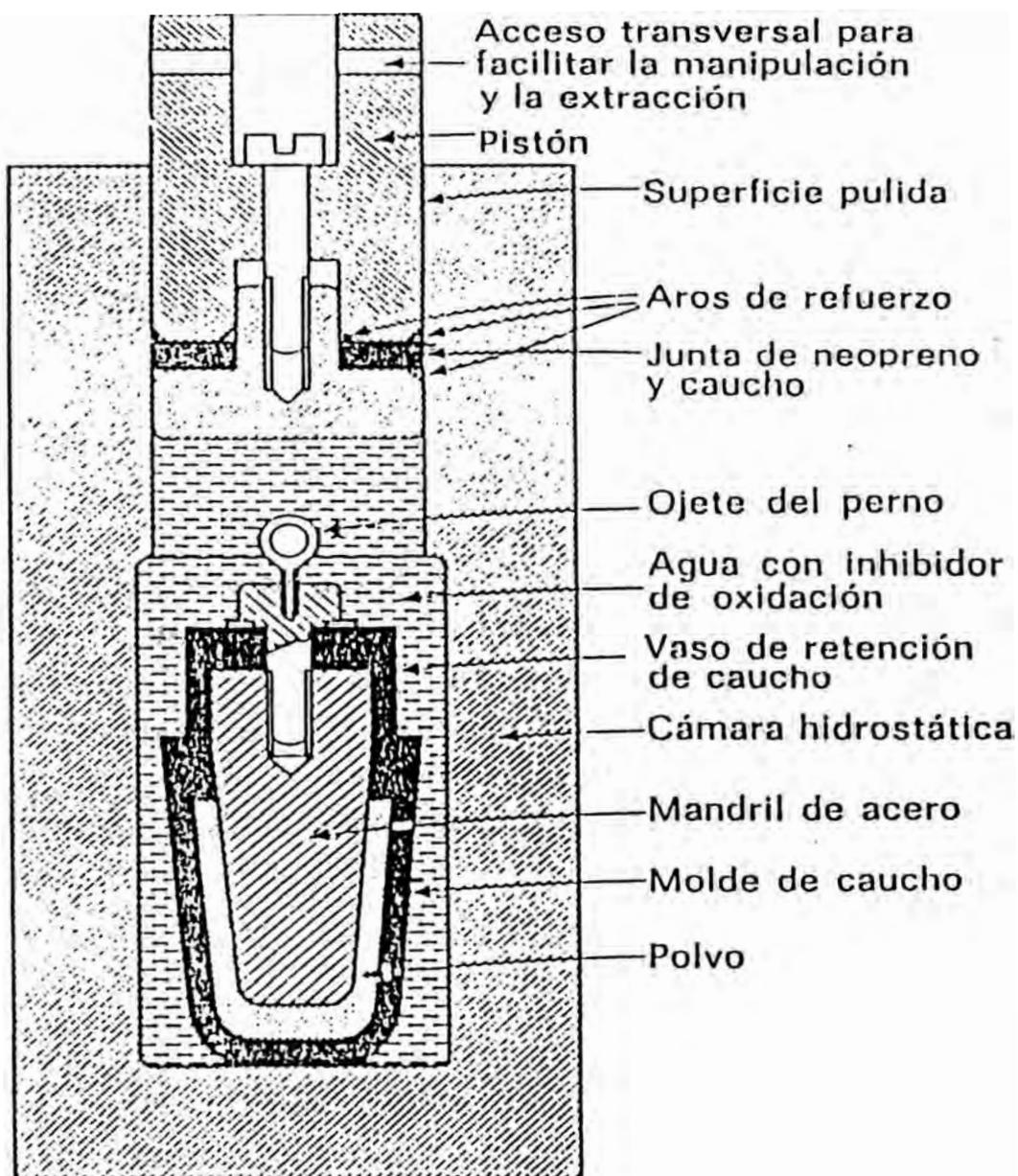
El moldeo se hace en moldes de madera o metálicos. El material se agrega gradualmente y se apisona con un martillo neumático. Se produce inmediatamente una fuerte unión, de tal forma que la pieza pueda sacarse en seguida del molde. Se registran contracciones en el secado y la cochura, por lo que pueden conseguirse formas exactas.

Este método se utiliza ampliamente para bloques refractarios de sílice, arcilla refractaria, con proporción elevada de chamota, corindón, carburo de silicio, sillimanita, etc.

4.3.4. PROCESO DE PRENSADO EN CALIENTE

PRENSADO ISOSTÁTICO.— El moldeo se realiza en moldes de grafito o carburo de silicio, a una temperatura menor a la de sinterización de las arcillas que lo componen y una presión de 400 a 1000 lb/plg².

PRENSADO ISOSTATICO DE UN CRISOL



Este método es el más utilizado para refractarios de óxido puro y cuando se requiere que el refractario tenga una alta densidad.

PRENSADO A ALTA PRESION.- *Se realiza en un ambiente cerrado que opera a temperatura relativamente baja pero a alta presión (10000 a 12000 lb/plg²). Se usa para materiales altamente reactivos o si se requiere mínima recristalización secundaria o crecimiento de gránulos submicroscópico.*

PRENSADO CONTINUO.- *Se usa alta tensión térmica en una matriz que tiene fondo cerámico sacable de 95% de Al₂O₃ y un dispositivo de presión refrigerado con agua. Se compacta obteniéndose un producto denso.*

4.3.5. PROCESO DE COLADA

EN FRIO.- *Básicamente el proceso de colada consiste en la adición cuidadosa de productos químicos a la pasta para producir una barbotina que tenga buenas propiedades de flujo con contenido mínimo de agua, la cual se transporta y vierte en moldes de yeso donde la doble acción de eliminación de agua y floculación, por el sulfato cálcico del molde, hace que la pasta se endurezca. Seguidamente la pieza colada se seca y se contrae separándose de las paredes del molde. A continuación se extrae de éste, se cepilla, se ensambla si es necesario y a partir de este momento se trata como los materiales de moldeo plástico.*

El proceso de colada se utiliza para moldear piezas especiales de cualquier tipo y cualquier pasta.

EN CALIENTE: Electrofundido y/o Electrocolado.-
Este proceso se realiza cuando la arcilla se encuentra en estado líquido y se realiza la colada en moldes de grafito o carburo de silicio, seguidamente se cubre estos moldes con grafito para evitar un enfriamiento brusco del molde colado y evitar así rajaduras o rompimiento del refractario formado a consecuencia de un choque térmico.

4.4. SECADO

Se realiza con la finalidad de eliminar la humedad de los productos refractarios en verde. Si este producto ingresa al horno con alto contenido de humedad resultará con deformaciones, rajaduras o se quebrará y para evitar esto se usan los siguientes métodos de eliminación de la humedad.

4.4.1. SECADO AL MEDIO AMBIENTE

Los productos refractarios recién moldeados se dejan secar al medio ambiente con la finalidad de obtener una humedad menor del 2%, esta forma de secado es frecuente en lugares de clima cálido. Son los de menor costo operativo.

4.4.2. SECADO EN PISO CALIENTE

Se realiza a temperatura regulada, calentados por conductos de vapor o de aire caliente que se recuperan de los hornos de cocción.

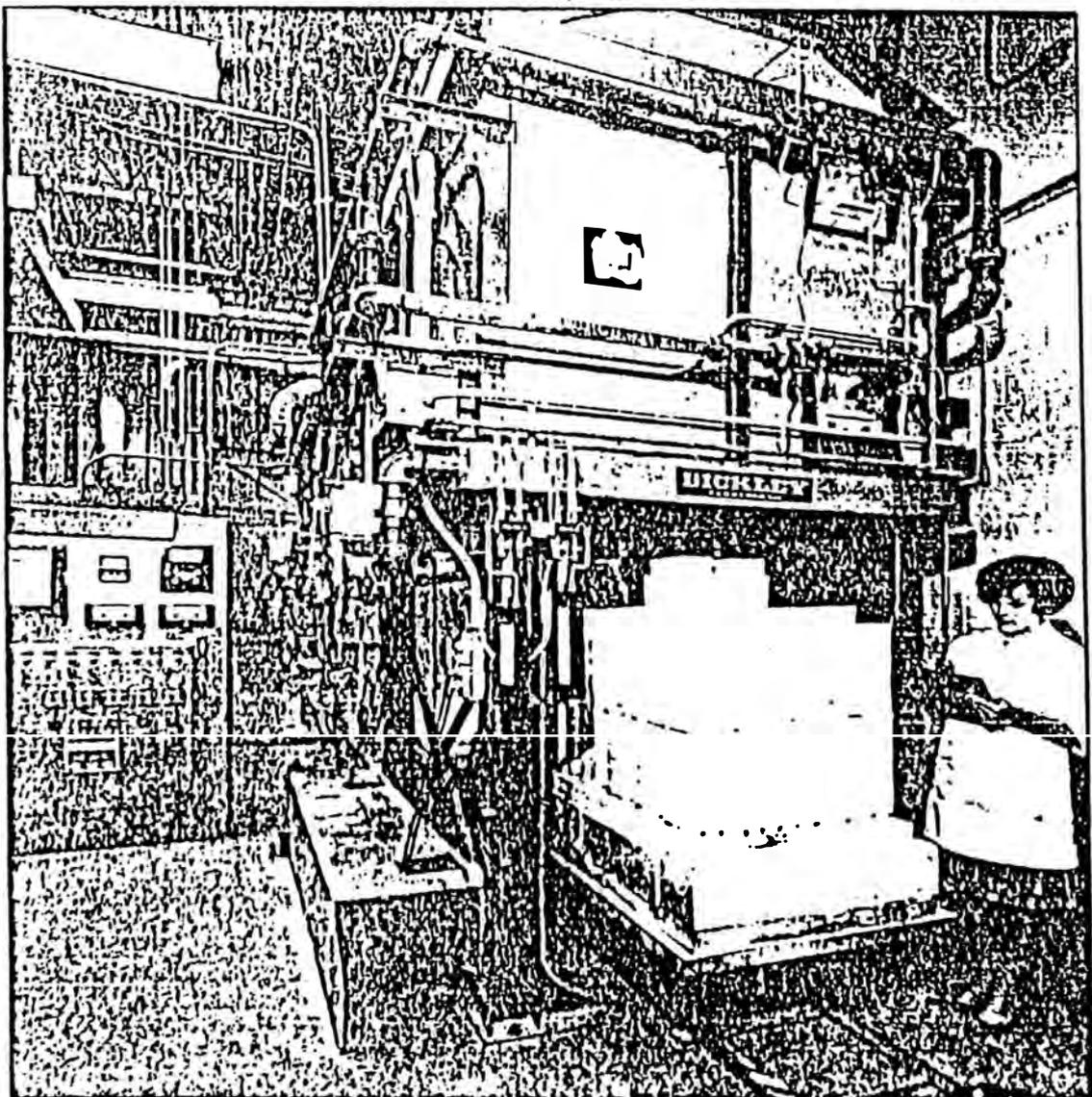
4.4.3. SECADO EN ESTUFAS O SECADORES

Son calentados por el calor residual de los hornos o por serpentines de vapor, se usan comúnmente para productos con alta humedad (>10%), o cuando la producción es en gran escala.

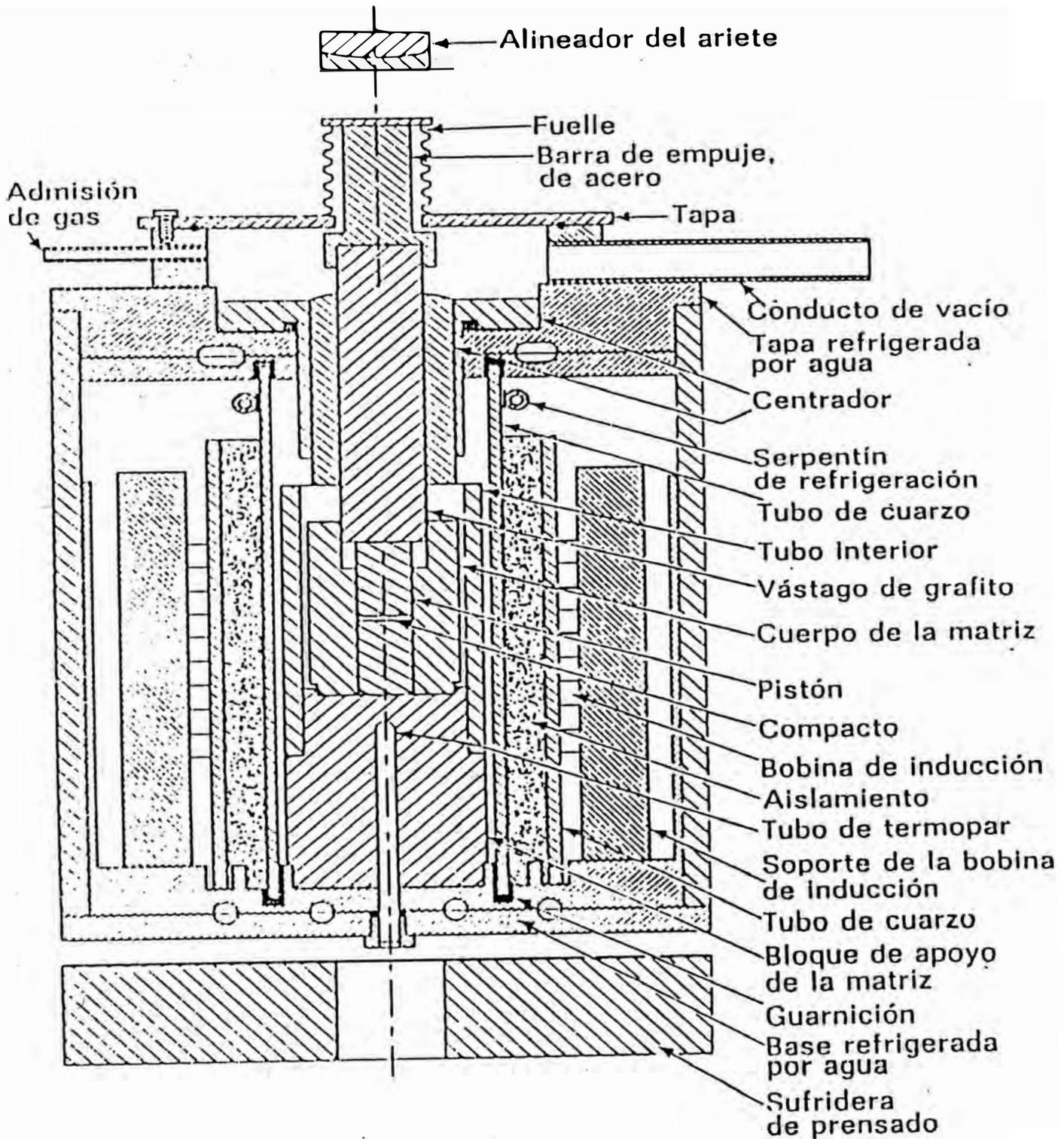
4.5. COCCION (Quema, Cochura)

Este es el tratamiento térmico final realizados en hornos de alta temperatura, al cual se somete al producto refractario para conseguir su sinterización y otras propiedades físicas y químicas necesarias para su posterior utilización.

HORNO ELECTRICO CON ELEVADOR
PARA LA COCCION DE REFRACTARIOS



HORNO DE PRENSADO EN CALIENTE



4.6. DIAGRAMA DE MANUFACTURA DE LADRILLOS REFRACTARIOS

Materia Prima

(Arcilla refractaria, chamota, abridores)

↓

Trituración

(Trituradora de quijada, rodillos, etc.)

↓

Tamizado

(Granulometría: Tosco, Mediano, Finos)

↓

Pesada y Homogenizado de la materia prima

↓

Mezclado

(Con adición de agua, ligantes, mineralizantes etc.)

↓

Maduración de la mezcla

Para homogenizar la humedad, ligante, etc. en toda la mezcla

↓

Tamizado

(Para homogenizar la granulometría de la mezcla)

↓

Moldeo

(Según el método conveniente)

↓

Secado a temperatura ambiente y/o estufa

↓

Cocción

(La temperatura de quema depende de la materia prima)

↓

Descarga a menos de 150°C

↓

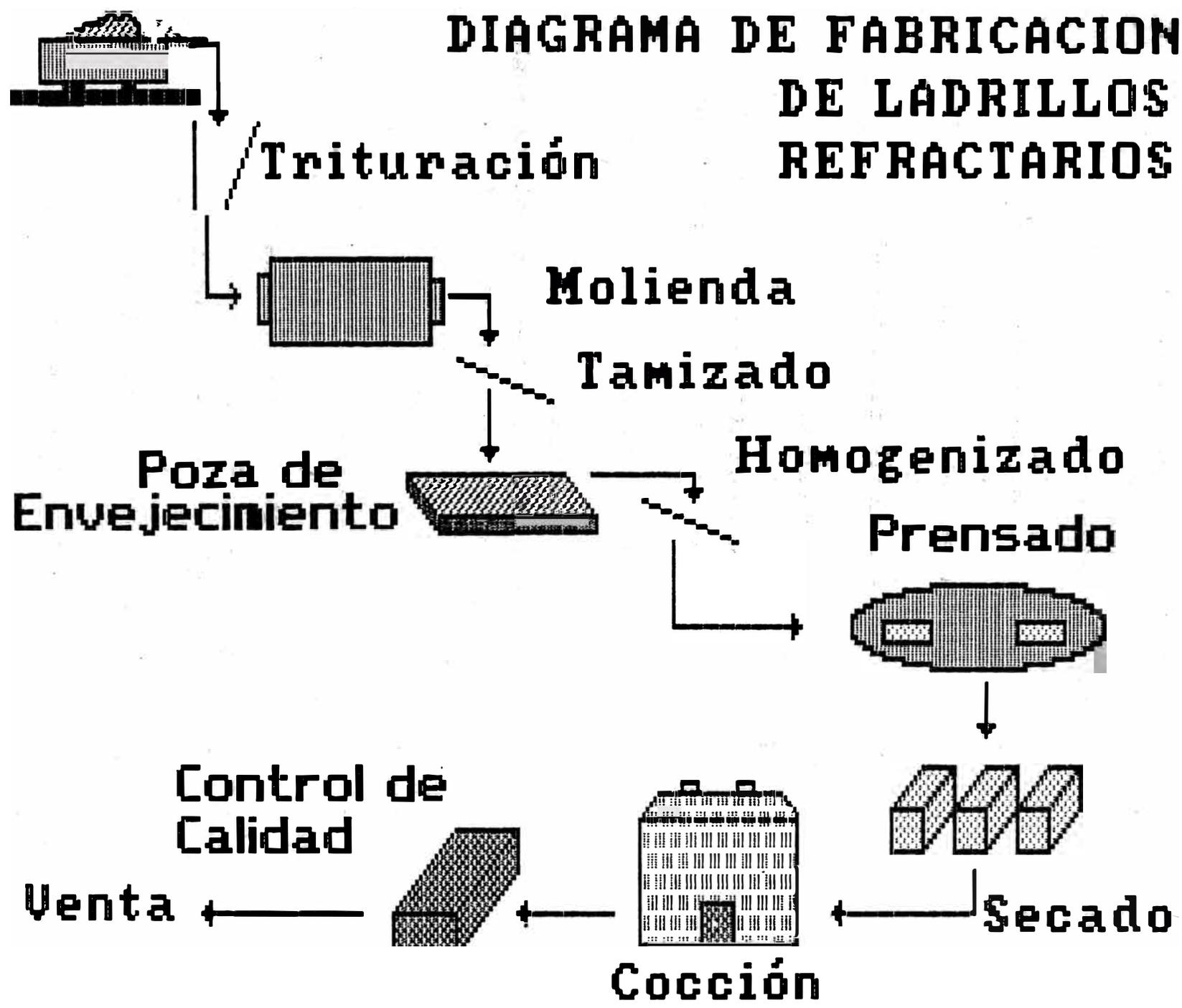
Control de calidad

↓

Producto defectuoso
Chamota

Producto bueno
Venta

DIAGRAMA DE FABRICACION DE LADRILLOS REFRACTARIOS



4.6.1 LADRILLO REFRACTARIO DE SILICE

Materia Prima (cuarcita)

↓

Trituración (chancadora de guijada)

↓

Tamizado (malla 2")

↓

Molienda (molino de martillo)

↓

Lavado (para eliminar arcillas)

↓

Tamizado

↓

45% Tosco -----	10% Mediano -----	45% Fino
-15m + 30m	-30m + 80m	-80m

↓

Homogenizado

↓

Mezclado

Agua 5%, Lechada de cal 1 a 2%, Lejía de sulfito 0.25%
Mineralizantes 1.5% Na₂O, 1.5% Fe₂O₃

↓

Maduración

↓

Tamizado

↓

Prensado (10000 a 12000 lb/plg²)

↓

Secado (menor a 2% de humedad)

↓

Cocción (1450 - 1500°C) 5 días

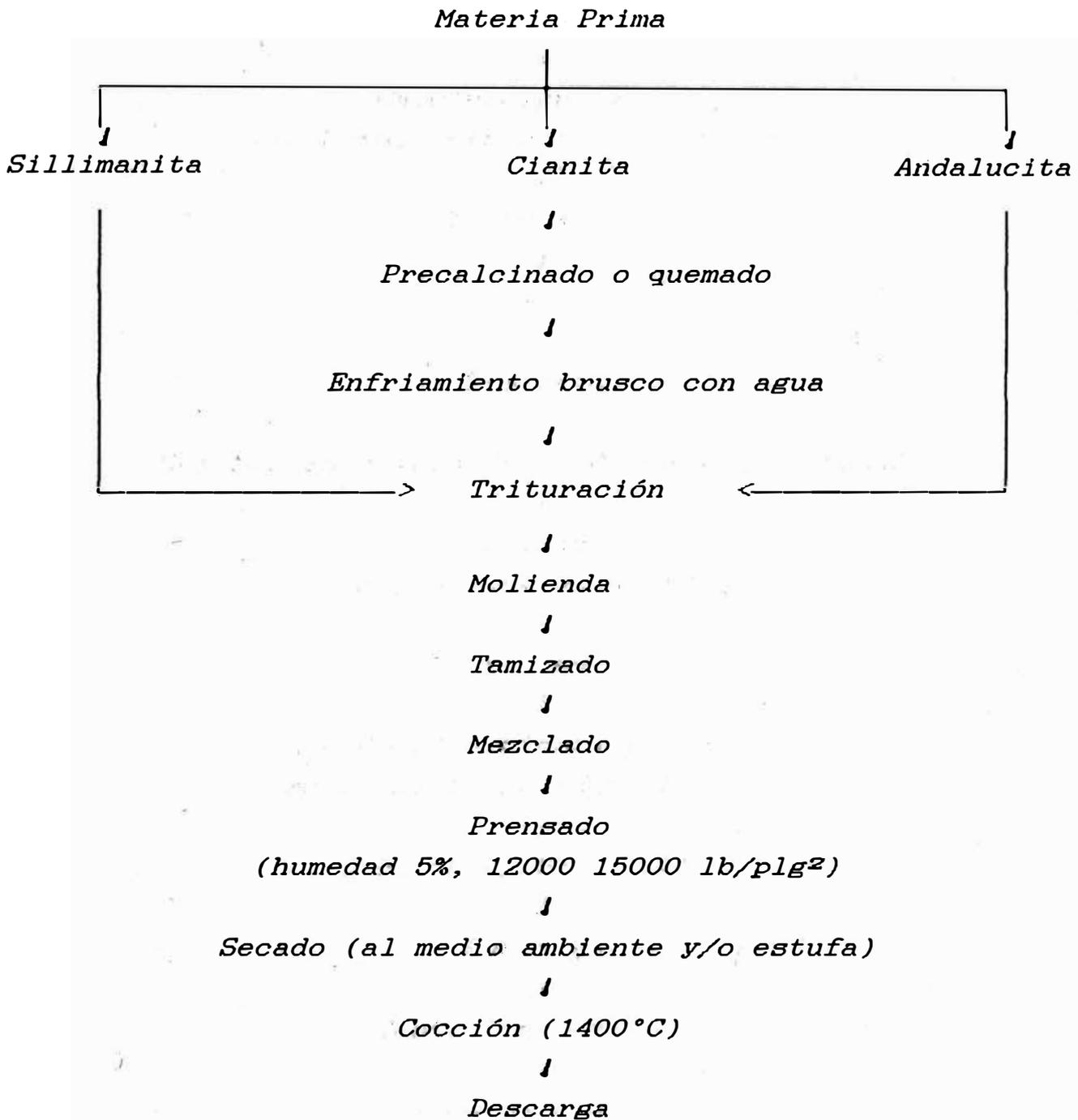
↓

Descarga (menos de 150°C)

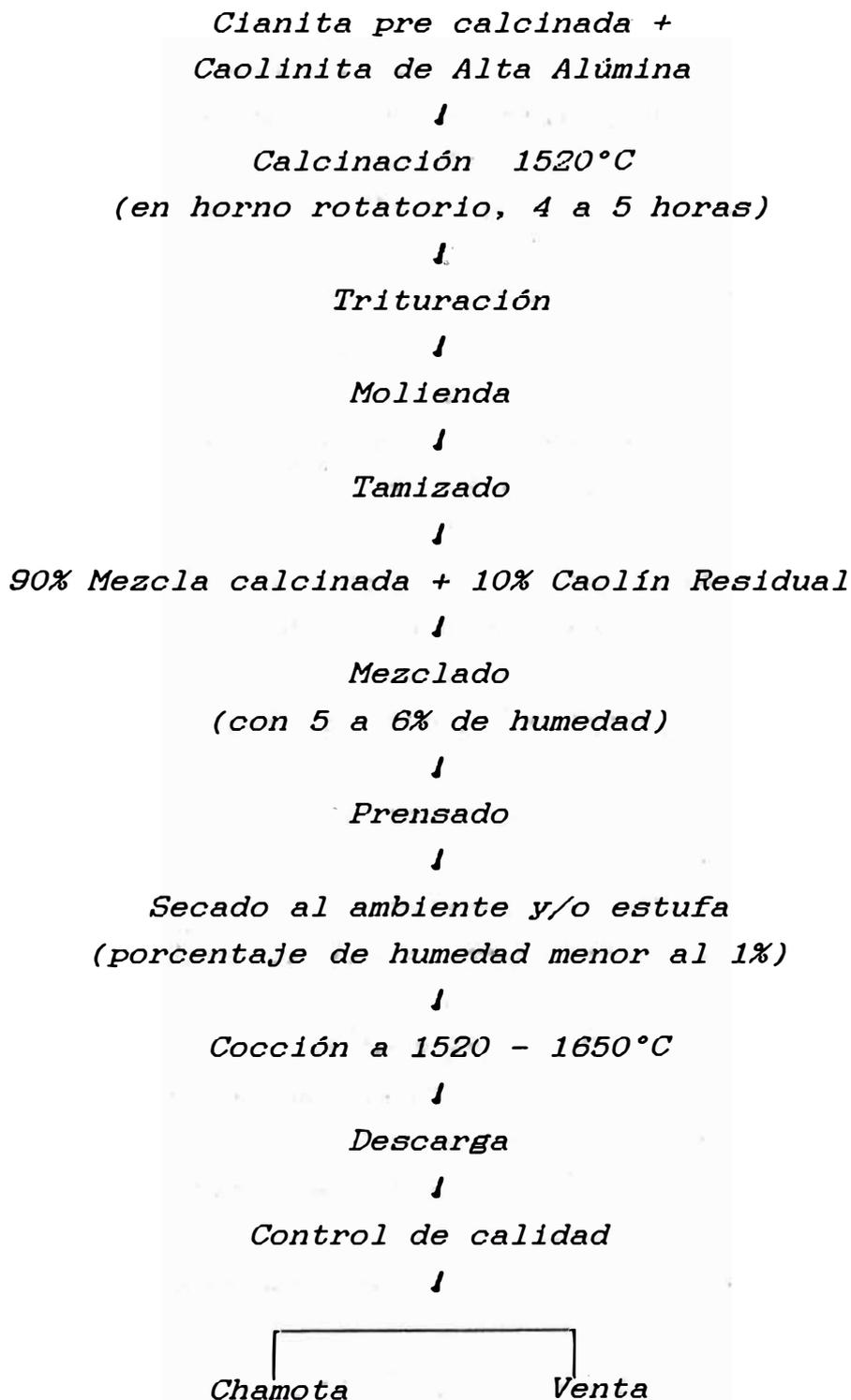
↓

Control de calidad

4.6.2. LADRILLO REFRACTARIO DE ALTA ALUMINA DE 45
65% Al₂O₃



4.6.3. LADRILLO REFRACTARIO DE MULLITA (65 - 80% Al_2O_3) POR CONVERSION DE CIANITA



4.6.4. REFRACTARIOS DE CORINDON DE 80 - 99% Al₂O₃

PROCESO BAYER

Materia prima (Bauxita cruda)

↓

Disolución en caliente con NaOH

↓

Filtrado

↓

Solución: Aluminato <-----> Residuo Insoluble
de Sodio sobresaturado

↓

Precipitación con cristales de Al₂O₃.3H₂O
(Barro de Al₂O₃.H₂O)

↓

Lavado, filtrado, Calcinado
(Alúmina calcinada)

↓

Trituración y Molienda

↓

Separación Magnética

↓

Tamizado

(45% -6m+20m, 30% -20m+100m y 25% -100m)

↓

Mezclado

(con adición de ligante y ácido fosfórico)

↓

Prensado isostático (10000 lb/plg²)

↓

Sinterización entre 1650 - 1700°C

↓

Enfriamiento

↓

Descarga

4.6.5. LADRILLOS REFRACTARIOS DE MAGNESITA

*Materia prima Periclasa
(Magnesita quemada a muerte)*

↓

Trituración y Molienda

↓

Tamizado

(separación en 3 o más fracciones)

↓

Mezclado

*5% agua, lejía de sulfito 0.25%, óxido de Fierro, 6% alúmina
Para ladrillo crudo, ligante: fosfato, H_2SO_4 , $MgSO_4$*

↓

Envejecimiento o reposo

↓

Prensado en seco 10000 a 20000 lb/plg²

↓

Secado

(lento a baja temperatura menor de 60°C)

↓

Cocción entre 1550-1800°C

ADITIVOS UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA

- *Lejía de sulfito: ligante temporal 0.25%.*
- *Oxido de Fierro: mejor sinterización para obtener menor porosidad.*
- *Alúmina: mejora la resistencia al choque térmico 6%.*

CALCINACION A MUERTE.- *Es la calcinación a más de 1600°C, a veces se sobre pasa los 2000°C, para inactivar el material y permitir su utilización para la fabricación del refractario sea en forma de ladrillo o como monolito para hogares, sin presentar demasiada dificultad por hidratación.*

4.6.6. LADRILLOS DE CROMO-MAGNESITA Y MAGNESITA-CROMO

Materia prima
(Mena de cromo y magnesita calcinada a muerte)
↓
Trituración
↓
Molienda
↓
Tamizado
(60% Tosco -8m+28m, 25% Mediano-28m+65m, 15% Fino -65m)
Cromo-Magnesita: Cromo mayor del 50%
Magnesita-Cromo: Cromo menor del 50%
↓
Mezclado con 6 a 7% de agua
↓
Prensado en seco 5000 a 10000 lb/plg²
↓
Secado
(temperatura ambiente y/o estufa a 30°C)
↓
Cocción entre 1400 y 1650°C
↓
Descarga a menos de 100°C

ADITIVOS UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA

Hidráulicos: MgCl, cemento de alta alúmina.
Inorgánicos: H₂SO₄, BaSO₄, MgSO₄, etc.
Orgánicos: Dextrina, almidón, glutrin etc.

4.6.7. LADRILLO REFRACTARIO DE CROMO

Materia Prima mena de cromo

↓

Trituración

(Trituradora de guijada)

↓

Molienda

(Molino de rodillos o de bolas)

↓

Tamizado

(3 o más granulometrías)

↓

Mezclado con adición de:

Ligantes orgánicos: lejía de sulfito, melaza, alquitrán

Aglutinantes: arcilla plástica, arcilla refractaria

(caolín, bauxita)

↓

Maduración (mínimo una semana)

↓

Prensado hidráulico

(5000 - 8000 lb/plg²)

↓

Secado al ambiente y/o estufas

(Los ladrillos crudos y frescos son muy frágiles)

↓

Cocción entre 1420 - 1450°C

↓

Descarga

Cuando los ladrillos se van a utilizar crudos, se debe adicionar ligante que den oxisulfatos, y 10% de MgO para mayor refractariedad de ganga y facilitar la quema.

4.6.8. LADRILLO REFRACTARIO DE FORSTERITA

*Materia Prima: Olivino con 6 a 7% máximo de fierro,
Magnesita calcinada a muerte,
Cromita con 12% máximo de Al₂O₃*

↓

Trituración

El olivino al triturar produce finos con facilidad

↓

Molienda

↓

Tamizado

*clasificación granulométrica de -48m+150m
se rechaza los finos -150m*

↓

Mezclado

*60 a 80% de olivino, 40 a 20% de cromo-magnesita
en proporción de 2:1 con adición de 3 a 5% de agua*

↓

Prensado entre 4000 a 7000 lb/pulg²

↓

Secado

↓

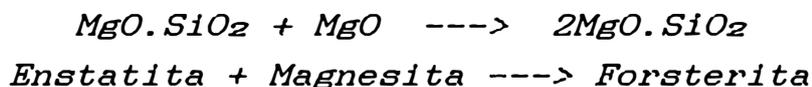
Cocción

*Ladrillo ordinario de forsterita a 1550°C
Ladrillo super de forsterita a 1750°C*

↓

Descarga

En la fabricación de refractarios de forsterita (2MgO.SiO₂), a menudo se añade magnesita calcinada a muerte para convertir algunos minerales secundarios en forsterita, que es el silicato más estable a alta temperatura. Por ejemplo, la enstatita o la clinoenstatita que se encuentra en el mineral de olivino, cuando se extrae, se convierte en forsterita:



4.6.9. REFRACTARIOS DE CARBURO DE SILICIO

Materia prima (Carburo de silicio)
↓
Trituración (trituradora de guijada)
↓
Molienda (molino de bolas)
↓
Tamizado (en tamiz vibratorio 8m)
↓
Lavado con vapor y agua (para eliminar el grafito)
↓
Lavado con soda cáustica (disolución de Si y siliciuros)
↓
Lavado con vapor y agua
↓
Neutralización con HCl y agitación (disolución del fierro)
↓
Lavado (para eliminar las sales de fierro)
↓
Lavado y Separación magnética
↓
Tamizado (separación granulométrica)
Tosco (-8m+30m), Mediano (-30m+80m), Finos(-100m)
↓
CSi tamizado + Arcilla refractaria plástica
(1º se cargan los toscos para evitar la segregación)
↓
Mezclado en seco
(Aditivos: poca agua y ligante orgánico)
↓
Prensado o apisonado neumático - Secado
↓
Cocción entre 1400 - 1500°C
(Lento hasta los 500°C, mantenimiento entre 600-900°C,
acelerado hasta los 1200°C manteniendo varias
horas con exceso de aire, luego a 1450°C)
↓
Enfriamiento Rápido hasta los 500°C,
lento hasta temperatura ambiente.
Por la conversión de β a α de la cristobalita.

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

5.1. GENERALIDADES

El control de calidad es un sistema amplio y complejo que abarca todos los sectores de una empresa. Incluye las actividades de producción y servicio de modo que aseguren una producción óptima y confiable.

El objetivo del control de calidad es establecer, mejorar y asegurar la calidad standard de la producción todo el tiempo en niveles económicos, para satisfacer las necesidades de los consumidores.

La calidad es una propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permita apreciarla igual, mejor o peor que los restantes de su especie y que lo hacen adecuados para un uso establecido.

El control es la espina dorsal en la estrategia de la calidad; pero no el control pasivo tradicional (reconocimiento, verificación, inspección), si no el control activo que se define como: "Ciclo de

actividades planeados para asegurar el mantenimiento y/o mejoramiento de los resultados obtenidos".

FASES DE UN CONTROL

- PLAN** : Fija objetivos y planifica cuidadosamente las actividades necesarias para realizar.
- DO** : Hace lo decidido en el Plan.
- CHECK** : Analiza los resultados y verifica coherencia respecto al Plan.
- ACTION** : Decide mantener una situación apropiada o modifica.

5.2. CRITERIO BASICO DE CALIDAD EN LA FABRICACION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

Los productos refractarios son muestras difíciles para una investigación científica exacta. Debido a su naturaleza heterogénea, con frecuencia en un ensayo particular está implicada más de una propiedad física, de tal forma que los resultados son ciertos a menudo sólo para piezas de ensayo de tamaño y forma especificados, y existe una gran dispersión de resultados debido a defectos, grietas, etc. De hecho rara vez pueden obtenerse valores absolutos.

No obstante la dificultad detallada anteriormente la intención es poner a punto ensayos para propiedades definidas con claridad, con el mínimo de interferencias debidas a fuerzas ajenas al ensayo de forma y tamaño convenidos, y realizar el ensayo de un modo preciso. Después puede utilizarse ensayos para encontrar la variación de las propiedades con tamaño y forma.

El ensayo de los productos terminados es un paso esencial en el control de la producción para la salida

de piezas de confianza, a ser posible con diversas garantías. Tales ensayos son empíricos, adaptándose para cada forma y tipo de pieza, y en ellos intervienen complejos de fuerzas peculiares a las condiciones de usos esperados.

En la industria refractaria, el moderno control total de la calidad se ejerce en todas y cada una de las etapas del proceso productivo; su directriz es evitar la producción de piezas defectuosas en lugar de solamente separarlas al final de producción.

Por lo tanto, el control de calidad abarca cinco tareas relacionadas entre si:

- a. Estudio del diseño del futuro Producto.*
- b. Verificación de la Materia Prima que se van utilizar en su producción.*
- c. Control en cada etapa del proceso de fabricación.*
- d. Control del producto terminado, antes que salga al consumidor.*
- e. Control del producto en operación.*

5.3. CONTROL DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

El desarrollo de la Industria Refractaria en nuestro medio, se logrará en la medida en que se realicen esfuerzos para suministrar las materias primas con la calidad que dichos procesos exigen para la fabricación más eficiente y económica de los refractarios.

Las materias primas recepcionadas, son muestreadas y analizadas en la planta en base a Normas, manteniendo sistema de verificación periódica sobre su calidad, comparando los resultados con los certificados. Además se detectan las diferencias que no pueden ser atribuidos al muestreo, al análisis de laboratorio o variaciones en la calidad misma de las materias primas.

En el control de calidad de la materia prima se tendrá que tener en cuenta lo siguiente:

- a. Establecimiento de criterio de aceptación de todos los materiales empleados.*
- b. Datos completos de reconocimiento y extracción de la mina para su relación con los ensayos cerámicos.*
 - Muestras de perforación de sondeo.*
 - Calicatas de tanteo a lo largo del afloramiento.*
 - Estudio de las impurezas perjudiciales asociadas, (siderita, areniscas, materiales calcáreos, sales solubles, tierra superficial, esquistos poco refractarios y materia carbonosa).*
- c. Cuadro completo de las propiedades técnicas con anterioridad a la fabricación.*
- d. Precauciones y localización de dificultades debidas a variaciones con la estación.*
- e. Si se recibe por carga en vagones o camiones, asegurarse de que se toman muestras correctas.*
- f. Separación en tamaños de arcillas tamaños de sedimentación - tamaños de arena.*
- g. Resistencia de arcilla cruda y cocida (módulo de ruptura y resistencia a la tracción).*

5.3.1. ENSAYOS DE ARCILLAS Y CHAMOTAS

- a. Diariamente.*
 - Densidad a granel*
 - Humedad*
 - Ensayo en horno*

b. Semanalmente.

- Contracción
- Porosidad
- Densidad
- Propiedad de desmenuzamiento
- Finos

c. Mensualmente.

- Análisis químico
- Ensayos semitécnicos tras la cocción
- Ladrillo de tamaño normal
- Ensayo bajo carga
- Refractariedad
- Postcontracción a 1450°C
- Ensayo de resquebrajamiento
- Ensayo de escoria
- Expansión térmica reversible

5.4. CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO

Este control se realiza en la planta, durante el proceso productivo con el objeto de mantener la calidad del futuro producto dentro de los límites de uniformidad indicados en las especificaciones de fabricación (práctica estándar), previniendo la producción de ítemes defectuosos.

La verificación de que el proceso está bajo control o no, se hace examinando muestras extraídas periódicamente.

El proceso estará bajo control cuando la variación de la calidad del producto es atribuible solo al azar (causas no asignables), que no provocan alteraciones apreciables en la calidad y su eliminación es imposible y antieconómica. Es por eso que son consideradas como

parte natural del proceso productivo.

5.4.1. ENSAYOS EN MOLIENDA

- a. *Contenido de humedad.*
- b. *Ensayo de granulometría.*
- c. *Ensayos de apisonado para determinar la densidad de relleno.*
- d. *Comprobación diario de:*
 - *Carga circulante de los molinos.*
 - *Velocidad del medio moledor.*
 - *Clasificadores.*
- e. *Comprobación de la nave de molinos en cuanto a exceso de polvo.*

5.4.2. ENSAYOS EN TAMIZADO

- a. *Ensayo de granulometría:*
 - *Llegada a tamices.*
 - *Tamaños demasiado pequeños, demasiado grandes, residuos.*
- b. *Comprobar la eficiencia del tamizado.*
- c. *Preparar datos acumulativos; representar gráficamente las granulometrías.*

5.4.3. ALMACENAMIENTO

- a. *Comprobación de las alteraciones de humedad.*
- b. *Ensayo de segregación.*
- c. *Efecto de la acidificación o maduración sobre el proceso.*

5.4.4. MEZCLADO

- a. *Comprobar la capacidad de los instrumentos de medida.*
- b. *Comprobar la segregación.*
- c. *Ensayo de granulometría de fracciones mezcladas.*

- d. *Variaciones de humedad.*
- e. *Densidad de relleno de cada carga.*

5.4.5. AMASADO

- a. *Contenido de humedad de cada carga, o a intervalos definidos en procesos continuos.*
- b. *Comprobación del aumento de temperatura (efecto Joule).*
- c. *Ensayo de apisonado para proceso semiseco.*
- d. *Ensayo de manejabilidad para pastas plásticas.*
- e. *Comprobación de la densidad a granel.*
- f. *Ensayo de tamizado.*
- g. *Ensayo de plasticidad.*
- h. *Ensayo de poder aglutinante en pastas ricas en chamota.*

5.4.6. MOLDEO

- a. *Detalles de matrices y moldes empleados. Comprobación de la tolerancia de contracción por fabricación piloto.*
- b. *Dimensiones especiales recalçadas y anotadas en los planos de trabajo.*
- c. *Prensado en seco.*
 - *Humedad.*
 - *Grietas o exfoliación por la presión.*
 - *Laminaciones*
 - *Peso del ladrillo.*
 - *Defectos de segregación.*
- d. *Extrusión y reprensado.*
 - *Comprobación del tamaño de la pieza premoldeada.*
 - *Comprobación del tamaño después de prensado.*
 - *Contenido de humedad.*

- Secado y corte para examinar las líneas de flujo.
- e. Ensayo de uniformidad, desgaste de matriz.
- f. Máquinas de tubos.
 - Contenido de humedad.
 - Temperatura de la pasta (después de batida, antes de la extrusión y después de la extrusión).
 - Comprobar la lubricación de la matriz.
- g. Moldeo a mano; apisonado neumático, comprobación de:
 - Llenado correcto.
 - Arrugas o laminaciones.
 - Aceite excesivo sobre la superficie.
 - Superficie de trabajo nivelada.

5.4.7. SECADO

- a. Humedad inicial.
- b. Contracción de secado segura.
- c. Puntos críticos durante el programa de secado.
- d. Densidad a granel antes y después del secado.
- e. Determinar la velocidad de separación de humedad en el interior y en el exterior de la pieza.
- f. Medir la circulación de aire (permeabilidad).

5.4.8. INSPECCION EN VERDE

- a. Descomponer los rechazos por tipos, si se diagnostican los defectos actuar sobre sus causas.
- b. Averiguar la existencia de grietas capilares pintando con kerosene en las posibles localizaciones

5.4.9. CARGA DEL HORNO

- a. *Trazar croquis a escala de espacios, materia sólida y del horno.*
- b. *Calcular la capacidad de carga: en crudo y después de la cocción.*
- c. *Comprobar la horizontalidad de la carga (plomada, nivel de burbuja).*
- d. *Comprobar la incorporación de chamota o arena entre las capas.*
- e. *Modificar la carga si se comprueba la existencia de zonas poco o en exceso cocidas.*

5.4.10. COCCION

- a. *Comprobar las condiciones de cocción (termoelementos, pirómetros ópticos, conos pirométricos, anillos bullers, etc; realizar pruebas a intervalos de tiempo fijos durante períodos completos de 24 horas).*
 - *Período de desprendimiento de humos debido al agua.*
 - *Período de oxidación.*
 - *Vitrificación.*
- b. *Economía de combustible. Observaciones de rutina de recuperación o regeneración.*
- c. *Calcular el consumo de combustible por unidad normalizada de producción.*
- d. *Anotar tiros y temperaturas de chimenea.*

5.4.11. DESCARGA DEL HORNO

- a. *Examinar la carga en cuanto a:*
 - *Zonas sobrecocidas.*
 - *Zonas insuficientemente cocidas.*
 - *Manchas de humedad.*
 - *Cenizas volantes excesivas.*
 - *Deformación excesiva o agrietamiento*

debido a inadecuada sujeción de las capas y bancos de soporte.

5.5. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO

La inspección de calidad se realiza en el producto ya terminado, con el objeto de verificar si su calidad está de acuerdo a las inspecciones de aceptación establecidas.

Cada planta puede establecer su propio sistema de control para asegurarse de que el producto terminado destinado para los clientes, corresponda al refractario solicitado, a la composición química, a las dimensiones, a las condiciones de superficie, propiedades mecánicas y demás características especiales que hayan establecido.

Todo producto antes de ser transferido al almacén para su despacho, necesariamente tiene que tener el visto bueno de Control de Calidad. Comercialización gira las ordenes de recojo solo de aquellos productos que han ingresado al almacén.

5.5.1. ENSAYOS A LOS PRODUCTOS TERMINADOS

- a. Control de las dimensiones (longitud, ancho y espesor).*
- b. Densidad relativa verdadera.*
- c. Densidad relativa a granel.*
- d. Absorción de agua.*
- e. Porosidad verdadera.*
- f. Permeabilidad.*
- f. Resistencia a la abrasión.*
- g. Resistencia a la compresión.*
- h. Resistencia a la tracción.*
- i. Resistencia a la flexión.*

- j. Coeficiente de expansión.*
- k. Conductividad térmica.*
- l. Calor específico.*
- ll. Resistencia al choque térmico.*
- m. Cono pirométrico equivalente.*
- n. Temperatura máximo de trabajo.*
- ñ. Refractariedad bajo carga.*
- o. Variación de longitud en el recocido.*
- p. Ensayo de dilatación térmica.*
- q. Análisis químico.*
- r. Resistencia a gases corrosivos.*
- s. Resistencia a escorias.*
- t. Resistencia a metales líquidos.*
- u. Resistencia al monóxido de carbono (CO).*

5.6. DESCRIPCION DE ALGUNOS ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD PARA LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS

5.6.1. TAMAÑO

La determinación del tamaño puede hacerse con plantillas, calibres, etc., variando en exactitud conforme a las necesidades.

Para comprobar ladrillos refractarios, se ponen seis muestras todas al azar en una plantilla de madera en forma de caja y se lee la variación de la longitud, ancho y espesor, con exactitud del 0.1%.

5.6.2. DENSIDAD RELATIVA VERDADERA

Se toma una muestra refractaria no vidriado, se tritura hasta cumplir un tamaño de grano determinado normalizado, que depende del tipo de pasta, y se determina la densidad con el Picnómetro.

El método Rees-Hugill Flask, es el método que más se utiliza para trabajos de control técnicos; en los materiales que contienen poros cerrados la densidad de polvo no esta de acuerdo con la gravedad especifica, en la mayoría de los Refractarios de Sílice la aceptación es evidente para el método a ser usado en su medición.

El xileno se utiliza como líquido desplazado y su vapor es escasamente tóxico, pero no se debe permitir su contacto con los ojos ni con la piel.

5.6.3. DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

Un trozo de muestra cortada o rota se seca, pesa y sumerge seguidamente en agua de tal modo que todos los poros abiertos lleguen a mojarse y llenarse. A continuación se pesa, sumergida primero en el líquido y después en el aire.

5.6.4. ABSORCION DE AGUA

Se seca y pesa la muestra, luego se sumerge en agua durante 24 horas, se retira del agua, la superficie es secado y se vuelve a pesar. Enseguida se hace hervir a ebullición durante 5 horas, se retira del recipiente y se pesa.

5.6.5. POROSIDAD

La porosidad puede deducirse, de las medidas de absorción utilizadas para obtener la densidad a granel y aparente sólida junto con la densidad relativa verdadera.

5.6.6. PERMEABILIDAD

Se determina mediante el tiempo de paso de un volumen dado de aire a través de la muestra a una

presión constante conocida. Es el grado de flujo del gas en mm/seg a través de 1 cm² de material bajo una gradiente de presión de 1 cm. de agua por cm. de espesor.

5.6.7. RESISTENCIA A LA COMPRESION O RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN FRIO

Se utiliza probeta seca de forma rectangular, cúbica, o cilíndrica. Las caras de apoyo deben ser planas y perpendiculares a la dirección de la aplicación de la presión. Los resultados se expresan en libras por pulgada cuadrada.

5.6.8. RESISTENCIA A LA TRACCION

La medida de la resistencia a la tracción es realizada en una máquina especial. El resultado se expresa en libras por pulgada cuadrada o kilogramos por centímetro cuadrado, viene dada por la fuerza requerida dividida por el área de la sección transversal en el punto de ruptura.

5.6.9. RESISTENCIA A LA FLEXION TRANSVERSAL

Consiste esencialmente en soportar la probeta sobre dos soportes una carga a la mitad de los soportes. Se puede ensayar en ladrillos completos o probetas.

5.6.10. DETERMINACION DEL CAMBIO LINEAL PERMANENTE SOBRE EL RECALENTAMIENTO

Es la dilatación lineal ocasionado por la elevación de 1°C de temperatura. Se expresa como el porcentaje de aumento de longitud cuando se calienta a lo largo de un intervalo de temperatura determinada.

Esta prueba se usa como una medida de control en el laboratorio, todos los ladrillos y piezas de prueba que tienen que ser sometidos a elevadas temperaturas, deben ser calibrados y marcados después que han sido secados, recalibrados cuando han terminados de ser quemados.

El ensayo se realiza en un horno cuidadosamente regulado en una atmósfera oxidante. Se fija el ritmo de aumento de temperatura y se mantiene la muestra a la temperatura de ensayo durante un número de horas determinado.

5.6.11. CONDUCTIVIDAD TERMICA

Es la cantidad de calor que pueda fluir a través de la unidad de área de un material. El suministro de calor se hace por medio de electricidad. El flujo calorífico puede medirse con un calorímetro.

5.6.12. DETERMINACION DE LA REFRACTARIEDAD POR CONOS PIROMETRICOS EQUIVALENTES

El material a ensayar se moldea en forma de un cono idéntico a los conos patrones normalizados. A continuación se coloca al horno el cono de prueba y al rededor de esta los conos patrones, y se lleva a cabo el calentamiento a una velocidad determinada y se observa los conos por medio de una mirilla a través de un vidrio coloreado. Debe mantenerse una atmósfera entre neutra y ligeramente oxidante.

Se considera como C.P.E. del material que se ensaya el número o un número de conos a los que se aproxima es estrechamente.

5.6.13. REFRACTARIEDAD BAJO CARGA

- a. *Ensayo a temperatura constante:* La muestra sometida a carga se calienta a un ritmo determinado hasta una temperatura pre determinada, que se mantiene, durante un tiempo especificado, o hasta que se produce cierta deformación o bien hasta el hundimiento.

- b. *Ensayo a temperatura creciente:* Una muestra sometida a carga se calienta a un ritmo prescrito, y se anota la temperatura a las cuales se inicia la deformación, alcanza un determinado valor y conduce al hundimiento.

5.6.14. RESISTENCIA AL CHOQUE TERMICO

- a. *Prueba de Panel:* Se utiliza un panel de 14 ladrillos de 9x4.5x2.5 pulgadas fijados en caolín refractario y rodeado por más ladrillos "falsos". El panel completo se precalienta primero durante 24 horas para inducir vitrificaciones, contracciones, etc., que pudieran desarrollarse en servicio y conducir a un resquebrajamiento estructural (1600°C para ladrillos de arcilla refractaria para alto servicio, y 1650°C, para ladrillos de arcilla refractaria de super servicio).

Se deja reposar espontáneamente y se examina a continuación. Entonces se pasa al horno de resquebrajamiento y se somete a doce ciclos de períodos alternativos de diez minutos de calentamiento a 1400°C y enfriamiento con chorro de niebla aire y/o agua. Al final de este tratamiento los ladrillos se liberan del

mortero y de cualquier pieza separada y se pesan nuevamente. Se anota la pérdida en porcentaje. El método requiere condiciones apropiadas de calentamiento, es de larga duración y requiere equipos especiales.

- b. **Prueba de Anillos: Buessem y Bush.** Describen un aparato para determinar los factores de resistencia al choque térmico. Se calienta una pila de anillos de material mediante un elemento de calentamiento y se enfrían desde el exterior por medio de una cámara calorimétrica. Los anillos de la pila tienen flujo de calor radial. El gradiente radial de temperatura puede medirse, a sí también el número de calorías que pasan a través de la superficie. En condiciones de equilibrio esta medida proporciona la conductividad térmica del material de los anillos. El gradiente radial de temperatura, que produce esfuerzos térmicos, se aumentan hasta que se produzca el fallo.

5.6.15. RESISTENCIA A LOS ACIDOS

El material a ensayarse se tritura, muele y tamiza, obteniendo una granulometría -18m+25m. Primero se hierve dicha porción con agua destilada, se lava y se seca. A continuación, una fracción pesada se trata con una mezcla de ácido nítrico y sulfúrico y se calienta hasta que se ha evaporado todo el ácido nítrico y comienza a humear intensamente el sulfúrico. Se enfría la mezcla, se añade más ácido nítrico y agua destilada y se repite el calentamiento. Se efectúan después lavados repetidos hasta que estén

exentos de ácido sulfúrico y finalmente se seca la muestra hasta peso constante.

5.6.16. RESISTENCIA A LOS ATAQUES POR ESCORIAS

- a. **Método I:** Se caracteriza por el uso de cantidades relativamente pequeñas de escorias en contacto con grandes cantidades de refractario; La escoria se coloca sobre el refractario o bien en un agujeros y cavidades existentes en el, a temperatura ambiente, luego se calientan juntos hasta la temperatura de ensayo. La penetración resultante de la escoria, corrosión del refractario, deformación del mismo, etc., se utilizan como medidas de la resistencia a la corrosión.

- b. **Método II:** El ensayo se realiza por inmersión del refractario en el fluido corrosivo y por ende equivalen a cantidades relativamente grandes de escoria para pequeñas cantidades de refractario. Han de considerarse tanto líquido y escorias corrosivos como gases y vapores destructivos. Los refractarios a ensayar pueden incorporarse en las paredes de hornos de crisol llenos de escoria fundida, etc., o bien pueden suspenderse en la escoria.

- c. **Método III:** El choque de la escoria con muestras del refractario caliente, se afirma que simula las condiciones de servicio para los materiales a usar por encima del nivel de las escorias.

Se efectúan medidas del espesor de la capa superficial eliminado por erosión, área de erosión, formación de canales en el refractario causada por el flujo de la escoria, ensanchamiento de grietas ocasionado por disolución del refractario, destrucción de juntas, variaciones de peso, volumen y penetración de escorias.

- d. Método IV: Ensayos de fusión de cono y similares, que no simulan las condiciones de servicio, pero investigan en su lugar las posibles reacciones entre escoria y refractario bajo condiciones altamente aceleradas. Se muelen escoria y refractario, mezclan en proporciones variables obteniéndose datos de reblandecimiento y fusión por el ensayo del C.P.E.*

5 6.17 RESISTENCIA AL ATAQUE DEL MONOXIDO DE CARBONO

Para ensayar la resistencia a dicho gas, se realiza el calentamiento de muestras cilíndrica a 450 500°C en una corriente de monóxido de carbono durante 200 horas, o hasta que se desintegren las probetas de ensayo. Se observa también cualquier posible alteración del color o la aparición de depósitos de carbono en puntos separados o la formación de grietas durante el ensayo.

CAPITULO VI

PRUEBAS EXPERIMENTALES

6.1. GENERALIDADES

Las características químicas y físicas de los materiales para la fabricación de productos refractarios deben cumplir con las exigencia mínimas para dicho fin, por lo que es necesario hacer un control de estas propiedades para poder ver su factibilidad de uso.

Las características de las arcillas peruanas utilizadas en la fabricación de productos refractarios son de buena calidad, de tonos grises no muy plásticas, con contenido de materia orgánica pero no en cantidad que afecte la cocción. Algunas arcillas tienen problemas de sales solubles, debido a lo cual se producen eflorescencia en el material cocido, pero un buen lavado elimina las sales, lo que permite utilizar el material.

Las arcillas para fabricación de productos refractarios deben tener un contenido mínimo de fierro. Un alto

contenido de fierro baja el punto de fusión de los materiales haciéndoles inservibles para este propósito; si el fierro se encuentra como Pirita producirá decrepitación con el peligro de rajarse el refractario y producir manchas marrones.

Las pruebas experimentales de la fabricación de productos refractarios se basa en el deseo de obtener refractarios de muy buena calidad y a bajo costo, utilizando materia prima proveniente de la Región Andrés Bello Cáceres de las localidades de Tarma y Huancayo

La utilización de estas arcillas refractarias silico-aluminosa se debe a que se pueden conseguir con mucha facilidad, a bajo costo y con impurezas relativamente bajo el cual permite su utilización sin necesidad de realizar purificación alguna.

Las arcillas provenientes de esta región son de reserva comprobada, esto implica que la fabricación de productos refractarios silico-aluminoso esta garantizada.

Las pruebas experimentales se realizaron haciendo variar el tamaño de grano, el porcentaje en peso de las arcillas crudas como también de las arcillas cocidas (chamota), de igual manera se realizaron pruebas variando el tipo de arcilla refractaria silico-aluminosa

Para la fabricación de los ladrillos refractarios aislantes se utilizó como abridor el aserrín el cual se vario en porcentaje en peso para poder obtener diferentes porosidades.

6.2. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

6.2.1. ARCILLA REFRACTARIA DE HUANCAYO

a. ANALISIS QUIMICO (promedio):

MATERIAL	FORMULA	% PESO
Sílice	SiO_2	61.5
Alúmina	Al_2O_3	34.5
Oxido de Fierro	Fe_2O_3	2.0
Titania	TiO_2	0.4
Magnesia	MgO	0.5
Cal	$CaCO_3$	0.4
Alcalis	$Na_2O + Li_2O + K_2O$	0.7

b. PROPIEDADES FISICAS (promedio):

Cono Pirométrico Equivalente:	32
Gravedad específica (gr/cc)	2.3

c. CARACTERISTICAS:

Estas arcillas son de granos redondeados de color gris, la granulometría de cantera es de 34% de 8 a +4 pulgadas, 52% de -4 a 1/4 de pulgada y 14% de finos; el contenido de impurezas (materia orgánica) es desechado por el bajo porcentaje que presenta.

6.2.2. ARCILLA REFRACTARIA DE LOMA LARGA TARMA

a. ANALISIS QUIMICO (promedio):

MATERIAL	FORMULA	% PESO
Sílice	SiO ₂	50.1
Alúmina	Al ₂ O ₃	42.8
Oxido de Fierro	Fe ₂ O ₃	1.9
Titania	TiO ₂	0.3
Magnesia	MgO	0.7
Cal	CaCO ₃	1.7
Alcalis	Na ₂ O + Li ₂ O + K ₂ O	2.5

b. PROPIEDADES FISICAS (promedio):

Cono Pirométrico Equivalente:	33
Gravedad específica (gr/cc)	2.18

c. CARACTERISTICAS:

Estas arcillas son de granos alargados de color ligeramente gris, con un contenido de material que actúan como fundente de 4.2%, la granulometría de cantera es de -4 pulgadas con alto contenido de finos.

6.2.3. ARCILLA REFRACTARIA DEL CENTRO

a. ANALISIS QUIMICO (promedio):

MATERIAL	FORMULA	% PESO
Sílice	SiO ₂	60.9
Alúmina	Al ₂ O ₃	34.9
Oxido de Fierro	Fe ₂ O ₃	1.6
Titania	TiO ₂	0.1
Magnesia	MgO	0.1
Cal	CaCO ₃	2.3
Alcalis	Na ₂ O + Li ₂ O + K ₂ O	0.1

PROPIEDADES FISICAS (promedio):

Cono Pirométrico Equivalente: 32
Gravedad específica (gr/cc) 2.0

CARACTERISTICAS:

Estas arcillas son de granos redondeados de color gris, con pequeño contenido de carbón y caliza, la granulometría de cantera es 40% de 12 a +4 pulgadas, 51% de -4 a 1/4 de pulgada y 9% de finos.

6.2.4. CHAMOTA HUANCAYO

a. ANALISIS QUIMICO (promedio):

MATERIAL	FORMULA	% PESO
Sílice	SiO ₂	62.5
Alúmina	Al ₂ O ₃	33.8
Oxido de Fierro	Fe ₂ O ₃	2.0
Titania	TiO ₂	0.4
Magnesia	MgO	0.2
Cal	CaCO ₃	0.7
Alcalis	Na ₂ O + Li ₂ O + K ₂ O	0.4

b. PROPIEDADES FISICAS (promedio):

Cono Pirométrico Equivalente: 32
Gravedad específica (gr/cc) 2.3

c. CARACTERISTICAS:

Material refractario obtenido de los ladrillos refractarios que no pasaron el control de calidad por estar deformados, rajados, etc.. Son de color crema de granulometría 100% -10m.

6.2.5. CHAMOTA DEL CENTRO

a. ANALISIS QUIMICO (promedio):

MATERIAL	FORMULA	% PESO
Sílice	SiO ₂	61.0
Alúmina	Al ₂ O ₃	35.3
Oxido de Fierro	Fe ₂ O ₃	1.9
Titania	TiO ₂	0.4
Magnesia	MgO	0.2
Cal	CaCO ₃	0.7
Alcalis	Na ₂ O + Li ₂ O + K ₂ O	0.5

b. PROPIEDADES FISICAS (promedio):

Cono Pirométrico Equivalente:	31
Gravedad específica (gr/cc)	2.2

c. CARACTERISTICAS:

Pasta cerámica cocida hasta maduración (1250°C) de color crema, granulometría 100% -10m, este material se obtiene de los ladrillos refractarios cocidos que no pasaron el control de calidad.

6.3. FORMULACION Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LADRILLOS REFRACTARIOS DENSOS SILICO-ALUMINOSO

(LRSAD-1A)

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	A.R. Huancayo	-20m+35m	35
MEDIANO	Ch. Huancayo	-35m+48m	35
FINO	A.R. Huancayo	-65m	30
ABRIDOR			

LIGANTE : 16.00 %

CONTRACCION

L_p = Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
 L_s = Longitud seca del ladrillo 22.10 cm
 L_q = Longitud del ladrillo quemado. 21.90 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a = Peso de la pieza de ensayo seca. 296.10 gr
 W_b = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 260.00 gr
 W_c = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 402.10 gr
 D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 296.10 gr
 b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 303.40 gr
 c = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 308.00 gr
 d = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 263.50 gr

RESISTENCIA

Compresión 340 Kg/cm²
 Flexión 72 Kg/cm²

ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAD-1A

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>61.85</i>
<i>Alúmina</i>	<i>34.26</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>2.00</i>
<i>Titania</i>	<i>0.38</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.40</i>
<i>Cal</i>	<i>0.51</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.60</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>19-20</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>1.35</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>2.68</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>4.00</i>
<i>Volumen a Granel (cc)</i>	<i>142.10</i>
<i>Densidad a Granel (gr/cc)</i>	<i>2.08</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido (cc)</i>	<i>36.10</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido (gr/cc)</i>	<i>8.20</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>2.47</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>16.40</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>4.02</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>26.74</i>
<i>Coefficiente de Saturación</i>	<i>0.61</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>26.74</i>
<i>Densidad Bulk (gr/cc)</i>	<i>6.65</i>
<i>Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)</i>	<i>340.00</i>
<i>Resistencia a la flexión (Kg/cm²)</i>	<i>72.00</i>

ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAD-1A

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Silice</i>	<i>61.85</i>
<i>Alúmina</i>	<i>34.26</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>2.00</i>
<i>Titania</i>	<i>0.38</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.40</i>
<i>Cal</i>	<i>0.51</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.60</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>19-20</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>1.35</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>2.68</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>4.00</i>
<i>Volumen a Granel (cc)</i>	<i>142.10</i>
<i>Densidad a Granel (gr/cc)</i>	<i>2.08</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido (cc)</i>	<i>36.10</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido (gr/cc)</i>	<i>8.20</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>2.47</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>16.40</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>4.02</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>26.74</i>
<i>Coefficiente de Saturación</i>	<i>0.61</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>26.74</i>
<i>Densidad Bulk (gr/cc)</i>	<i>6.65</i>
<i>Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)</i>	<i>340.00</i>
<i>Resistencia a la flexión (Kg/cm²)</i>	<i>72.00</i>

**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
DENSO SILICO-ALUMINOSO (LRSAD-1B)**

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	A.R. Huancayo	-20m+35m	30
MEDIANO	Ch. Huancayo	-35m+48m	35
FINO	A.R. Huancayo	-65m	35
ABRIDOR			

LIGANTE : 17.00 %

CONTRACCION

L_p = Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
L_s = Longitud seca del ladrillo 21.90 cm
L_q = Longitud del ladrillo quemado. 21.70 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a = Peso de la pieza de ensayo seca. 291.40 gr
W_b = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 263.00 gr
W_c = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 398.30 gr
D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 291.40 gr
b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 296.80 gr
B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 300.90 gr
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 259.20 gr

RESISTENCIA

Compresión 380 Kg/cm²
Flexión 85 Kg/cm²

**ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAD-1B**

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>61.85</i>
<i>Alúmina</i>	<i>34.25</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.97</i>
<i>Titania</i>	<i>0.40</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.53</i>
<i>Cal</i>	<i>0.37</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.63</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>19-20</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>2.25</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>4.45</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>6.61</i>
<i>Volumen a Granel (cc)</i>	<i>135.30</i>
<i>Densidad a Granel (gr/cc)</i>	<i>2.15</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido (cc)</i>	<i>28.40</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido (gr/cc)</i>	<i>10.26</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>1.85</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>12.95</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>3.26</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>22.78</i>
<i>Coficiente de Saturación</i>	<i>0.57</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>22.78</i>
<i>Densidad Bulk (gr/cc)</i>	<i>6.99</i>
<i>Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)</i>	<i>380.00</i>
<i>Resistencia a la flexión (Kg/cm²)</i>	<i>85.00</i>

**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
DENSO SILICO-ALUMINOSO (LRSAD-1C)**

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
<i>TOSCO</i>	<i>A.R. Huancayo</i>	<i>-20m+35m</i>	<i>30</i>
<i>MEDIANO</i>	<i>Ch. Huancayo</i>	<i>-35m+48m</i>	<i>30</i>
<i>FINO</i>	<i>A.R. Huancayo</i>	<i>-65m</i>	<i>40</i>
<i>ABRIDOR</i>			

LIGANTE : 19.00 %

CONTRACCION

Lp = Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
Ls = Longitud seca del ladrillo 21.75 cm
Lq = Longitud del ladrillo quemado. 21.65 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

Wa = Peso de la pieza de ensayo seca. 292.10 gr
Wb = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 263.80 gr
Wc = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 389.30 gr
D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 292.10 gr
b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 296.10 gr
B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 299.80 gr
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 261.80 gr

RESISTENCIA

Compresión 420 Kg/cm²
Flexión 92 Kg/cm²

ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAD-1C

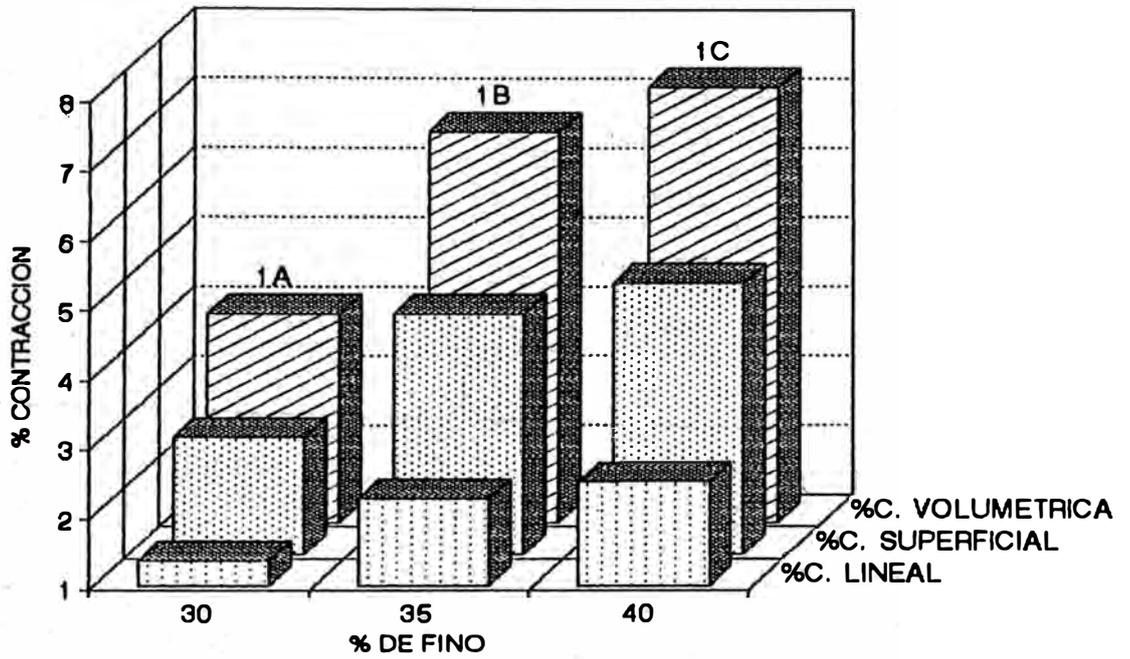
QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Silice</i>	<i>61.80</i>
<i>Alúmina</i>	<i>34.29</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.97</i>
<i>Titania</i>	<i>0.40</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.53</i>
<i>Cal</i>	<i>0.37</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.64</i>

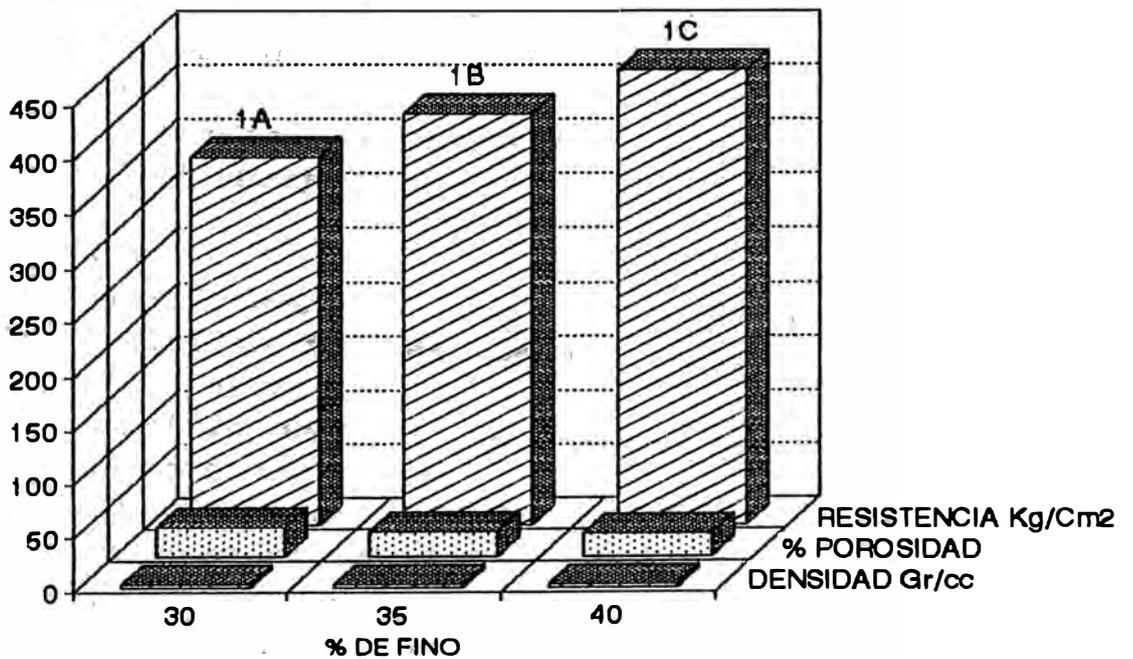
FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>19-20</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>2.48</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>4.89</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>7.25</i>
<i>Volumen a Granel (cc)</i>	<i>125.50</i>
<i>Densidad a Granel (gr/cc)</i>	<i>2.33</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido (cc)</i>	<i>28.30</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido (gr/cc)</i>	<i>10.32</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>1.37</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>10.53</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>2.64</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>20.26</i>
<i>Coefficiente de Saturación</i>	<i>0.52</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>20.26</i>
<i>Densidad Bulk (gr/cc)</i>	<i>7.69</i>
<i>Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)</i>	<i>420.00</i>
<i>Resistencia a la flexión (Kg/cm²)</i>	<i>92.00</i>

PORCENTAJE DE CONTRACCION LRSAD-1A-1B-1C



DENSIDAD-POROSIDAD-RESISTENCIA LRSAD-1A-1B-1C



**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
DENSO SILICO-ALUMINOSO (LRSAD-2A)**

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	A.R. Huancayo	-10m+20m	35
MEDIANO	A.R. Centro	-20m+48m	35
FINO	A.R. Tarma	-100m	30
ABRIDOR			

LIGANTE 12.00 %

CONTRACCION

L_p = Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
L_s - Longitud seca del ladrillo 21.80 cm
L_q - Longitud del ladrillo quemado. 21.20 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a = Peso de la pieza de ensayo seca. 266.50 gr
W_b = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 237.30 gr
W_c = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 372.00 gr
D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a Peso del ladrillo seco. 266.50 gr
b Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 284.00 gr
B - Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 288.70 gr
c - Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 210.20 gr

RESISTENCIA

Compresión 320 Kg/cm²
 Flexión 70 Kg/cm²

ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAD-2A

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>57.87</i>
<i>Alúmina</i>	<i>37.13</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.83</i>
<i>Titania</i>	<i>0.26</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.42</i>
<i>Cal</i>	<i>1.46</i>
<i>Alcalis</i>	<i>1.03</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>19-20</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>4.50</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>8.81</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>12.91</i>
<i>Volumen a Granel (cc)</i>	<i>134.70</i>
<i>Densidad a Granel (gr/cc)</i>	<i>1.98</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido (cc)</i>	<i>29.20</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido (gr/cc)</i>	<i>9.13</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>6.57</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>22.29</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>8.33</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>28.28</i>
<i>Coefficiente de Saturación</i>	<i>0.79</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>28.28</i>
<i>Densidad Bulk (gr/cc)</i>	<i>3.39</i>
<i>Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)</i>	<i>320.00</i>
<i>Resistencia a la flexión (Kg/cm²)</i>	<i>70.00</i>

**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
DENSO SILICO-ALUMINOSO (LRSAD-2B)**

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	<i>A.R. Huancayo</i>	<i>-10m+20m</i>	<i>30</i>
MEDIANO	<i>A.R. Centro</i>	<i>-20m+48m</i>	<i>35</i>
FINO	<i>A.R. Tarma</i>	<i>-100m</i>	<i>35</i>
ABRIDOR			

LIGANTE 13.25 %

CONTRACCION

Lp = Longitud plástica del ladrillo en verde *22.20 cm*
Ls = Longitud seca del ladrillo *21.80 cm*
Lq = Longitud del ladrillo quemado. *21.15 cm*

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

Wa = Peso de la pieza de ensayo seca. *268.00 gr*
Wb = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. *241.10 gr*
Wc = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. *369.00 gr*
D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. *1.00 gr/cc*

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. *268.00 gr*
b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. *283.20 gr*
B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. *287.40 gr*
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. *217.60 gr*

Compresión *350 Kg/cm²*
Flexión *85 Kg/cm²*

ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAD-2B

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>57.30</i>
<i>Alúmina</i>	<i>37.55</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.82</i>
<i>Titania</i>	<i>0.26</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.43</i>
<i>Cal</i>	<i>1.52</i>
<i>Alcalis</i>	<i>1.12</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>19-20</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>4.73</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>9.24</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>13.53</i>
<i>Volumen a Granel (cc)</i>	<i>127.90</i>
<i>Densidad a Granel (gr/cc)</i>	<i>2.10</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido (cc)</i>	<i>26.90</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido (gr/cc)</i>	<i>9.96</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>5.67</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>21.78</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>7.24</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>27.79</i>
<i>Coefficiente de Saturación</i>	<i>0.78</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>27.79</i>
<i>Densidad Bulk (gr/cc)</i>	<i>3.84</i>
<i>Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)</i>	<i>350.00</i>
<i>Resistencia a la flexión (Kg/cm²)</i>	<i>85.00</i>

**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
DENSO SILICO-ALUMINOSO (LRSAD-2C)**

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	A.R. Huancayo	-10m+20m	30
MEDIANO	A.R. Centro	-20m+48m	30
FINO	A.R. Tarma	100m	40
ABRIDOR			

LIGANTE : 14.20 %

CONTRACCION

L_p = Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
L_s = Longitud seca del ladrillo 21.75 cm
L_q = Longitud del ladrillo quemado. 21.10 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a - Peso de la pieza de ensayo seca. 270.10 gr
W_b = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 243.80 gr
W_c - Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 369.10 gr
 Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 270.10 gr
b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 281.00 gr
B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 284.40 gr
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 230.20 gr

RESISTENCIA

Compresión 400 Kg/cm²
 Flexión 98 Kg/cm²

ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAD-2C

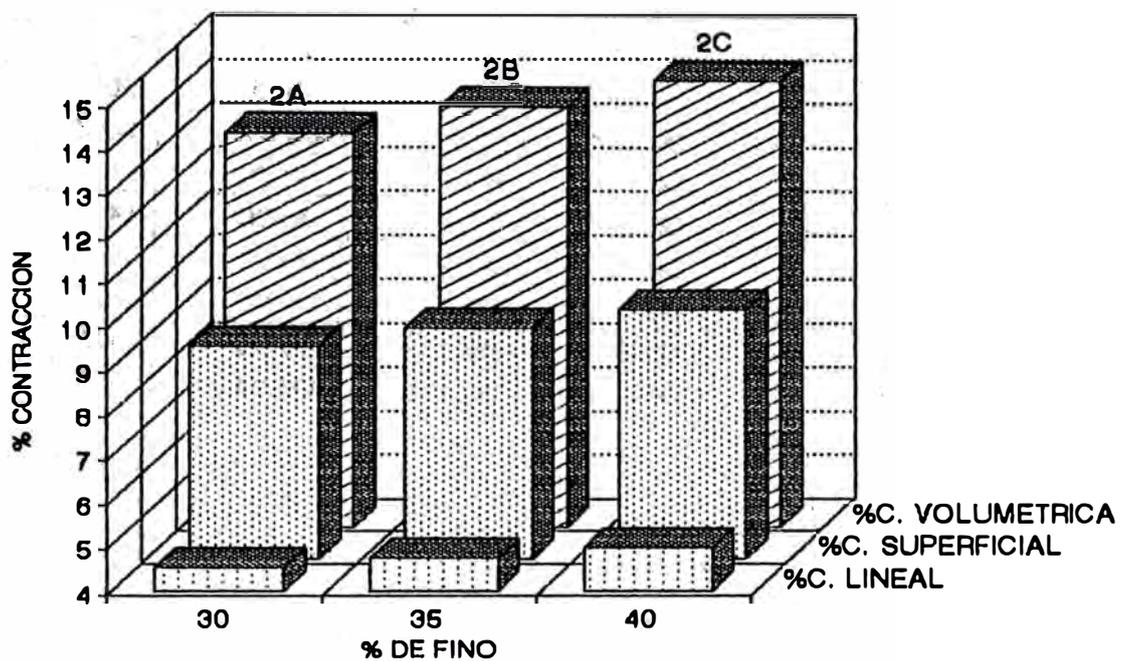
QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>56.76</i>
<i>Alúmina</i>	<i>37.94</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.84</i>
<i>Titania</i>	<i>0.27</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.46</i>
<i>Cal</i>	<i>1.49</i>
<i>Alcalis</i>	<i>1.24</i>

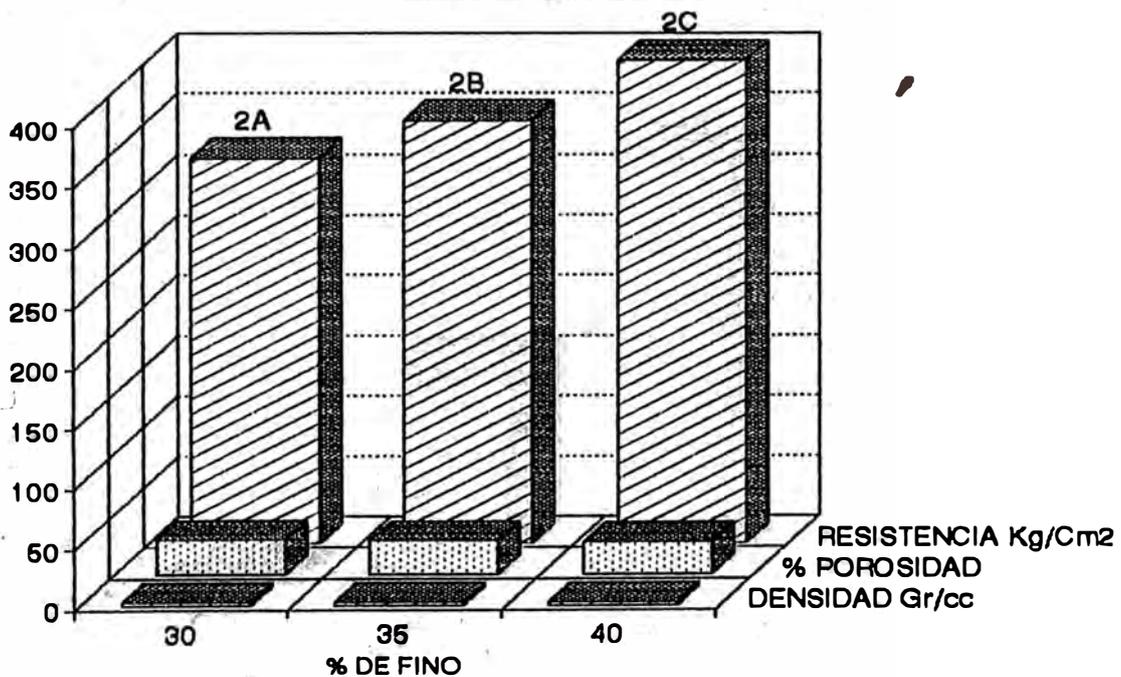
FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>19-20</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>4.95</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>9.66</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>14.14</i>
<i>Volumen a Granel (cc)</i>	<i>125.30</i>
<i>Densidad a Granel (gr/cc)</i>	<i>2.16</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido (cc)</i>	<i>26.30</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido (gr/cc)</i>	<i>10.27</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>4.04</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>20.11</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>5.29</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>26.38</i>
<i>Coficiente de Saturación</i>	<i>0.76</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>26.38</i>
<i>Densidad Bulk (gr/cc)</i>	<i>4.98</i>
<i>Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)</i>	<i>400.00</i>
<i>Resistencia a la flexión (Kg/cm²)</i>	<i>98.00</i>

PORCENTAJE DE CONTRACCION LRSAD-2A-2B-2C



DENSIDAD-POROSIDAD-RESISTENCIA LRSAD-2A-2B-2C



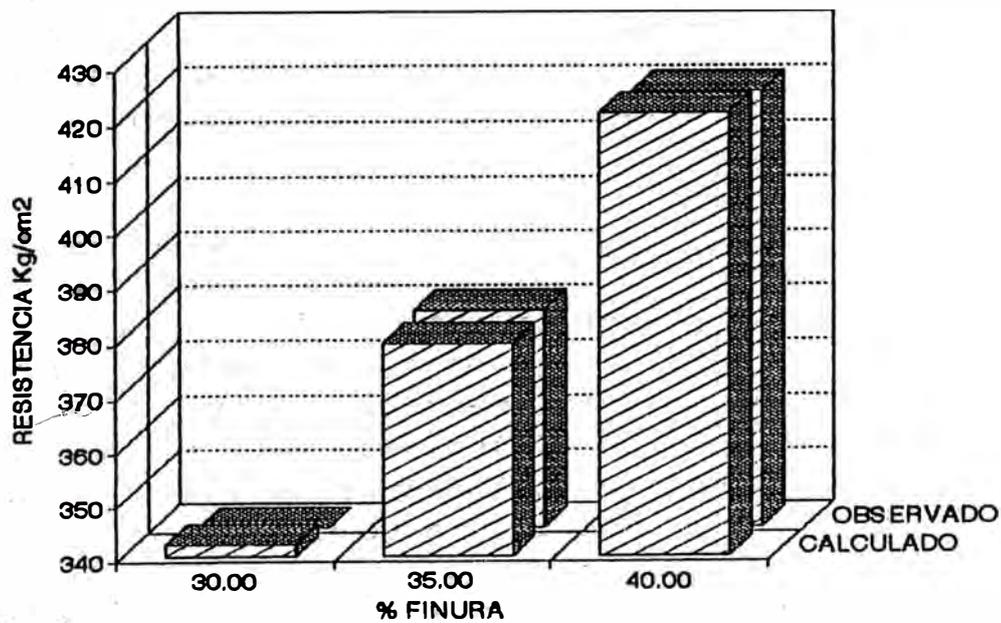
MODELO MATEMATICO HEXAGONAL

NUMERO	FINURA %	DENSIDAD gr/cc	RES-EXP Kg/cm2	RES-CALC Kg/cm2	CAL - OBS
1.00	30.00	2.08	340.00	342.30	-2.30
2.00	35.00	2.15	380.00	379.40	0.60
3.00	40.00	2.33	420.00	421.40	-1.40
4.00	30.00	1.98	320.00	322.00	-2.00
5.00	35.00	2.10	350.00	354.00	-4.00
6.00	40.00	2.16	400.00	398.40	1.60
7.00	30.00	1.94	280.00	281.30	-1.30
8.00	35.00	1.95	300.00	299.87	0.13
9.00	40.00	2.00	320.00	319.30	0.70

ECUACION

$$Y = 300 + 8.333X_1 - 14.434X_2 + 30X_1^2 + 106.667X_2^2 + 51.962X_1X_2$$

VALOR OBSERVADO-CALCULADO



6.4. FORMULACION Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LADRILLOS REFRACTARIOS AISLANTES SILICO-ALUMINOSO

(LRSAA-1A)

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	A.R. Huancayo	-20m+35m	30
MEDIANO	Ch. Huancayo	-35m+48m	35
FINO	A.R. Huancayo	-65m	30
ABRIDOR	Aserrín	-10m	5

LIGANTE : 14.00 %

CONTRACCION

L_p = Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
L_s = Longitud seca del ladrillo 22.90 cm
L_q = Longitud del ladrillo quemado. 21.20 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a = Peso de la pieza de ensayo seca. 239.10 gr
W_b = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 204.40 gr
W_c = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 408.40 gr
D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 239.10 gr
b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 290.00 gr
B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 302.00 gr
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 189.30 gr

Compresión 50.00 Kg/cm²
 Flexión 15.00 Kg/cm²

ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAA-1A

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>61.87</i>
<i>Alúmina</i>	<i>34.24</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.96</i>
<i>Titania</i>	<i>0.40</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.54</i>
<i>Cal</i>	<i>0.36</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.63</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>18-19</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>4.50</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>8.81</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>12.91</i>
<i>Volumen a Granel</i>	<i>204.00</i>
<i>Densidad a Granel</i>	<i>1.17</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido</i>	<i>34.70</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido</i>	<i>6.89</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>21.29</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>45.16</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>26.31</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>55.81</i>
<i>Coefficiente de Saturación</i>	<i>0.81</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>55.81</i>
<i>Densidad Bulk</i>	<i>2.12</i>
<i>Resistencia a la Compresión Kg/cm²</i>	<i>50.00</i>
<i>Resistencia a la flexión Kg/cm²</i>	<i>15.00</i>

**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
AISLANTE SILICO-ALUMINOSO (LRSAA-1B)**

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	A.R. Huancayo	-20m+35m	30
MEDIANO	Ch. Huancayo	-35m+48m	32
FINO	A.R. Huancayo	-65m	30
ABRIDOR	Aserrín	-10m	8

LIGANTE 15.00 %

CONTRACCION

L_p - Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
L_s - Longitud seca del ladrillo 21.80 cm
L_q - Longitud del ladrillo quemado. 21.10 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a = Peso de la pieza de ensayo seca. 235.80 gr
W_b = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 201.20 gr
W_c = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 413.50 gr
D - Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 235.80 gr
b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 292.00 gr
B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 304.00 gr
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 187.80 gr

RESISTENCIA

Compresión 48.00 Kg/cm²
 Flexión 14.00 Kg/cm²

**ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAA-1B**

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>61.85</i>
<i>Alúmina</i>	<i>34.26</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.97</i>
<i>Titania</i>	<i>0.40</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.53</i>
<i>Cal</i>	<i>0.36</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.63</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>18-19</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>4.95</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>9.66</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>14.14</i>
<i>Volumen a Granel</i>	<i>212.30</i>
<i>Densidad a Granel</i>	<i>1.11</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido</i>	<i>34.60</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido</i>	<i>6.82</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>23.83</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>48.36</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>28.92</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>58.69</i>
<i>Coficiente de Saturación</i>	<i>0.82</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>58.69</i>
<i>Densidad Bulk</i>	<i>2.03</i>
<i>Resistencia a la Compresión Kg/cm²</i>	<i>48.00</i>
<i>Resistencia a la flexión Kg/cm²</i>	<i>14.00</i>

**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
AISLANTE SILICO-ALUMINOSO (LRSAA-1C)**

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	A.R. Huancayo	-20m+35m	30
MEDIANO	Ch. Huancayo	-35m+48m	30
FINO	A.R. Huancayo	-65m	30
ABRIDOR	Aserrín	-10m	10

LIGANTE 16.00 %

CONTRACCION

L_p - Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
L_s - Longitud seca del ladrillo 21.82 cm
L_q - Longitud del ladrillo quemado. 21.00 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a = Peso de la pieza de ensayo seca. 230.20 gr
W_b - Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 195.30 gr
W_c = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 414.10 gr
D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a - Peso del ladrillo seco. 230.20 gr
 Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 295.00 gr
B - Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 307.30 gr
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 185.90 gr

RESISTENCIA

Compresión 42.00 Kg/cm²
 Flexión 11.00 Kg/cm²

**ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAA-1C**

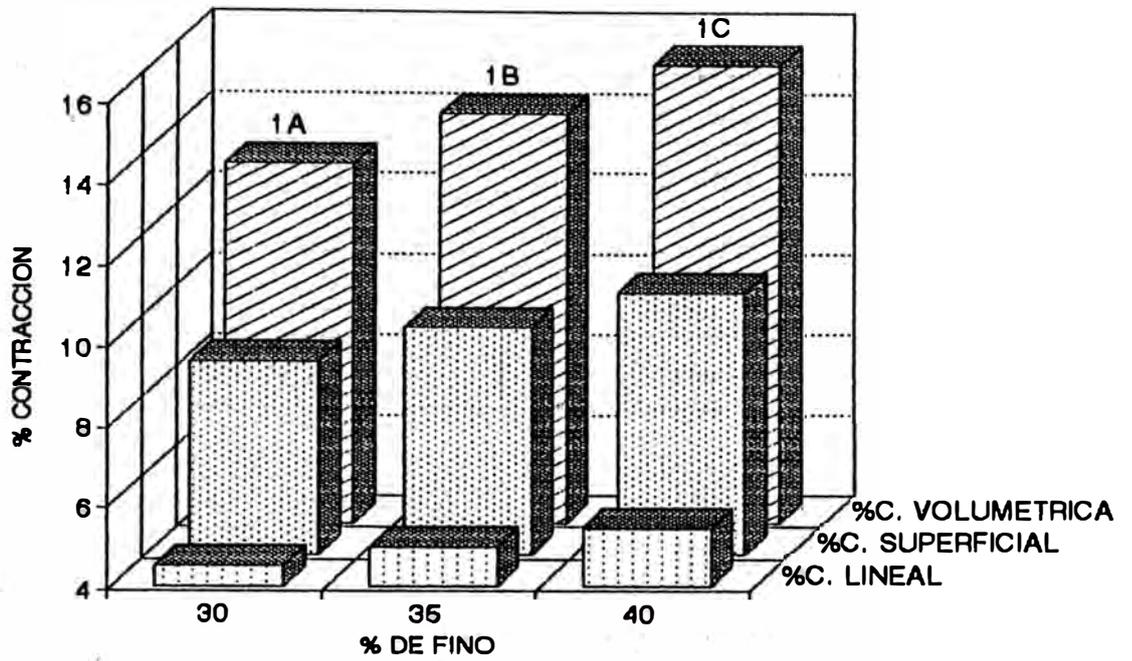
QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>61.83</i>
<i>Alúmina</i>	<i>34.27</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.97</i>
<i>Titania</i>	<i>0.40</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.53</i>
<i>Cal</i>	<i>0.36</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.64</i>

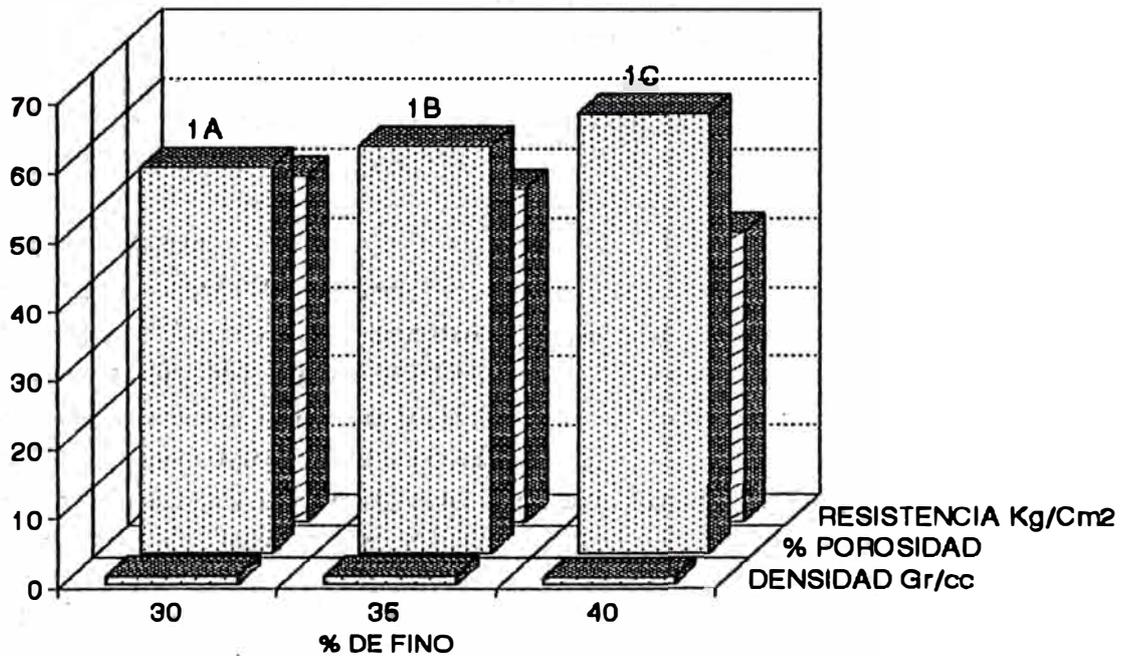
FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>18-19</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>5.41</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>10.52</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>15.36</i>
<i>Volumen a Granel</i>	<i>218.80</i>
<i>Densidad a Granel</i>	<i>1.05</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido</i>	<i>34.90</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido</i>	<i>6.60</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>28.15</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>53.38</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>33.49</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>63.51</i>
<i>Coficiente de Saturación</i>	<i>0.84</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>63.51</i>
<i>Densidad Bulk</i>	<i>1.90</i>
<i>Resistencia a la Compresión Kg/cm²</i>	<i>42.00</i>
<i>Resistencia a la flexión Kg/cm²</i>	<i>11.00</i>

PORCENTAJE DE CONTRACCION LRSAA-1A-1B-1C



DENSIDAD-POROSIDAD-RESISTENCIA LRSAA-1A-1B-1C



**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
AISLANTE SILICO-ALUMINOSO (LRSAA-2A)**

<i>GRANULOMETRIA</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>MALLA</i>	<i>%PESO</i>
<i>TOSCO</i>	<i>A.R. Centro</i>	<i>-20m+35m</i>	<i>30</i>
<i>MEDIANO</i>	<i>Ch. Centro</i>	<i>-35m+65m</i>	<i>35</i>
<i>FINO</i>	<i>A.R. Centro</i>	<i>-65m</i>	<i>30</i>
<i>ABRIDOR</i>	<i>Aserrín</i>	<i>-10m</i>	<i>5</i>

LIGANTE : 14.60 %

CONTRACCION

L_p - Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
L_s = Longitud seca del ladrillo 21.75 cm
L_q = Longitud del ladrillo quemado. 21.30 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a - Peso de la pieza de ensayo seca. 216.00 gr
W_b = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 189.00 gr
W_c - Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 401.00 gr
D - Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 216.00 gr
b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 252.10 gr
B - Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 262.40 gr
c - Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 175.80 gr

RESISTENCIA

Compresión 54.00 Kg/cm²
 Flexión 18.00 Kg/cm²

**ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAA-2A**

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>62.23</i>
<i>Alúmina</i>	<i>33.76</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.71</i>
<i>Titania</i>	<i>0.21</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.28</i>
<i>Cal</i>	<i>1.56</i>
<i>Alcalis</i>	<i>1.25</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>18-19</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>4.05</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>7.94</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>11.68</i>
<i>Volumen a Granel</i>	<i>212.00</i>
<i>Densidad a Granel</i>	<i>1.02</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido</i>	<i>27.00</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido</i>	<i>8.00</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>16.71</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>41.69</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>21.48</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>53.58</i>
<i>Coefficiente de Saturación</i>	<i>0.78</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>53.58</i>
<i>Densidad Bulk</i>	<i>2.49</i>
<i>Resistencia a la Compresión Kg/cm²</i>	<i>54.00</i>
<i>Resistencia a la flexión Kg/cm²</i>	<i>18.00</i>

**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
AISLANTE SILICO-ALUMINOSO (LRSAA-2B)**

GRANULOMETRIA	MATERIAL	MALLA	%PESO
TOSCO	A.R. Centro	-20m+35m	30
MEDIANO	Ch. Centro	-35m+665m	32
FINO	A.R. Centro	-65m	30
ABRIDOR	Aserrín	-10m	8

LIGANTE : 15.50 %

CONTRACCION

Lp = Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
Ls - Longitud seca del ladrillo 21.70 cm
Lq = Longitud del ladrillo quemado. 21.10 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

Wa = Peso de la pieza de ensayo seca. 228.20 gr
Wb - Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 188.00 gr
Wc = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 415.60 gr
D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 228.20 gr
b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 287.00 gr
B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 302.10 gr
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 170.20 gr

RESISTENCIA

Compresión 52.00 Kg/cm²
Flexión 16.00 Kg/cm²

**ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAA-2B**

QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>62.15</i>
<i>Alúmina</i>	<i>33.82</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.72</i>
<i>Titania</i>	<i>0.20</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.27</i>
<i>Cal</i>	<i>1.60</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.24</i>

FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>18-19</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>4.95</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>9.66</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>14.14</i>
<i>Volumen a Granel</i>	<i>227.60</i>
<i>Densidad a Granel</i>	<i>1.00</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido</i>	<i>40.20</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido</i>	<i>5.68</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>25.77</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>44.58</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>32.38</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>56.03</i>
<i>Coefficiente de Saturación</i>	<i>0.80</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>56.03</i>
<i>Densidad Bulk</i>	<i>1.73</i>
<i>Resistencia a la Compresión Kg/cm²</i>	<i>52.00</i>
<i>Resistencia a la flexión Kg/cm²</i>	<i>16.00</i>

**FORMULACION DE LADRILLO REFRACTARIO
AISLANTE SILICO-ALUMINOSO (LRSAA-2C)**

<i>GRANULOMETRIA</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>MALLA</i>	<i>%PESO</i>
<i>TOSCO</i>	<i>A.R. Centro</i>	<i>-20m+35m</i>	<i>30</i>
<i>MEDIANO</i>	<i>Ch. Centro</i>	<i>-35m+65m</i>	<i>30</i>
<i>FINO</i>	<i>A.R. Centro</i>	<i>-65m</i>	<i>30</i>
<i>ABRIDOR</i>	<i>Serrín</i>	<i>-10m</i>	<i>10</i>

LIGANTE 15.20 %

CONTRACCION

L_p = Longitud plástica del ladrillo en verde 22.20 cm
L_s = Longitud seca del ladrillo 21.82 cm
L_q = Longitud del ladrillo quemado. 21.00 cm

DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a - Peso de la pieza de ensayo seca. 230.20 gr
W_b - Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión. 179.60 gr
W_c = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire. 418.20 gr
D Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo. 1.00 gr/cc

ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco. 230.20 gr
b - Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría. 295.00 gr
B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente. 307.30 gr
c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición. 172.20 gr

RESISTENCIA

Compresión 49.00 Kg/cm²
 Flexión 15.00 Kg/cm²

ESPECIFICACIONES TECNICAS
LRSAA-2C

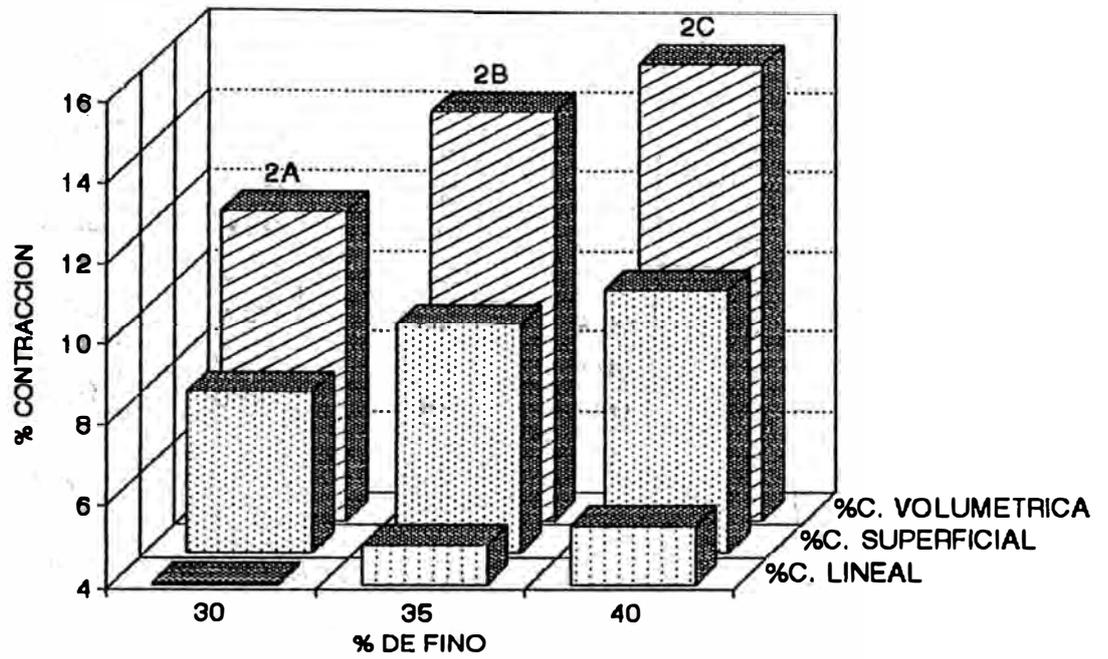
QUIMICAS

<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE</i>
<i>Sílice</i>	<i>62.10</i>
<i>Alúmina</i>	<i>33.87</i>
<i>Oxido de Fierro</i>	<i>1.70</i>
<i>Titania</i>	<i>0.20</i>
<i>Magnesia</i>	<i>0.27</i>
<i>Cal</i>	<i>1.63</i>
<i>Alcalis</i>	<i>0.23</i>

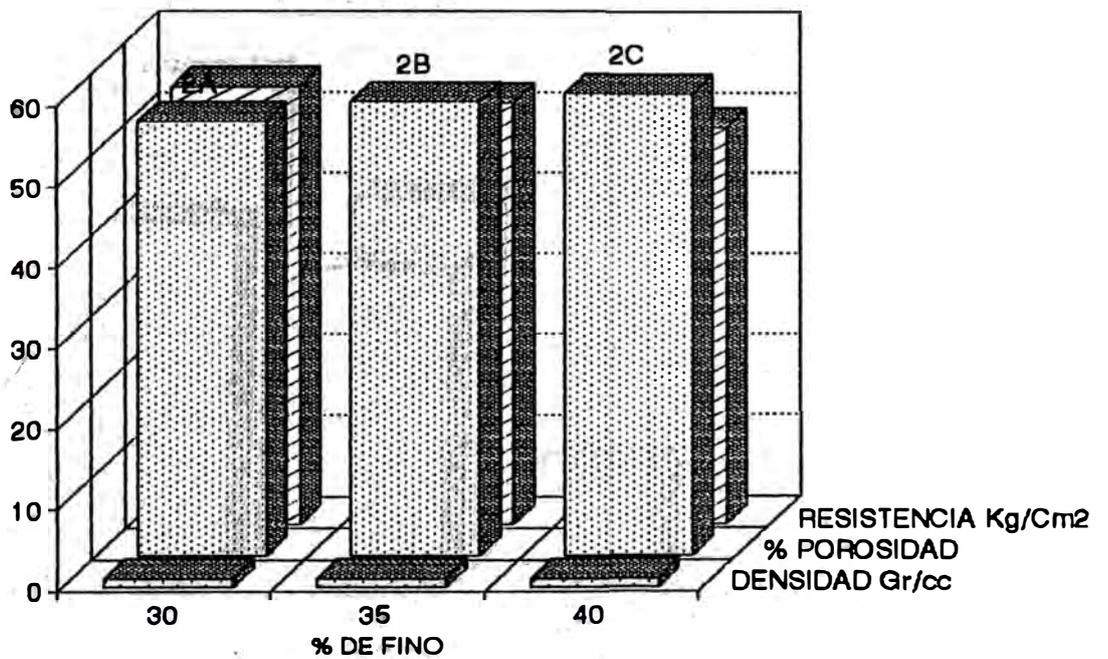
FISICAS

<i>PROPIEDADES</i>	<i>VALOR</i>
<i>Temperatura de Servicio (CPE)</i>	<i>18-19</i>
<i>% Contracción Lineal</i>	<i>5.41</i>
<i>% Contracción Superficial</i>	<i>10.52</i>
<i>% Contracción Volumétrica</i>	<i>15.36</i>
<i>Volumen a Granel</i>	<i>238.60</i>
<i>Densidad a Granel</i>	<i>0.96</i>
<i>Volumen Aparente de Sólido</i>	<i>50.60</i>
<i>Densidad Aparente de Sólido</i>	<i>4.55</i>
<i>% Absorción Peso 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>28.15</i>
<i>% Absorción Volumen 24 Hrs. Inmersión</i>	<i>47.96</i>
<i>% Absorción Peso 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>33.49</i>
<i>% Absorción Volumen 5 Hrs. Inmersión</i>	<i>57.07</i>
<i>Coficiente de Saturación</i>	<i>0.84</i>
<i>% Porosidad Aparente</i>	<i>57.07</i>
<i>Densidad Bulk</i>	<i>1.70</i>
<i>Resistencia a la Compresión Kg/cm²</i>	<i>49.00</i>
<i>Resistencia a la flexión Kg/cm²</i>	<i>15.00</i>

PORCENTAJE DE CONTRACCION LRSAA-2A-2B-2C



DENSIDAD-POROSIDAD-RESISTENCIA LRSAA-2A-2B-2C



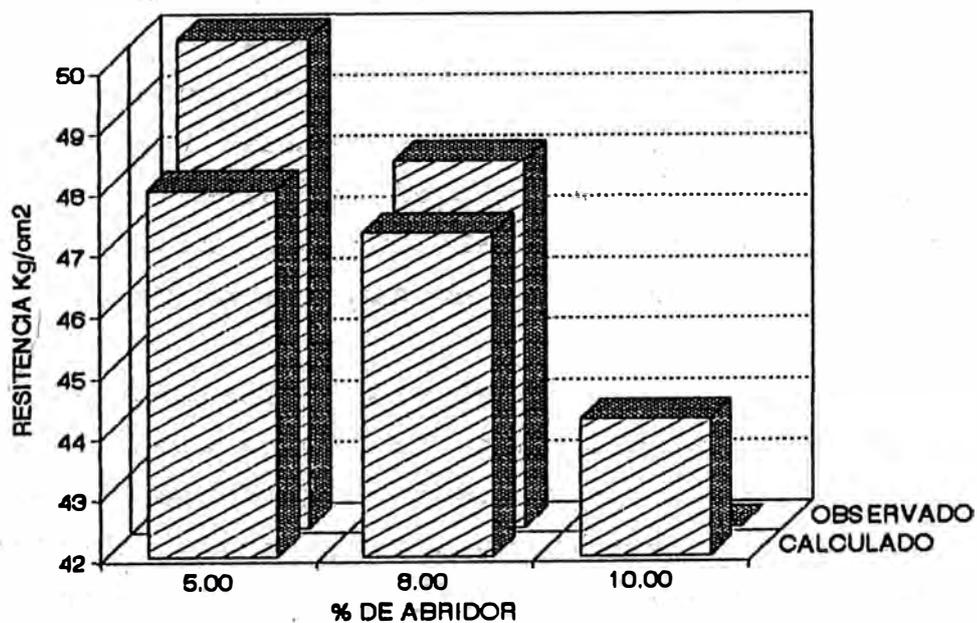
MODELO MATEMATICO HEXAGONAL

NUMERO	ABRIDOR %	DENSIDAD gr/cc	RES-EXP Kg/cm2	RES-CALC Kg/cm2	CAL - OBS
1.00	5.00	1.17	50.00	48.00	2.00
2.00	8.00	1.11	48.00	47.30	0.70
3.00	10.00	1.05	42.00	44.24	-2.24
4.00	5.00	1.02	54.00	53.90	0.10
5.00	8.00	1.00	52.00	52.10	-0.10
6.00	10.00	0.96	49.00	49.20	-0.20
7.00	5.00	1.02	49.00	47.80	1.20
8.00	8.00	1.01	45.00	44.20	0.80
9.00	10.00	0.99	42.00	42.10	-0.10

ECUACION

$$Y = 1.007 + 0.053X_1 - 0.058X_2 + 0.088X_1^2 + 0.002X_2^2 - 0.058X_1X_2$$

VALOR OBSERVADO-CALCULADO



CAPITULO VII
ASPECTOS TECNICOS PARA LA SELECCION Y UTILIZACION
DE LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS

7.1. GENERALIDADES

La utilización de los productos refractarios técnicamente depende del equilibrio entre las propiedades y el comportamiento de los refractarios, de una parte, y las condiciones destructivas a las cuales probablemente han de enfrentarse. Incluso en hornos del mismo tipo e igual diseño, que trabajan más o menos con el mismo tipo de productos, no siempre es posible adelantar si resultará satisfactorio o no un cierto tipo de refractario. Esto se debe a las variables de la operación. Sin embargo, la experiencia general es un buen guía en la mayoría de los casos.

Los refractarios son seleccionados principalmente por su resistencia al calor, resistir la abrasión mecánica, metales fundidos, escorias, gases, soportar repentinos cambios de temperatura y permanecer inalterables por la alta temperatura cuando están soportando cargas.

No existe una clasificación satisfactoria de los refractarios. Químicamente pueden clasificarse en ácidos, básicos y neutros. Teóricamente un refractario ácido no debe ponerse en contacto con una escoria básica o igualmente un básico con una escoria ácida, pero en la práctica esta regla es frecuentemente descartada.

También, algún refractario que tiene propiedades químicas de resistir a ciertas escorias, pueden ser destruido en corto tiempo si es demasiado poroso tal que absorba la escoria líquida por capilaridad. Por lo que se debe hacer una selección adecuada del refractario teniendo en cuenta la posición que ocupará en el horno o si es el más aconsejable para dicho trabajo.

7.2. FACTORES DE SELECCION Y USO DE LOS REFRACTARIOS

7.2.1. FACTORES RELACIONADOS A LA OPERACION

- Función del horno
- Naturaleza del material a ser procesado
- Velocidad de operación
- Continuidad de operación
- Temperatura en diferentes partes del horno
- Rapidez y rango de cambios de temperatura
- Fuente de calor:
 - * Clase de combustible
 - * Eléctrico (arco, resistencia o inducción)
- Liberación de calor por unidad de volumen
- Velocidad de disipación del calor
- Ataque químico por óxidos de metales, escorias, cenizas del combustible u otro material corrosivo

- *Ataque químico por polvo, humos o gases*
- *Fluidez del metal fundido o de la escoria*
- *Velocidad de los gases en contacto con los revestimientos*
- *Abrasión debida a carga movable*
- *Abrasión por polvo en los gases en movimiento rápido*
- *Impacto por la carga de material frío*
- *Erosión por metales fundidos*
- *Choque de la llama o puntos calientes*

7.2.2. FACTORES RELACIONADOS AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HORNO

- *Tipo de horno*
- *Volumen del horno*
- *Diseño y dimensiones de paredes y arcos*
- *Cargas impuestas sobre los materiales del revestimiento*
- *Condiciones del calentamiento:*
 - * *De un solo lado como en una pared exterior*
 - * *De más de un lado como en la garganta de un horno tanque*
 - * *Desde la parte inferior como en el techo del horno*
- *Grado de aislamiento térmico*
- *Ventilación de las partes del horno*
- *Enfriamiento por aire o agua*
- *Tipo de construcción: ladrillo y materiales monolíticos*
- *Métodos de unión y sostenimiento*
- *Tipos de unión*
- *Espesor de las uniones*
- *Naturaleza del mortero de unión*

- *Precaución para la dilatación térmica*
- *Mecánica de las partes móviles, como en los hornos rotatorios o los carritos de los hornos tipo túnel*

7.2.3. FACTORES RELACIONADOS A LOS REFRACTARIOS

a. *Propiedades a temperaturas atmosféricas (solo ladrillos)*

- *Mano de obra, uniformidad de tamaño sin estar arqueados*
- *Habilidad para resistir manejo normal*
- *Densidad, porosidad, permeabilidad*
- *Composición química y mineralógica*
- *Uniformidad de composición y textura*
- *Tamaño de ladrillo*
- *Diseño de las formas del ladrillo*

b. *Propiedades a alta temperatura (para todos los refractarios):*

- *Refractariedad*
- *Temperatura de vitrificación*
- *Dilatación térmica reversible*
- *Resistencia al choque térmico*
- *Resistencia al ataque químico*
- *Resistencia al esfuerzo mecánico y al impacto*
- *Resistencia a la abrasión y erosión*
- *Permeabilidad a gases y líquidos*
- *Estabilidad de volumen, porosidad, según sea afectada por las condiciones del horno*
- *Estabilidad de la constitución mineralógica*
- *Resistencia a gases y humos*

- *Conductividad térmica*
- *Capacidad calorífica*
- *Resistividad eléctrica*
- *Resistencia dieléctrica*

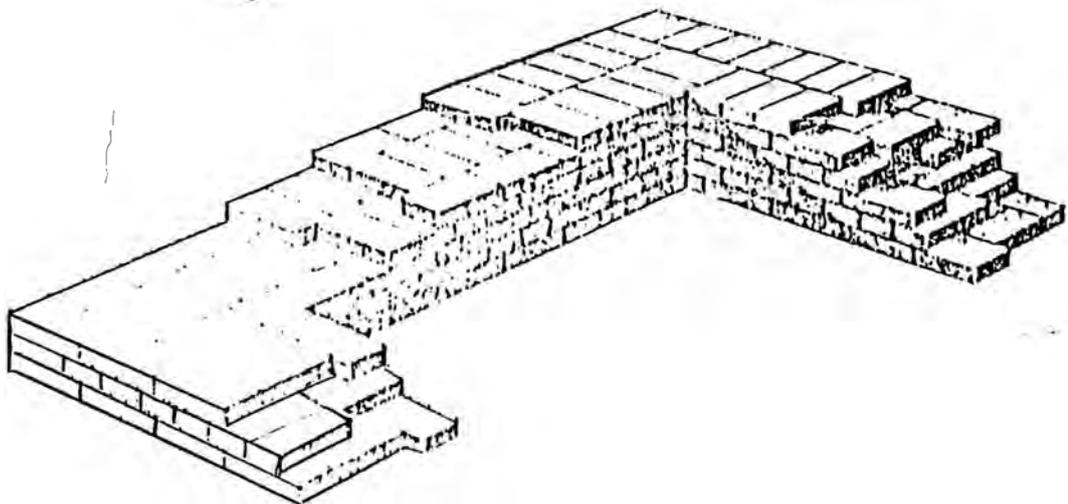
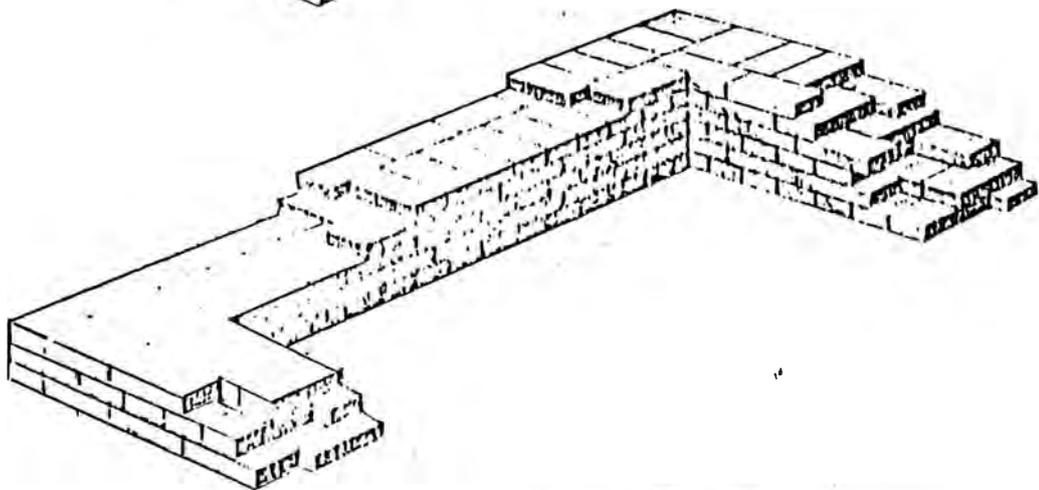
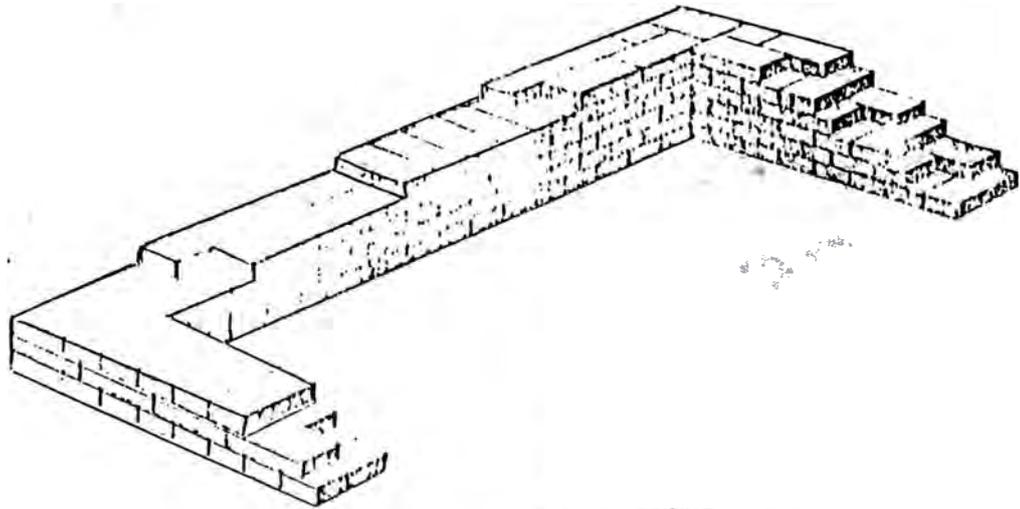
7.2.4. FACTORES ECONOMICOS

- *Costo de entrega*
- *Costo de instalación*
- *Tamaños standard vs. formas especiales*
- *Duración en servicio*
- *Valor recuperable*

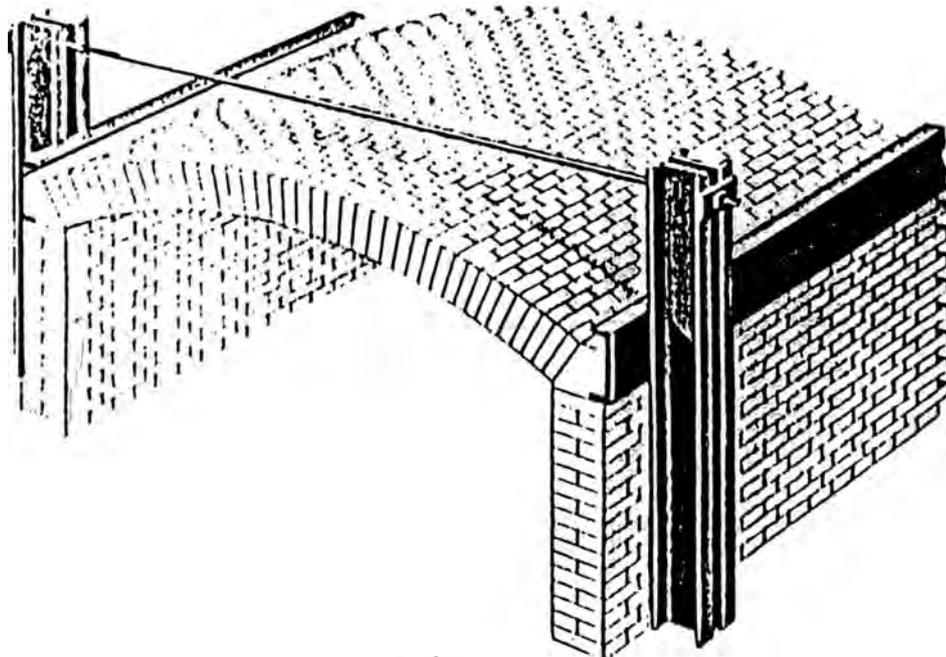
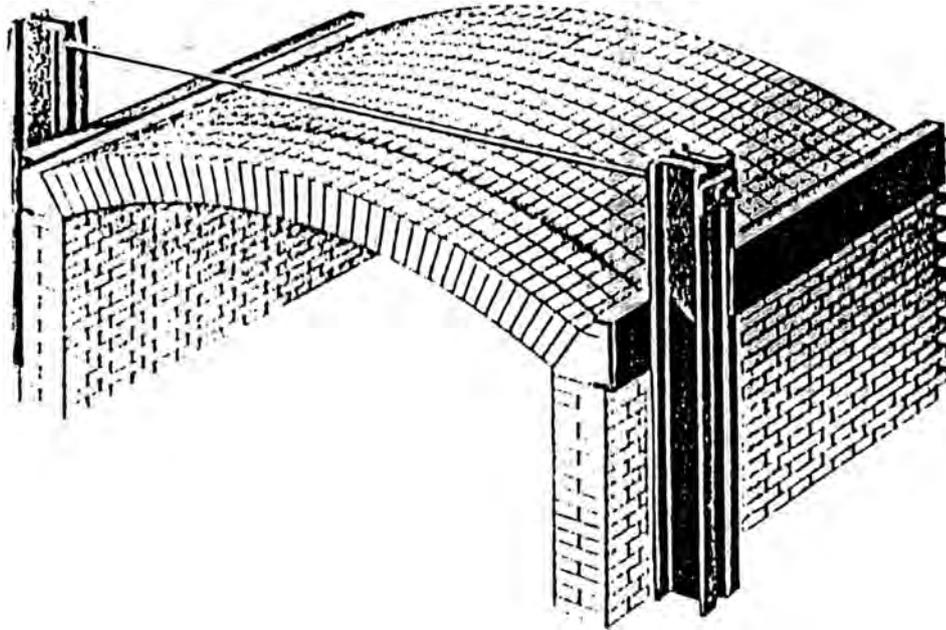
7.3. DISTRIBUCION DE LOS REFRACTARIOS EN LOS HORNOS

- *Construcción típica de paredes*
- *Construcción típica de bóvedas de hornos*
- *Horno reverbero para cobre*
- *Horno convertidor de cobre*
- *Horno de afinado del plomo*
- *Horno de arco eléctrico para la fusión ácida del acero*
- *Horno de arco eléctrico para la fusión básica del acero*
- *Alto horno*
- *Horno de manga para hierro*
- *Horno de inducción.*

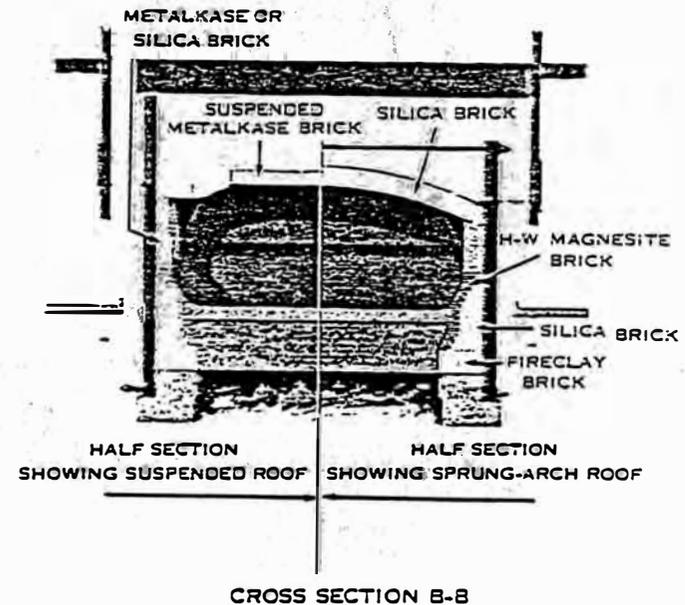
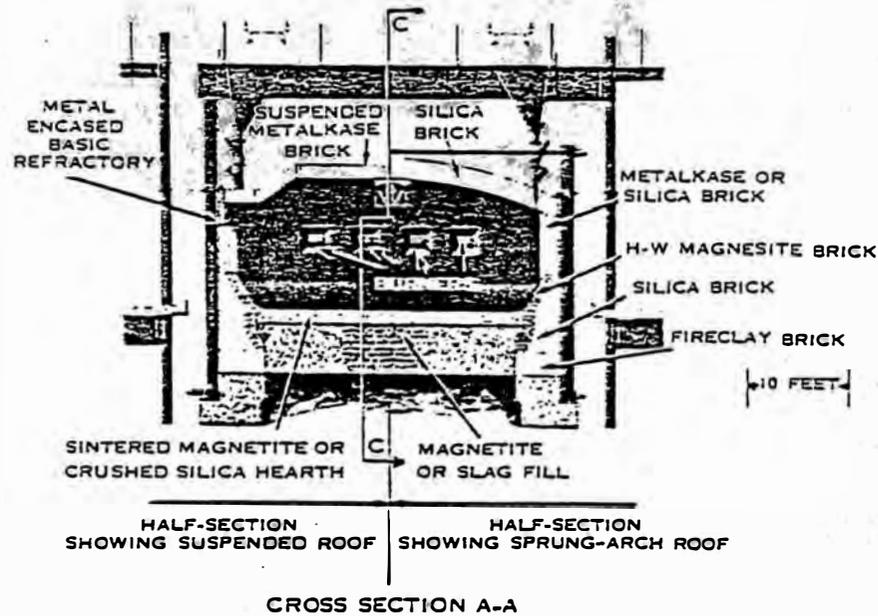
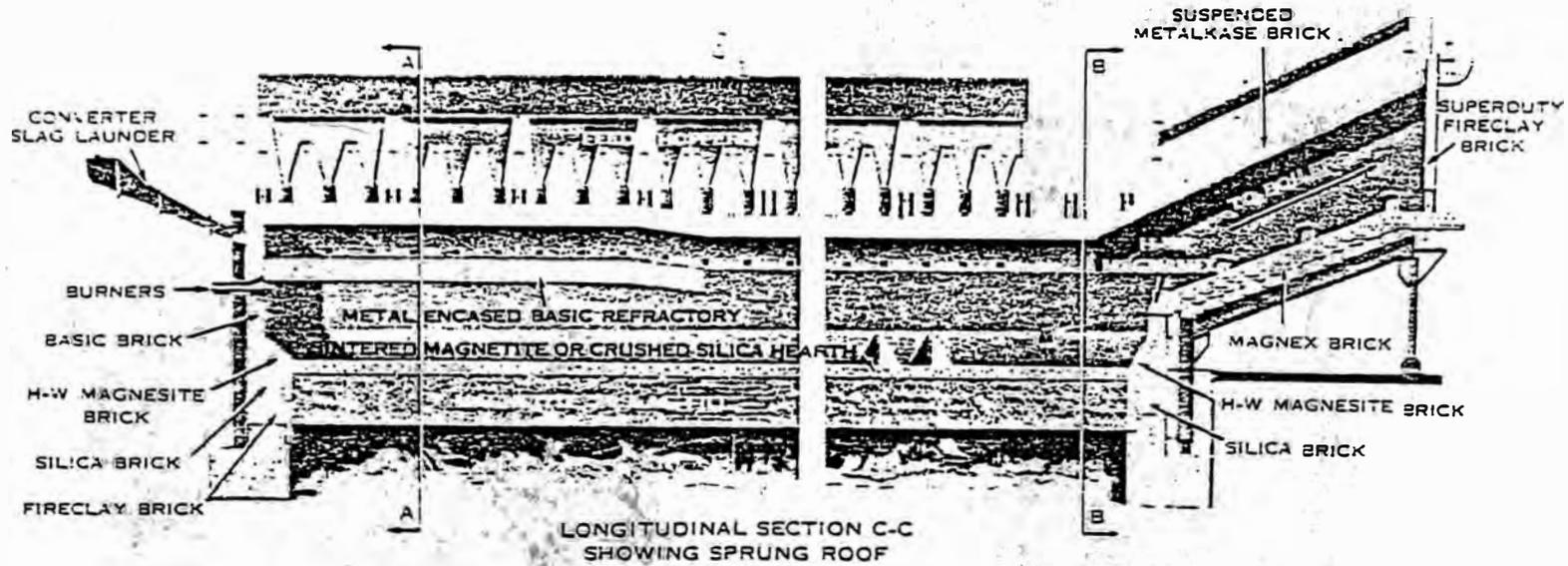
CONSTRUCCION TIPICA DE PAREDES
DE: 9", 13 1/2" y 18"
CON LADRILLOS REFRACTARIOS



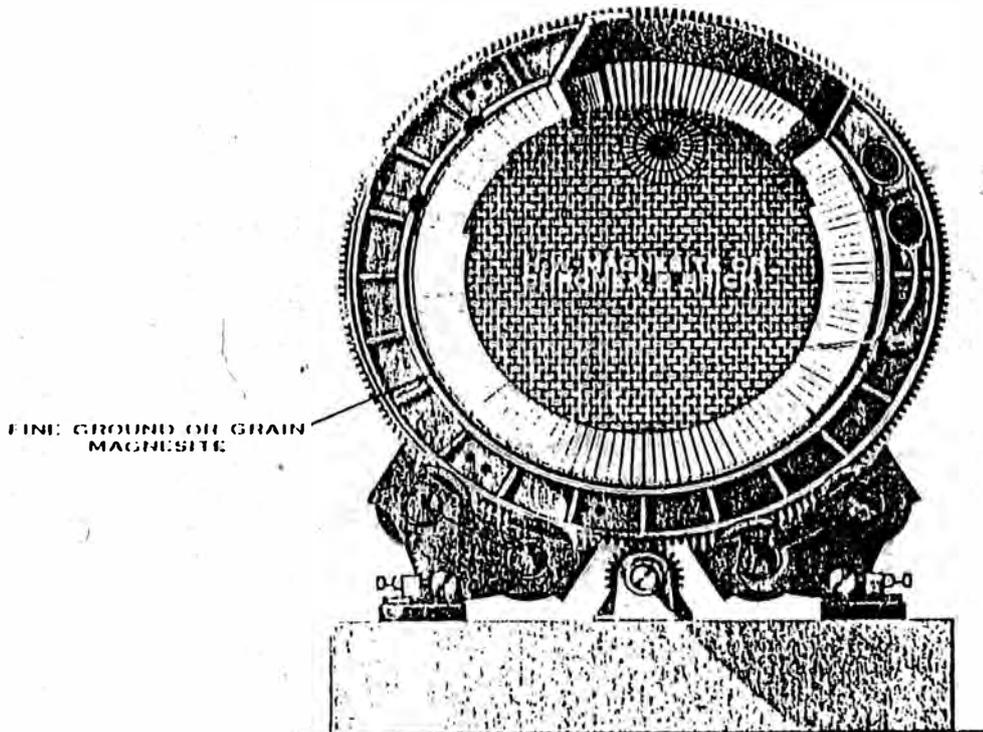
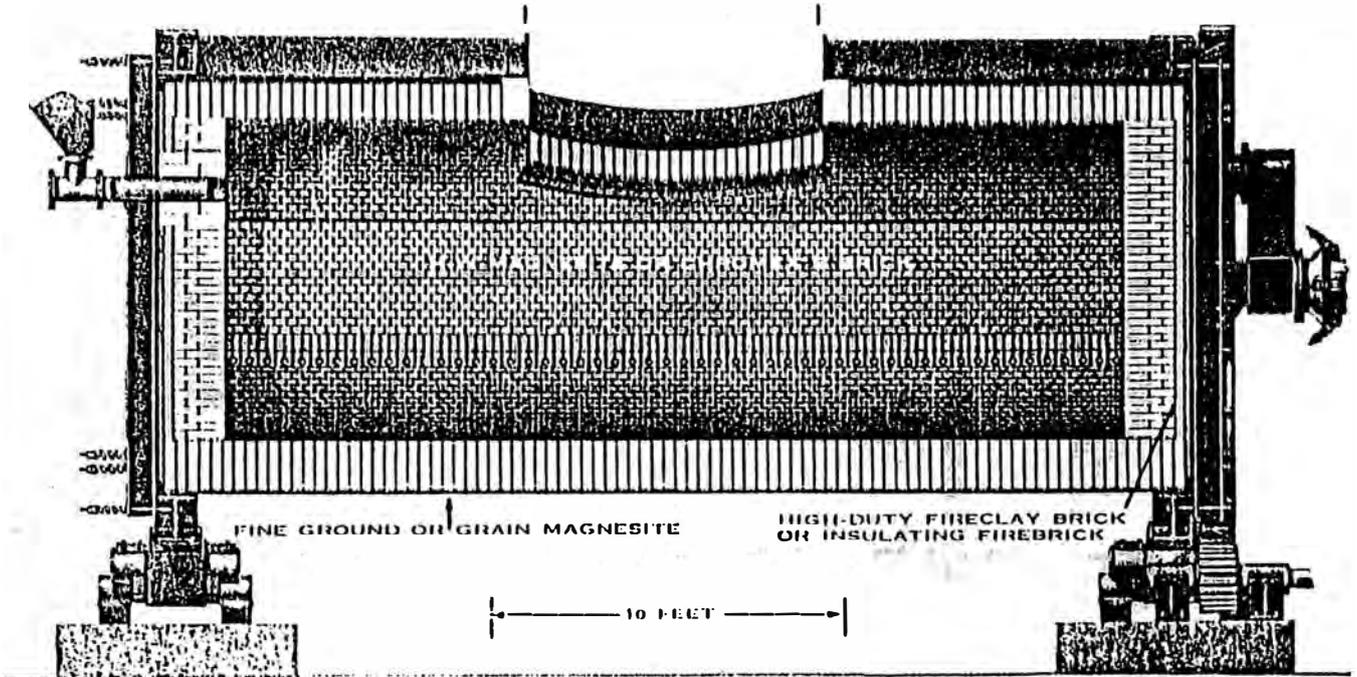
CONSTRUCCION TIPICA DE
BOVEDAS DE HORNOS
CON LADRILLOS REFRACTARIOS



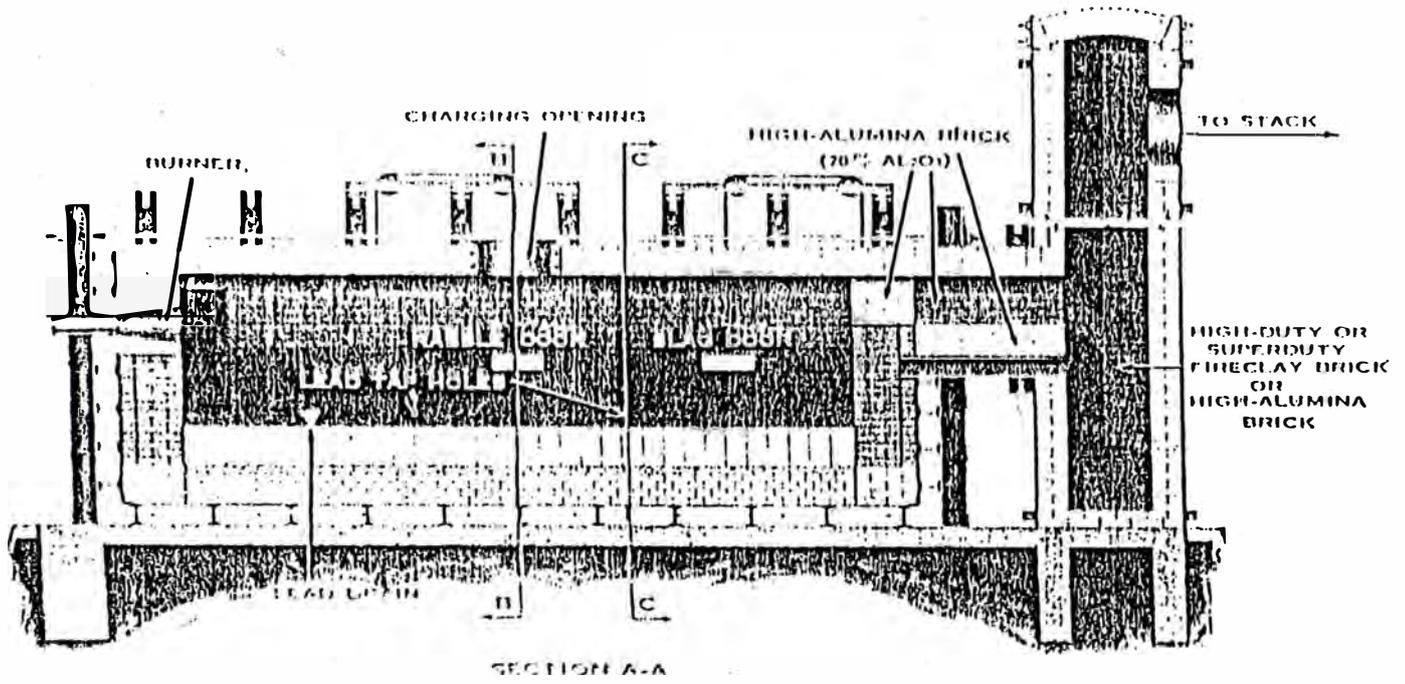
HORNO REVERBERERO PARA COBRE



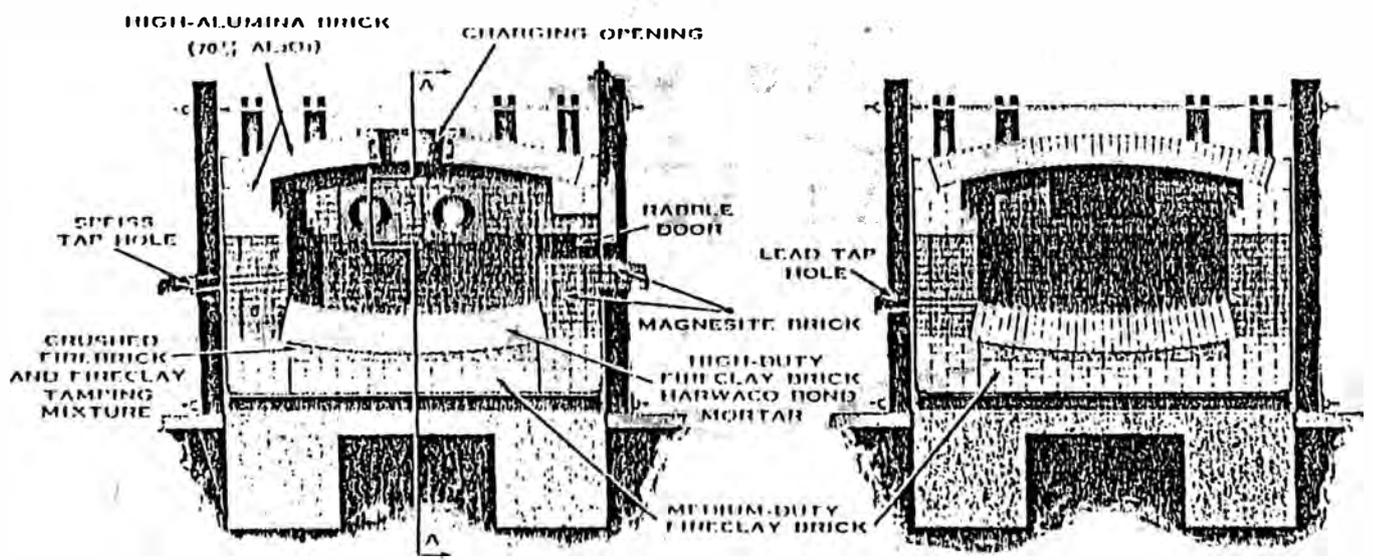
HORNO CONVERTIDOR DE COBRE



HORNO DE AFINADO DEL PLOMO



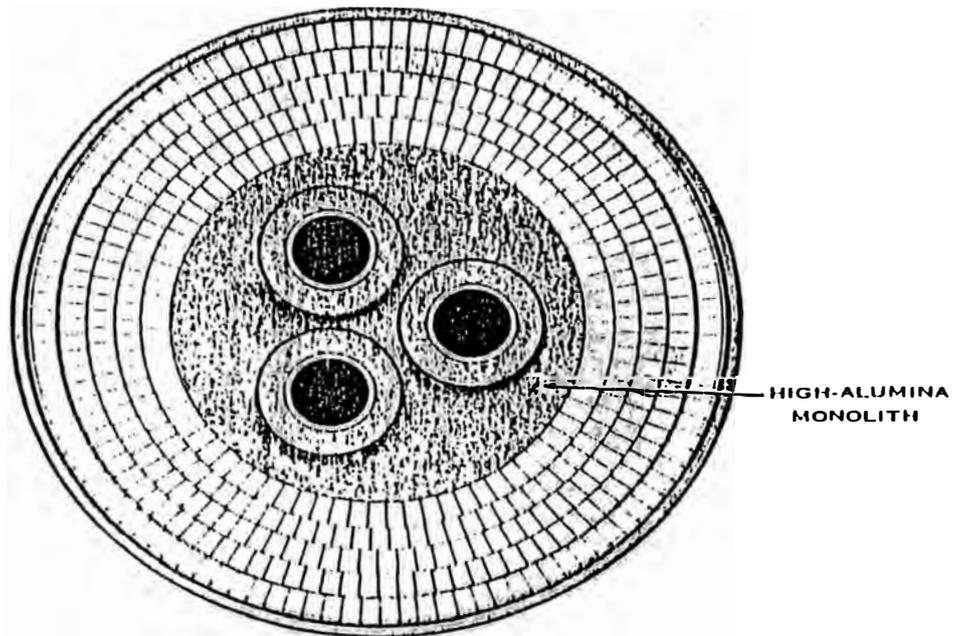
10 FEET



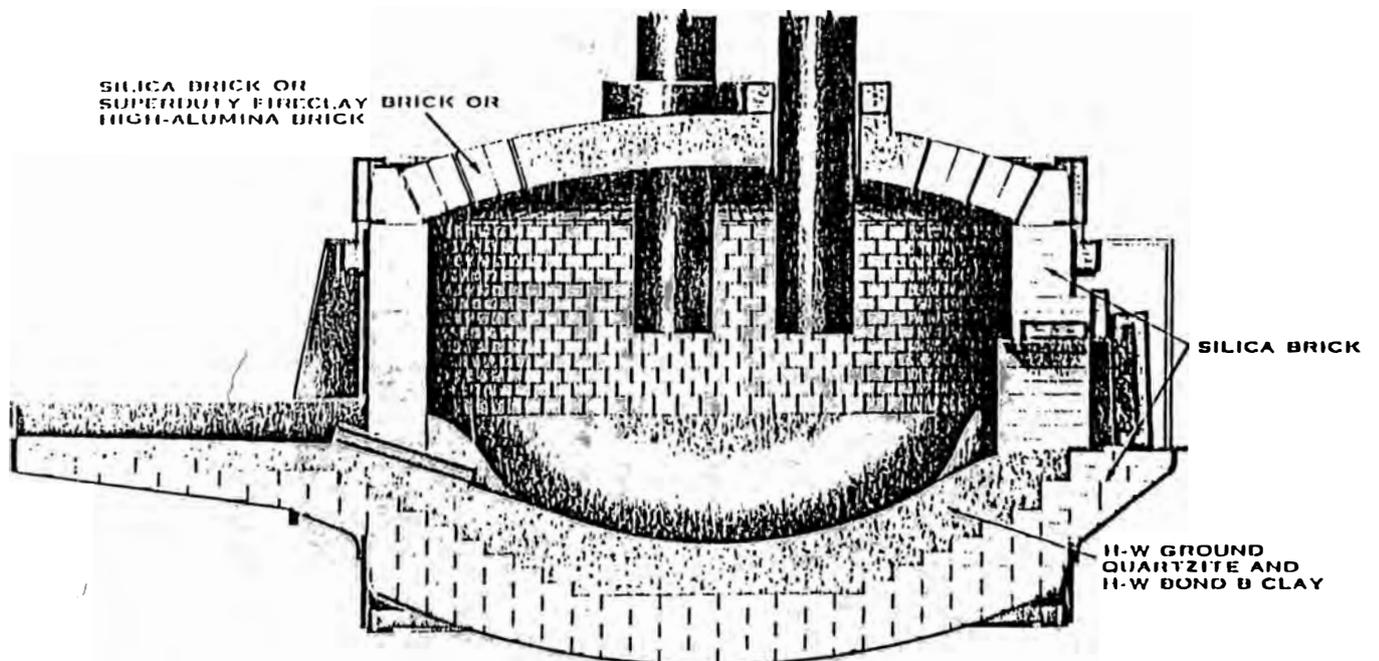
SECTION B-B

SECTION C-C

HORNO DE ARCO ELECTRICO PARA LA FUSION ACIDA DEL ACERO

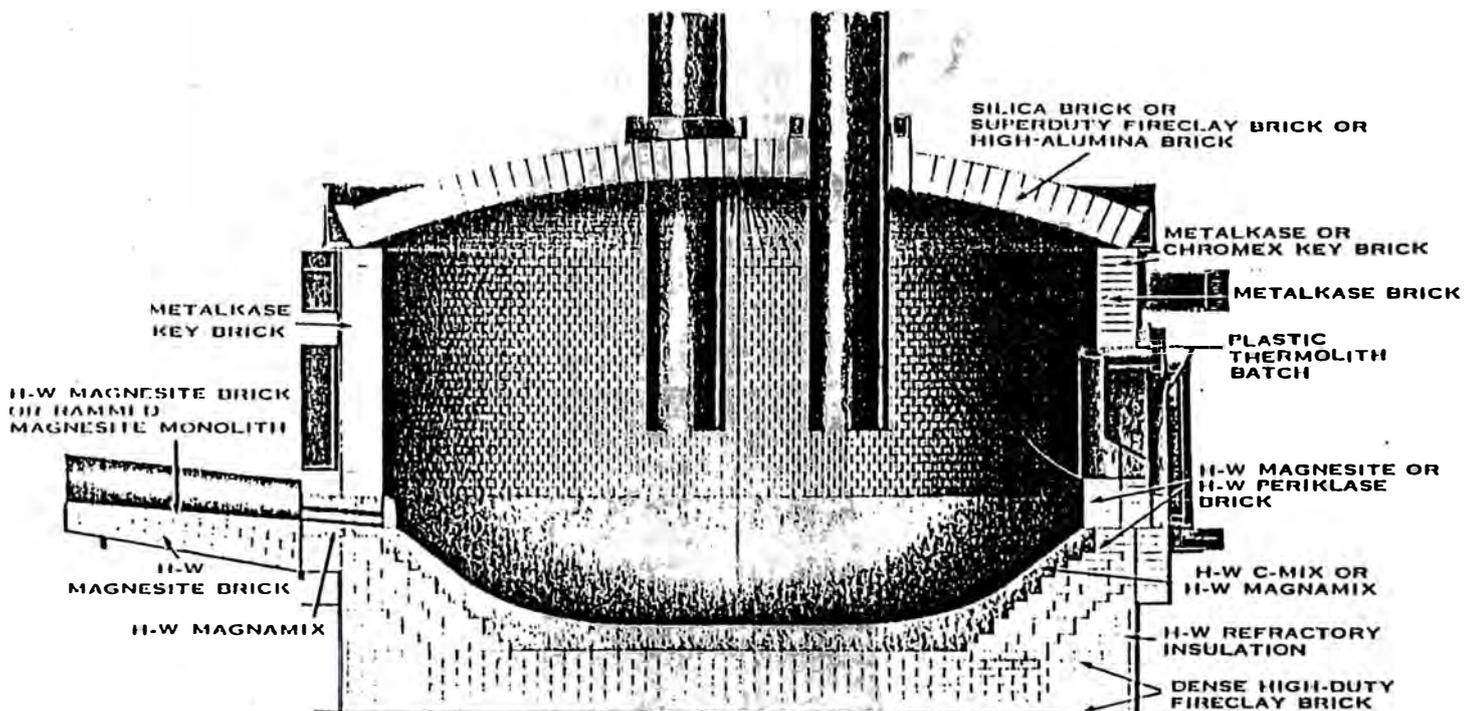


ROOF PLAN

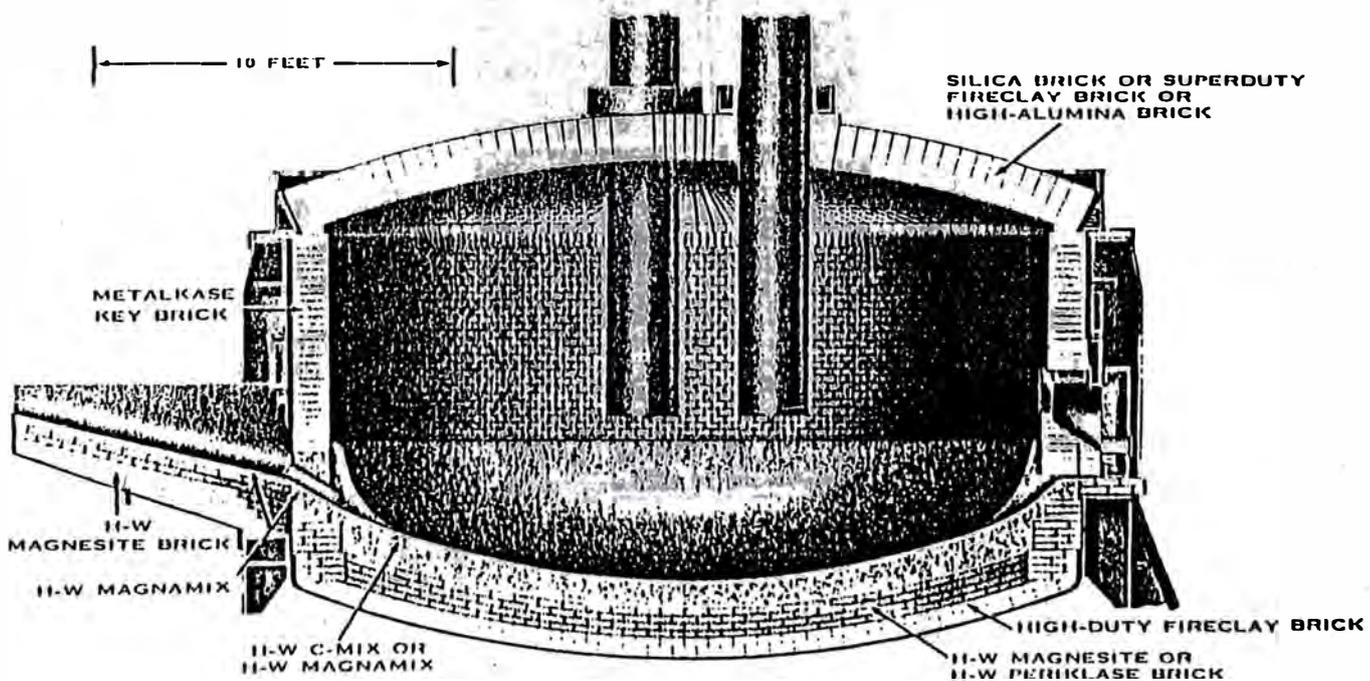


5 FEET

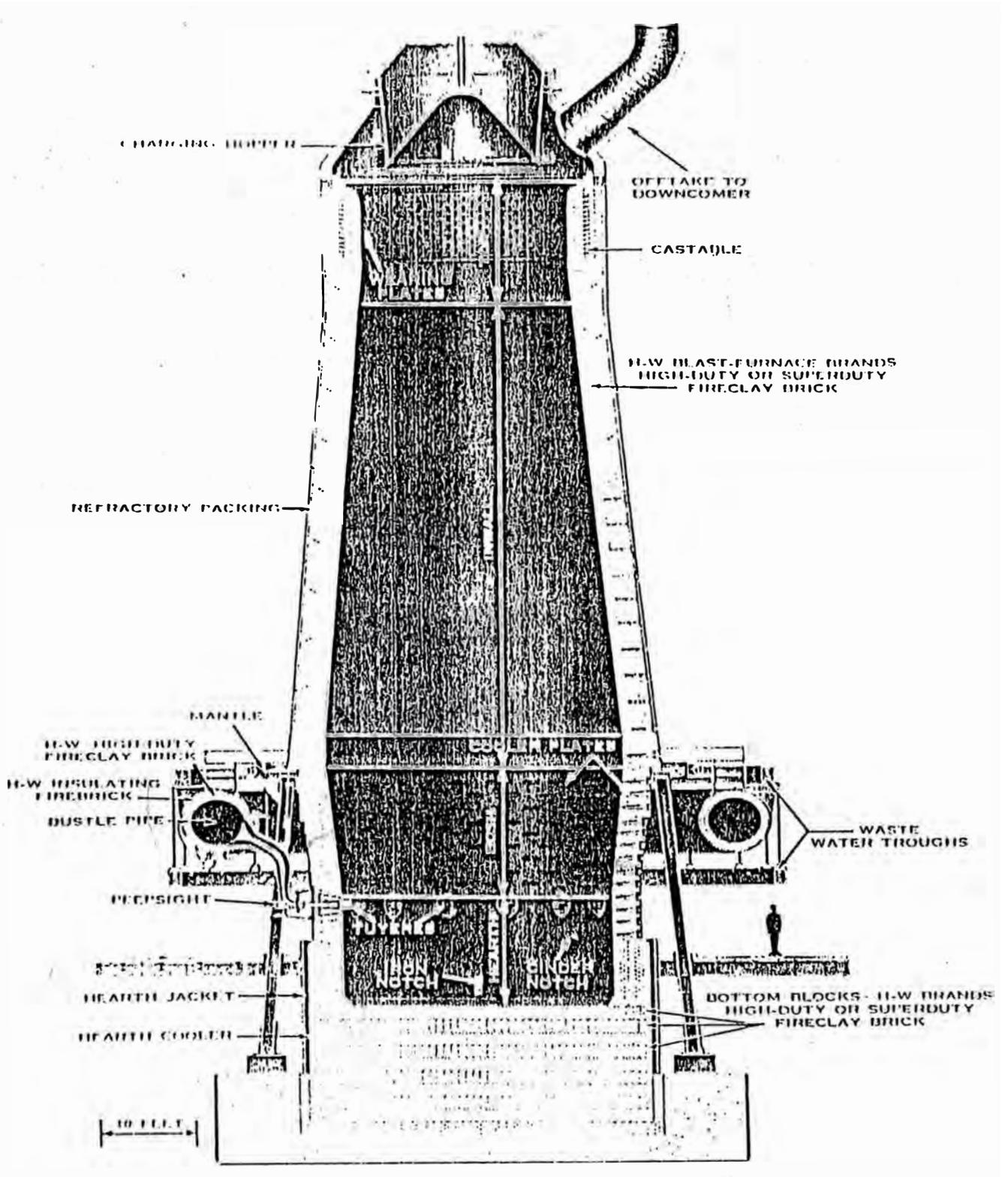
HORNO DE ARCO ELECTRICO PARA LA FUSION BASICA DEL ACERO



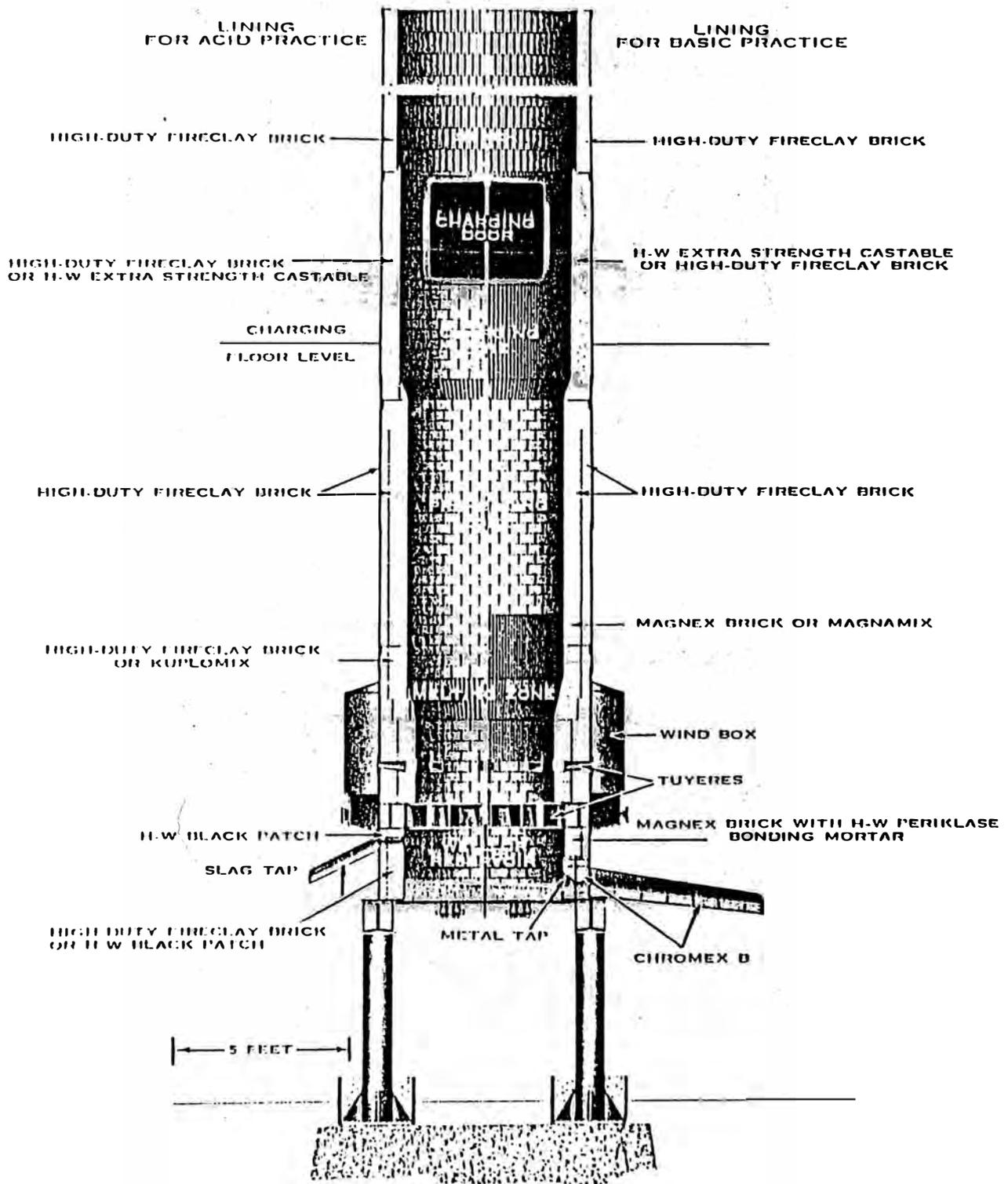
*Typical Electric Steelmelting Furnace
(Basic Practice)*



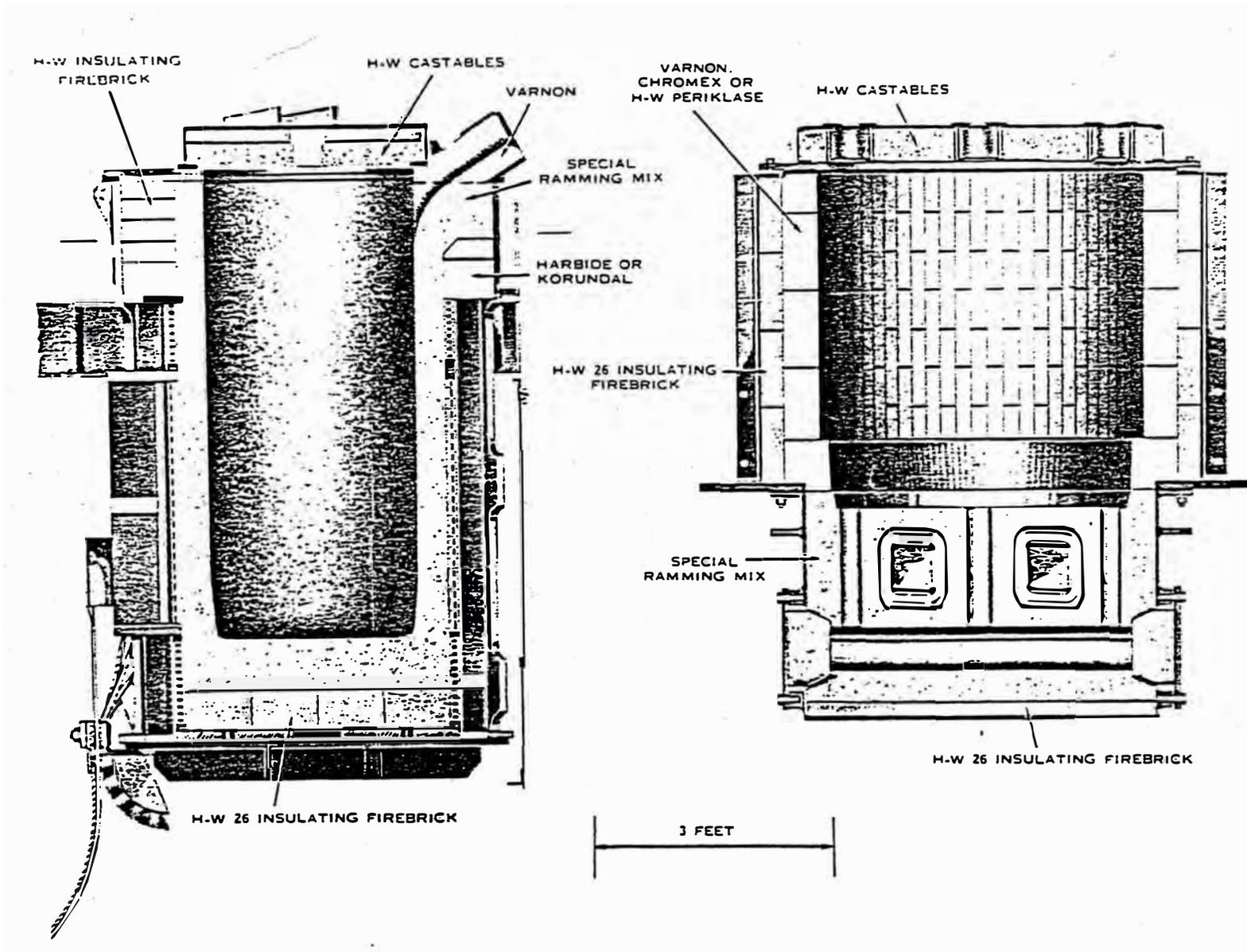
ALTO HORNO



HORNO DE MANGA PARA HIERRO



HORNO DE INDUCCION



CAPITULO VIII
PRODUCCION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS
(REPSA)

8.1. GENERALIDADES

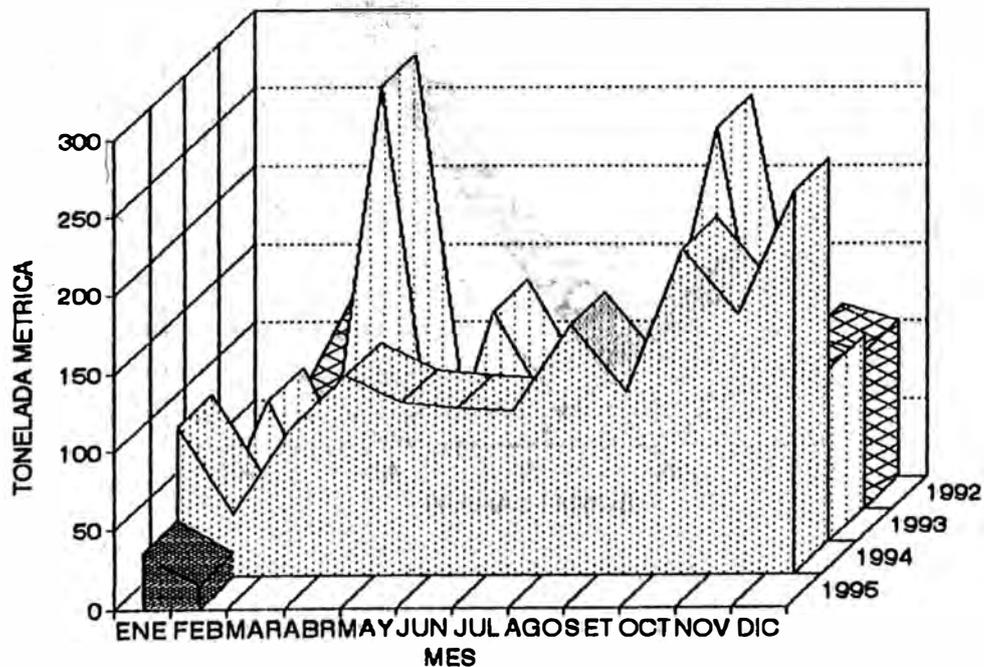
La producción mundial de productos refractarios alcanza unos 30 a 35 millones de toneladas métricas de material refractario por año. En el Perú la producción de materiales refractarios se encuentra en un constante desarrollo, en 1992 alcanzó una producción de 15 mil toneladas métricas, en 1993 hubo una producción de 27 mil toneladas métricas, en 1994 se tuvo una producción de 24 mil toneladas métricas y en los dos primeros meses de 1995 hay una producción de 5 mil toneladas métricas.

El consumo de los productos refractarios sílico-aluminoso alcanzó en los 3 últimos años de 32 a 35% del consumo nacional, lo cual indica que la producción de refractarios sílico-aluminoso representa la tercera parte de los refractarios que se consumen. De la producción nacional el 70 a 72% es para consumo interno y el restante para exportación a los países de Bolivia y Ecuador.

**VOLUMEN DE PRODUCCION DE REFRACTARIOS
SILICO-ALUMINOSO EN TONELADAS METRICAS
"REPSA"**

ANO	1992	1993	1994	1995
ENE	41	8	95	35
FEB	77	91	39	14
MAR	144	19	93	
ABR	66	292	128	
MAY	4	34	110	
JUN	22	147	107	
JUL	58	86	105	
AGO	52	53	160	
SET	133	110	117	
OCT	41	266	208	
NOV	111	76	166	
DIC	100	110	246	
TOTAL	849	1292	1574	49

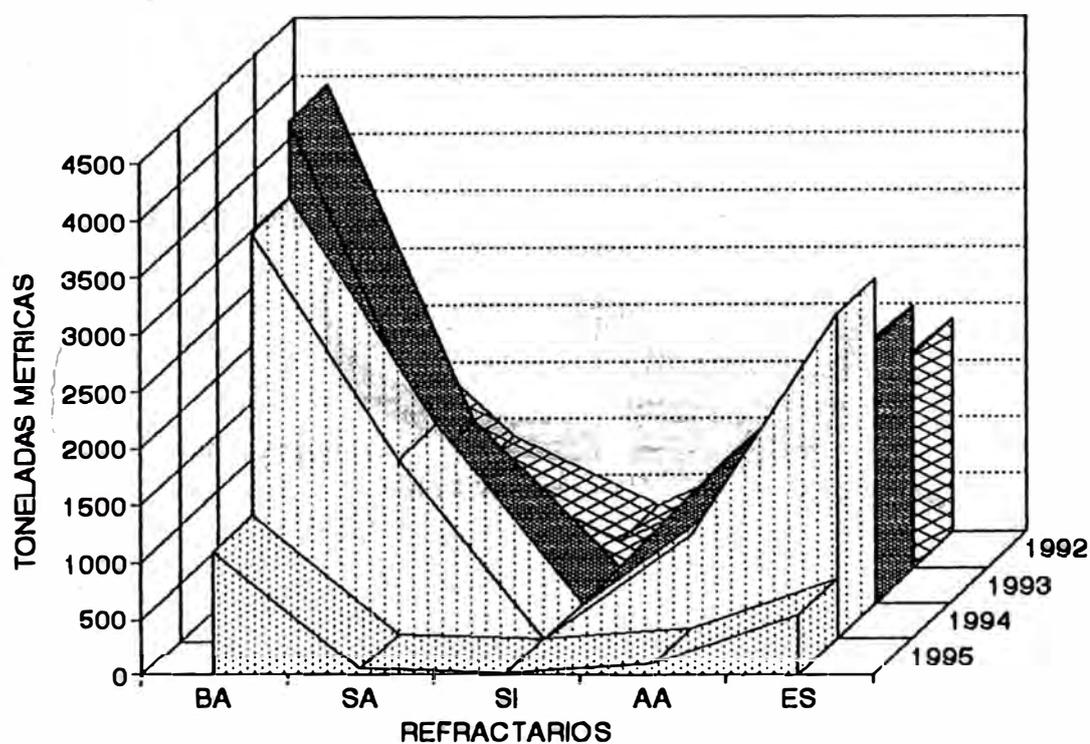
BCRP



VOLUMEN DE VENTA DE REFRACTARIOS EN TONELADA METRICA - "REPSA"

	1992	1993	1994	1995
BASICOS	2035	4233	3562	1099
SILICO-ALUMINOSO	849	1294	1574	49
SILICE	243	4	9	13
ALTA ALUMINA	825	1275	904	97
ESPECIALES	1860	2286	2834	526
TOTAL	5812	9092	8883	1784

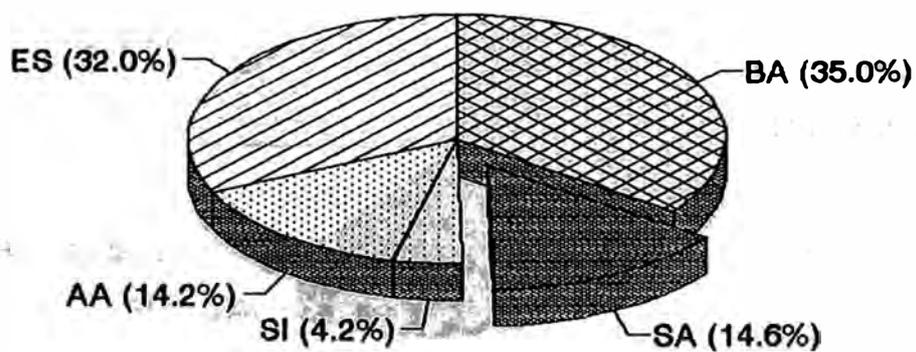
BCRP



**PORCENTAJE DE VENTA DE
REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSO
EN 1992 - "REPSA"**

	TONELADAS M.	PORCENTAJE
BASICOS	2035	35.01
SILICO-ALUMINOSO	849	14.61
SILICE	243	4.18
ALTA ALUMINA	825	14.19
ESPECIAL	1860	32.00
TOTAL	5812	100.00

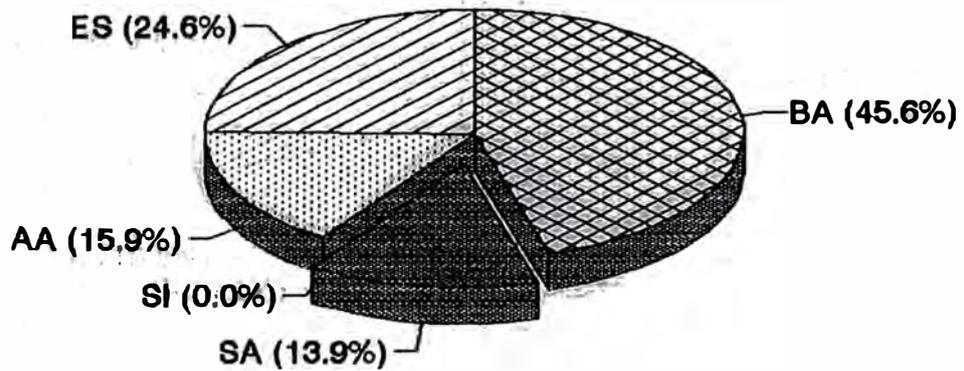
BCRP



**PORCENTAJE DE VENTA DE
REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSO
EN 1993 - "REPSA"**

	TONELADAS M.	PORCENTAJE
BASICOS	4233	45.56
SILICO-ALUMINOSO	1294	13.93
SILICE	4	0.04
ALTA ALUMINA	1475	15.87
ESPECIAL	2286	24.60
TOTAL	9292	100.00

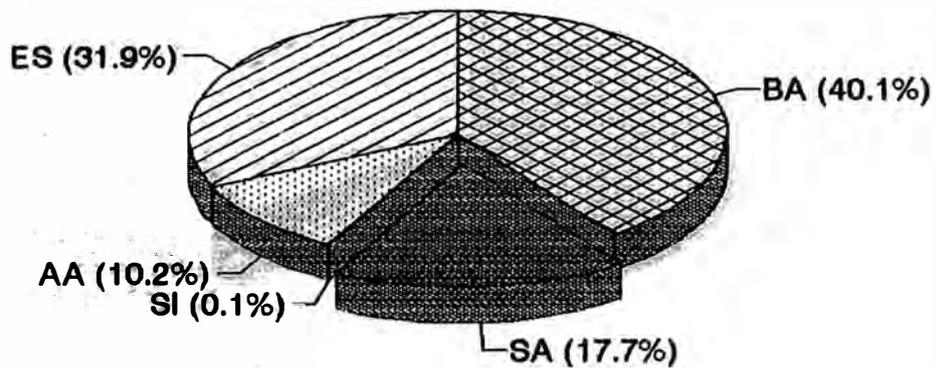
BCRP



**PORCENTAJE DE VENTA DE
REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSO
EN 1994 - "REPSA"**

	TONELADAS M.	PORCENTAJE
BASICOS	3562	40.10
SILICO-ALUMINOSO	1574	17.72
SILICE	9	0.10
ALTA ALUMINA	904	10.18
ESPECIAL	2834	31.90
TOTAL	8883	100.00

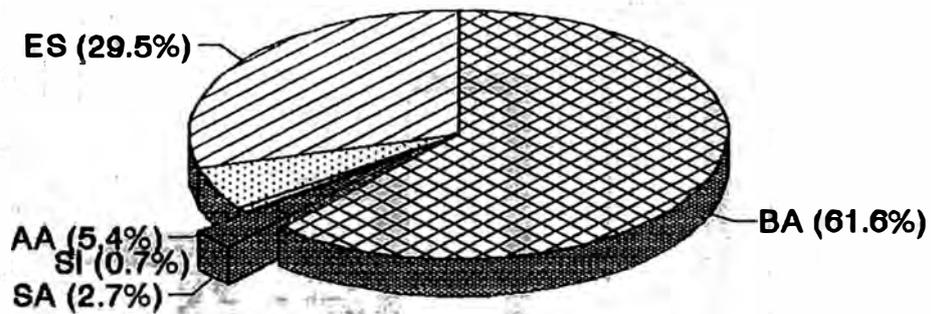
BCRP



**PORCENTAJE DE VENTA DE
REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSO
EN 1995 (ENE-FEB) - "REPSA"**

	TONELADAS M.	PORCENTAJE
BASICOS	1099	61.60
SILICO-ALUMINOSO	49	2.75
SILICE	13	0.73
ALTA ALUMINA	97	5.44
ESPECIAL	526	29.48
TOTAL	1784	100.00

BCRP



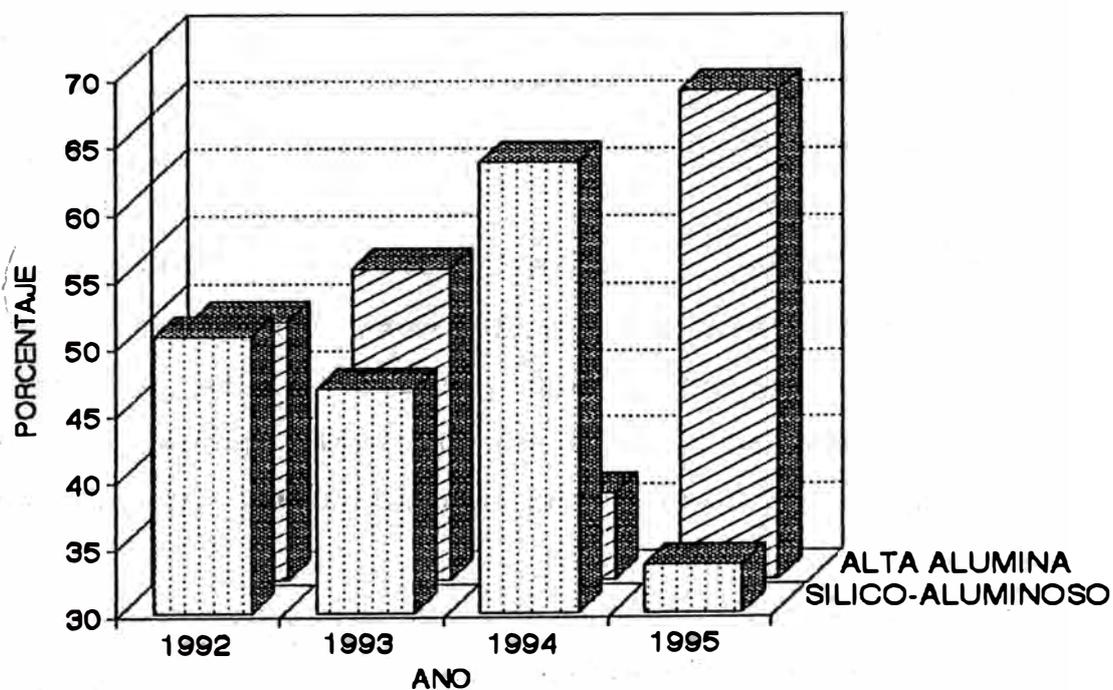
PRODUCCION DE REFRACTARIOS EN TONELADAS METRICAS - "REPSA"

REFRACTARIO	1992	1993	1994	1995
SILICO ALUMINOSO	849	1294	1574	49
ALTA ALUMINA	825	1475	904	97
TOTAL	1674	2769	2478	146
% DE SILICO ALUMINOSO	50.72	46.73	63.52	33.56
% DE ALTA ALUMINA	49.28	53.27	36.48	66.44

BCRP

* EN 1995 (ENERO, FEBRERO)

PORCENTAJE DE REFRACTARIO SILICO-ALUMINOSO



CONCLUSIONES

1. *La clasificación de los minerales no metálicos se da de acuerdo a su composición química, a su plasticidad y a su estructura cristalina; pero para la realización de esta tesis se consideró necesario clasificarlo de acuerdo a su refractariedad, siendo estas:*
 - a. **Minerales No Metálicos Refractarios.**- *Aquellos minerales que tienen una refractariedad mínima de 1520°C (CPE 19). Sirven para la fabricación de productos refractarios. Ejemplo, Caolín, Arcilla Refractaria, Sílice, etc.*
 - b. **Minerales No Metálicos Fundentes.**- *Aquellos minerales que tienen una refractariedad menor de CPE 19 y sirven para disminuir la refractariedad de los minerales No Metálicos Refractarios. Ejemplo, Caliza, Oxido Ferroso, Feldespato, etc.*
2. *Las arcillas peruanas utilizadas en la fabricación de productos refractarios son de muy buena calidad, de tonos grises no muy plásticas, con contenido de materia orgánica pero no en cantidad que afecte la cocción y la refractariedad de los productos refractarios.*
3. *Algunas arcillas refractarias tienen problemas de sales solubles, debido a lo cual se producen eflorescencia en el material cocido, pero un buen lavado con agua elimina las sales solubles, lo que permite utilizar el*

material y obtener buenos productos refractarios.

4. *Las arcillas destinadas a la fabricación de productos refractarios deben tener un contenido mínimo de fierro (menor del 2%). Un alto contenido de fierro baja la refractariedad haciéndoles inservibles para este propósito.*

5. *El estudio de los diagramas de fase en los minerales no metálicos es de suma importante porque de esta manera sabremos el comportamiento de los componentes cuando varía la temperatura y el porcentaje de estos.*

El diagrama que se utilizó en la elaboración de los refractarios sílico-aluminoso estudiados es el diagrama $SiO_2 - Al_2O_3$. De la cual se pudo analizar que a mayor contenido de alúmina se incrementa la refractariedad así mismo se puede analizar la temperatura de cocción y la temperatura servicio de los refractarios sílice-alúmina.

6. *Los métodos de fabricación de los productos refractarios son el prensado en seco, prensado isostático, electrocolado, extruido, etc. pero de todos ellos el más utilizado en la fabricación de los productos refractarios de sílice-alúmina es el prensado en seco el cual requiere de una pasta con una humedad de 4 a 6%.*

7. *La presión de prensado que se aplica para dar forma a los ladrillos refractarios debe ser de una presión elevada de 8000 a 12000 Lbs/pulg², para de esta manera unir bien las partículas de arcilla y favorecer el sinterizado del producto.*
8. *El objetivo del control de calidad es establecer, mejorar y asegurar la calidad standard de la producción todo el tiempo en niveles económicos, para satisfacer las necesidades de los consumidores. Sin embargo en la industria peruana este control no es llevado a cabo por algunas fabricas de refractarios lo cual nos indica la no confiabilidad de estos productos.*
9. *Las pruebas de control de calidad son normalizados algunas de ellas son pruebas cualitativas como el de resistencia al choque térmico y otras son cuantitativas como la resistencia a la comprensión. Las pruebas de control de calidad para los producto refractarios esta normalizada a nivel mundial por la ASTM, sin embargo en el Peru existen las normas ITINTEC hoy en día INDECOPI el cual esta basada en las normas ASTM.*
10. *El control de calidad debe realizarse desde la materia prima, durante el proceso y después del proceso antes de salir a la venta para de esta manera asegurar un buen producto refractario a ser utilizado.*
11. *Las pruebas experimentales se realizaron haciendo variar el tamaño de grano, el porcentaje en peso de las*

arcillas crudas como también de las arcillas cocidas (chamota), de igual manera se realizaron pruebas variando el tipo de arcilla refractaria sílico-aluminosa

12. Para la fabricación de los ladrillos refractarios aislantes se utilizó como abridor el aserrín el cual se vario en porcentaje en peso para poder obtener diferentes porosidades y de esa manera tener un ladrillo aislante que cumpla con la porosidad mínima de 35 a 40%.
13. La resistencia a la compresión como a la flexión de los ladrillos refractarios varia de acuerdo a la densidad del refractario, es decir a mayor densidad se tendrá una menor porosidad por lo tanto una mayor resistencia.
14. El ligante temporal utilizado fue el agua y el methocel los cuales le dieron una resistencia en verde a los productos refractarios, para finalmente llegar a una liga cerámica a una temperatura de 1250 a 1300°C, donde el producto refractario alcanza sus propiedades óptimas para poder entrar a servicio.
15. Las pruebas experimentales de los ladrillos refractarios sílico-aluminoso denso, nos dio como resultado que son productos de muy buena calidad los cuales cumplen con los requisitos que exige las normas técnicas para su posterior utilización en la

construcción de los hornos y ser sometidos a los más drásticos cambios de temperatura, esfuerzo, etc.

- 16. Los ladrillos refractarios sílico-aluminoso aislantes estudiados en este trabajo tienen un pequeño inconveniente, debido a que la densidad obtenida es ligeramente mayor a las exigidas por las normas técnicas; sin embargo estos ladrillos tienen una ventaja de tener buena conductividad térmica y ser liviano, por lo que se le puede considerar como un ladrillo refractario semi-aislante.*
- 17. La utilización de los productos refractarios técnicamente depende del equilibrio entre las propiedades y el comportamiento de los refractarios, de una parte, y las condiciones destructivas a las cuales probablemente han de enfrentarse. Los factores que se requieren para seleccionar un refractario son: Relacionados a la operación del horno, diseño y construcción del horno, al tipo de refractario y factores económicos.*
- 18. Los productos refractarios sílico-aluminoso alcanzó en los 3 últimos años de 68 a 74% de la producción nacional, lo cual indica que la producción de refractarios sílico-aluminoso representa los dos tercios de la producción.*
- 19. La venta de los productos refractarios en el Perú demuestra que los refractarios básicos, neutros y*

especiales en su conjunto son los de mayor venta sin embargo esto no quiere decir que la producción sea mayor que los refractarios sílico-aluminoso y alta alúmina, debido a que los productos refractarios básicos, neutros y especiales son importados, mientras que la producción nacional es de refractarios sílico-aluminoso y alta alúmina.

20. Las empresas dedicadas a la fabricación de productos refractarios en el Perú son: REPSA (Refractarios Peruanos Sociedad Anónima), RASA (Refractarios Anexos Sociedad Anónima), FRISA (Fabrica de Refractarios Industriales Sociedad Anónima) y Electro Cerámica Chimbote.

21. Los datos de producción de productos refractarios presentados en esta tesis son datos obtenidos del Banco Central de Reserva del Perú. Estos datos reflejan que la producción de productos cerámicos se encuentra en pleno desarrollo con una tendencia a incrementarse.

BIBLIOGRAFIA

1. *BETEJTIN, A.* "Curso de Mineralogía". Tercera Edición. Editorial MIR. Moscú, 1977.
2. *CASTELLAN, Gilbert W.* "Fisicoquímica". Edición Fondo Educativo Interamericano S.A. México 1976.
3. *DANA, Edward* "Mineralogía". Editorial Reverte. España-Barcelona 1980.
4. *GILCHRIST, J.D.* "Combustibles y Refractarios". Edit. Alambra. Madrid 1972.
5. *GORCHAKOV, G.T.* "Cerámica". Edit. MIR-Moscú 1984.
6. *GUERASIMOV, Ya* "Curso de Química y Física". Edit. MIR-Moscú 1986.
7. *HARBISON, Walker* "Ceramic Industrial". Refractory Company. Pittsburg. 1961.
8. *KIRSCH, Helmut* "Mineralogía Aplicada" Edit. Universitaria. Buenos Aires 1980.
9. *MINERIA, Revista* "Las Arcillas en el Perú, su Naturaleza y Posibilidad". Lima-Perú.

10. NORTON, F.H. "Cerámica para el Artista Alfarero". Edit. Continental México. 1960.
11. NORTON, F.H. "Elements of Ceramic". Massachusetts. 1957.
12. NORTON, F.H. "Refractarios". Madrid 1971.
13. RHODES, Daniel "Clay and Glazes for the Potter". Chilton Book Company. Pennsylvania. 1975.
14. SINGER, Félix "Cerámica Industrial". Tomo 9 "Los Principios Generales de la Fabricación de la Cerámica", Tomo 10 "Proceso de la Fabricación de Cerámica". Tomo 11 "Productos Cerámicos". Edit. URMO España-Bilbao 1977.
15. TRINKS, W. "Hornos Industriales". Edit. URMO España-Bilbao 1975.
16. WAGANOFF, Nicolás "Hornos Industriales". Edit. Lib. Mitre. Buenos Aires 1963.

ANEXOS

1. **NORMAS DE CONTROL DE CALIDAD DE LADRILLOS REFRACTARIOS**

Para realizar un excelente control de calidad de los ladrillos refractarios se debe cumplir con las normas establecidas por el ITINTEC (Instituto Nacional para la Ciencia y Tecnología) hoy en día INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). Estas normas están elaboradas en base a las normas internacionales de la ASTM.

Estas normas son requisitos importantes para la elaboración de un LADRILLO REFRACTARIO que deben cumplirse al pie de la letra. Según las Normas ITINTEC debe cumplirse las siguientes normas establecidas, que pueden ser adquiridas en el INDECOPI.

ABSORCION DE AGUA	:	331.020,	331.048,	331.057
ACIDO SULFURICO	:	331.031		
ACIDOS	:	331.030,	331.031	
ALABEO	:	331.014		
ALQUITRAN	:	331.048		
ALUMINIO	:	331.048		
CALENTAMIENTO	:	331.024		
CARGA DE PRUEBA	:	331.063		
CLASIFICACION	:	331.008,	331.027,	331.030,
		331.036,	331.039,	331.049
COMPRESION	:	331.021,	331.023,	331.042
DEFORMACION	:	331.023,	331.049	
DENSIDAD	:	331.020		
DIMENSION	:	331.003,	331.011	
ENSAYO	:	331.014,	331.020,	331.021,
		331.023,	331.024,	331.028,
		331.030,	331.032,	331.042,

		331.044,	331.048,	331.057,
		331.059,	331.060,	331.063,
		331.064		
ESCORIA	:	331.060		
ESPECIFICACIONES	:	331.008,	331.039,	331.047,
		331.049		
FLEXION	:	331.021,	331.042	
MAGNESITA	:	331.049		
POROSIDAD	:	331.020		
ROTURA	:	331.021		
SILICATOS	:	331.047		
SOLUBILIDAD	:	331.031		
TRATAMIENTO TERMICO	:	331.028,	3310.59,	331.063,
		331.064		

2. FORMULAS EMPLEADAS PARA EL CONTROL DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS

2.1. CONTRACCION

L_p - Longitud plástica del ladrillo en verde

L_s = Longitud seca del ladrillo

L_q = Longitud del ladrillo quemado

a - Porcentaje de contracción lineal (% C_L)

Porcentaje de contracción al ambiente (% C_A)

$$\% C_A = \frac{L_p - L_s}{L_p} \times 100 \%$$

Porcentaje de contracción a la quema (% C_q)

$$\% C_q = \frac{L_s - L_q}{L_s} \times 100 \%$$

Porcentaje de contracción lineal total (% CL)

$$\% CL = \frac{L_p - L_q}{L_p} \times 100 \%$$

Porcentaje de contracción superficial (% Cs)

$$\% Cs = 2a - \frac{a^2}{100}$$

Porcentaje de contracción volumétrica (% Cv)

$$\% Cv = 3a - \frac{3a^2}{100} + \frac{a^3}{100^2}$$

2.2. DENSIDAD RELATIVA A GRANEL

W_a = Peso de la pieza de ensayo seca

W_b = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el líquido de inmersión

W_c = Peso de la pieza de ensayo empapada y suspendida en el aire

D = Densidad del líquido de inmersión a la temperatura del ensayo

$$\text{Volumen a granel} = \frac{W_c - W_b}{D}$$

$$\text{Densidad a granel} = \frac{W_a}{W_c - W_b} \times D$$

$$\text{Volumen aparente de sólido} = \frac{W_a - W_b}{D}$$

$$\text{Densidad aparente de sólido} = \frac{W_a}{W_a - W_b} \times D$$

2.3. ABSORCION DEL AGUA

a = Peso del ladrillo seco

b = Peso del ladrillo después de 24 horas de inmersión en agua fría

B = Peso del ladrillo después de 5 horas de inmersión en agua hirviente

c = Peso del ladrillo suspendido en agua fría después de 5 horas de ebullición

Porcentaje de absorción en peso después de 24 horas de inmersión en agua fría.

$$\frac{b - a}{a} \times 100 \%$$

Porcentaje de absorción volumétrica después de 24 horas de inmersión en agua fría.

$$\frac{b - a}{B - c} \times 100 \%$$

Porcentaje de absorción luego de 5 horas de inmersión en agua hirviente.

$$\frac{B - a}{a} \times 100 \%$$

Porcentaje de absorción volumétrica luego de 5 horas de inmersión en agua hirviente.

$$\frac{B - a}{B - c} \times 100 \%$$

$$\text{Coeficiente de saturación} = \frac{b - a}{B - a}$$

$$\% \text{ Porosidad aparente} = \frac{B - a}{B - c} \times 100 \%$$

$$\text{Densidad a granel (bulk)} = \frac{a}{B - c}$$

FORMULAS DE SCHUEN PARA DETERMINAR LA REFRACTARIEDAD DE LAS ARCILLAS EN °C Y CPE

CPE	=	Cono pirométrico equivalente
RO, R ₂ O	=	Oxidos Básicos
R ₂ O ₃	=	Oxidos Neutros
RO ₂	=	Oxidos Acidos

Los Oxidos están en tanto porciento ponderal.

$$CPE = \frac{113 + R_2O_3 - RO}{4.48}$$

$$^{\circ}C = \frac{360 + R_2O_3 - RO}{0.228}$$

CONOS ESTANDAR ORTON

La temperatura equivalente de los conos fue determinado por la National Bureau of Standards by H.P., y fue publicada en la revista Journal of the American Ceramic Society, Volumen 39.

La dimensión de la altura de los conos es de:

Cono Largo : 2 pulgadas
Cono Corto : 15/16 pulgadas

La elevación de temperatura para estos conos fue determinada de 60°C/hr.

<i>CONO PIROMETRICO EQUIVALENTE</i>		
<i>NUMERO DEL C.P.E.</i>	<i>CONO LARGO T°C</i>	<i>CONO CORTO T°C</i>
1	1136	1179
2	1142	1189
3	1152	1196
4	1168	1209
5	1117	1221
6	1201	1255
7	1215	1264
8	1236	1300
9	1260	1317
10	1285	1330
11	1294	1336
12	1306	1355
13	1321	1349
14	1388	1398
15	1424	1430
16	1455	1491
17	1477	1512
18	1500	1522
19	1520	1541
20	1542	1564
21	1564	1584
23	1586	1605
26	1589	1621
27	1614	1640
28		1646
29	1624	1659
30	1636	1665
31	1661	1683
32	1706	1717
33	1732	1743
34	1757	1763
35	1784	1785
36	1798	1804
37	ND	1820
38	ND	1850
39	ND	1865
40	ND	1885
41	ND	1970
42	ND	2015

ND = No Determinado

INDICE

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
INTRODUCCION
RESUMEN

CAPITULO I **MATERIA PRIMA**

1.1. GENERALIDADES	9
1.2. MATERIA PRIMA	10
1.3. CLASIFICACION	10
1.4. MINERALES NO METALICOS REFRACTARIOS	11
1.5. MINERALES NO METALICOS FUNDENTES	19
1.6. MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS ESPECIALES	21
1.7. PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS	23

CAPITULO II **DIAGRAMA DE FASES DE MATERIALES REFRACTARIOS**

2.1. GENERALIDADES	30
2.2. DIAGRAMA DE FASES DE UN COMPONENTE	31
2.2.1. DIAGRAMA DE FASE DEL CARBONO (C)	31
2.2.2. DIAGRAMA DE FASE DEL CUARZO (SiO₂)	33
2.3. DIAGRAMA DE FASES DE DOS COMPONENTES	35
2.3.1. DIAGRAMA DE FASES SILICE-ALUMINA	36
2.4. DIAGRAMA DE FASES DE TRES COMPONENTES	38

CAPITULO III
PRODUCTOS REFRACTARIOS

<i>3.1. GENERALIDADES</i>	<i>42</i>
<i>3.2. CLASIFICACION DE LOS REFRACTARIOS</i>	<i>44</i>
<i>3.2.1. REFRACTARIOS ACIDOS</i>	<i>44</i>
<i>3.2.2. REFRACTARIOS BASICOS</i>	<i>45</i>
<i>3.2.3. REFRACTARIOS NEUTROS</i>	<i>45</i>
<i>3.2.4. REFRACTARIOS ESPECIALES O RAROS</i>	<i>45</i>
<i>3.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS</i>	<i>46</i>
<i>3.4. PROPIEDADES DE LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS</i>	<i>47</i>
<i>3.5. LADRILLOS REFRACTARIOS DENSOS</i>	<i>49</i>
<i>3.6. LADRILLOS REFRACTARIOS AISLANTES</i>	<i>50</i>
<i>3.7. MORTEROS DE FRAGUA EN FRIO</i>	<i>53</i>
<i>3.7.1. CARACTERISTICAS</i>	<i>54</i>
<i>3.7.2. FORMA DE APLICAR</i>	<i>54</i>
<i>3.7.3. USOS DE LOS MORTEROS REFRACTARIOS DE FRAGUA EN FRIO</i>	<i>55</i>
<i>3.8. MORTEROS DE FRAGUA TERMICA</i>	<i>55</i>
<i>3.8.1. FORMA DE APLICAR</i>	<i>56</i>
<i>3.9. CASTABLES REFRACTARIOS</i>	<i>57</i>
<i>3.9.1. PREPARACION</i>	<i>57</i>
<i>3.9.2. INSTALACION</i>	<i>58</i>
<i>3.9.3. CURADO</i>	<i>59</i>
<i>3.9.4. CALENTAMIENTO</i>	<i>59</i>
<i>3.9.5. VENTAJAS DEL USO DE LOS CASTABLES</i>	<i>60</i>
<i>3.10. PLASTICOS REFRACTARIOS</i>	<i>60</i>
<i>3.10.1. APLICACION DE LOS PLASTICOS REFRACTARIOS</i>	<i>60</i>
<i>3.10.2. USOS DE LOS PLASTICOS REFRACTARIOS</i>	<i>61</i>
<i>3.10.3. CARACTERISTICAS</i>	<i>61</i>

3.11.	MATERIALES APISONABLES	62
3.12.	PROYECTABLES	62
3.13.	REFRACTARIOS DE FORMAS ESPECIALES	63
3.13.1.	REFRACTARIOS ESPECIALES DE CARBONO	63
3.13.2.	REFRACTARIOS ESPECIALES DE CARBURO DE SILICIO	64
3.13.3.	CRISOLES Y ESCORIFICADORES O CAPSULAS DE TOSTACION	64

CAPITULO IV
FABRICACION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

4.1.	GENERALIDADES	68
4.2.	PREPARACION MECANICA DEL MATERIAL ANTES DEL PROCESO DE FORMACION	69
4.2.1.	TRITURACION	69
4.2.2.	MOLIENDA	70
4.2.3.	TAMIZADO	70
4.2.4.	CLASIFICACION	71
4.3.	METODOS DE FABRICACION DE LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS	74
4.3.1.	PROCESO PLASTICO DE CORTE	74
4.3.2.	PROCESO PLASTICO COMPACTO	74
4.3.3.	PROCESO EN SECO O SEMIPLASTICO	74
4.3.4.	PROCESO DE PRENSADO EN CALIENTE	76
4.3.5.	PROCESO DE COLADA	78
4.4.	SECADO	79
4.4.1.	SECADO AL MEDIO AMBIENTE	79
4.4.2.	SECADO EN PISO CALIENTE	79

4.4.3.	SECADO EN ESTUFAS O SECADORES	80
4.5.	COCCION (Quema, Cochura)	80
4.6.	DIAGRAMA DE MANUFACTURA DE LADRILLOS REFRACTARIOS	83
4.6.1.	LADRILLO REFRACTARIO DE SILICE	85
4.6.2.	LADRILLO REFRACTARIO DE ALTA ALUMINA DE 45-65% Al_2O_3	86
4.6.3.	LADRILLO REFRACTARIO DE MULLITA (65-80% Al_2O_3) POR CONVERSION DE CIANITA	87
4.6.4.	REFRACTARIOS DE CORINDON DE 80-99% Al_2O_3	88
4.6.5.	LADRILLOS REFRACTARIOS DE MAGNESITA	89
4.6.6.	LADRILLOS DE CROMO-MAGNESITA Y MAGNESITA-CROMO	90
4.6.7.	LADRILLO REFRACTARIO DE CROMO	91
4.6.8.	LADRILLO REFRACTARIO DE FORSTERITA	92
4.6.9.	REFRACTARIOS DE CARBURO DE SILICIO	93

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

5.1.	GENERALIDADES	94
5.2.	CRITERIO BASICO DE CALIDAD EN LA FABRICACION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS	95
5.3.	CONTROL DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA	96
5.3.1.	ENSAYOS DE ARCILLAS Y CHAMOTAS	97
5.4.	CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO	98
5.4.1.	ENSAYOS EN MOLIENDA	99

5.4.2.	ENSAYOS EN TAMIZADO	99
5.4.3.	ALMACENAMIENTO	99
5.4.4.	MEZCLADO	99
5.4.5.	AMASADO	100
5.4.6.	MOLDEO	100
5.4.7.	SECADO	101
5.4.8.	INSPECCION EN VERDE	101
5.4.9.	CARGA DEL HORNO	102
5.4.10.	COCCION	102
5.4.11.	DESCARGA DEL HORNO	102
5.5.	CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO	103
5.5.1.	ENSAYOS A LOS PRODUCTOS TERMINADOS	103
5.6.	DESCRIPCION DE ALGUNOS ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD PARA LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS	104
5.6.1.	TAMAÑO	104
5.6.2.	DENSIDAD RELATIVA VERDADERA	104
5.6.3.	DENSIDAD RELATIVA A GRANUL	105
5.6.4.	ABSORCION DE AGUA	105
5.6.5.	POROSIDAD	105
5.6.6.	PERMEABILIDAD	105
5.6.7.	RESISTENCIA A LA COMPRESION O RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN FRIO	106
5.6.8.	RESISTENCIA A LA TRACCION	106
5.6.9.	RESISTENCIA A LA FLEXION TRANSVERSAL	106
5.6.10.	DETERMINACION DEL CAMBIO LINEAL PERMANENTE SOBRE EL RECALENTAMIENTO	106
5.6.11.	CONDUCTIVIDAD TERMICA	107
5.6.12.	DETERMINACION DE LA REFRACTARIEDAD POR CONOS PIROMETRICOS EQUIVALENTES	107
5.6.13.	REFRACTARIEDAD BAJO CARGA	108

5.6.14.	RESISTENCIA AL CHOQUE TERMICO	108
5.6.15.	RESISTENCIA A LOS ACIDOS	109
5.6.16.	RESISTENCIA A LOS ATAQUES POR ESCORIAS	110
5.6.17.	RESISTENCIA AL ATAQUE DEL MONOXIDO DE CARBONO	111

CAPITULO VI

PRUEBAS EXPERIMENTALES

6.1.	GENERALIDADES	112
6.2.	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES	114
6.2.1.	ARCILLA REFRACTARIA DE HUANCAYO	114
6.2.2.	ARCILLA REFRACTARIA DE LOMA LARGA TARMA	115
6.2.3.	ARCILLA REFRACTARIA DEL CENTRO	115
6.2.4.	CHAMOTA HUANCAYO	116
6.2.5.	CHAMOTA DEL CENTRO	117
6.3.	FORMULACION Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LADRILLOS REFRACTARIOS DENSOS SILICO-ALUMINOSO	118
6.3.1.	PRUEBAS EXPERIMENTALES	118
6.3.2.	ESPECIFICACIONES TECNICAS-RESULTADOS	119
6.3.3.	MODELO MATEMATICO	132
6.4.	FORMULACIONES DE LADRILLOS REFRACTARIOS AISLANTES SILICO-ALUMINOSO	133
6.4.1.	PRUEBAS EXPERIMENTALES	133
6.4.2.	ESPECIFICACIONES TECNICAS-RESULTADOS	134
6.3.3.	MODELO MATEMATICO	147

CAPITULO VII
ASPECTOS TECNICOS PARA LA SELECCION Y UTILIZACION
DE LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS

<i>7.1. GENERALIDADES</i>	<i>148</i>
<i>7.2. FACTORES DE SELECCION Y USO DE LOS REFRACTARIOS</i>	<i>149</i>
<i>7.2.1. FACTORES RELACIONADOS A LA OPERACION</i>	<i>149</i>
<i>7.2.2. FACTORES RELACIONADOS AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HORNO</i>	<i>150</i>
<i>7.2.3. FACTORES RELACIONADOS A LOS REFRACTARIOS</i>	<i>151</i>
<i>7.2.4. FACTORES ECONOMICOS</i>	<i>152</i>
<i>7.3. DISTRIBUCION DE LOS REFRACTARIOS EN LOS HORNOS</i>	<i>152</i>

CAPITULO VIII
PRODUCCION DE PRODUCTOS REFRACTARIOS
(REPSA)

<i>8.1. GENERALIDADES</i>	<i>163</i>
<i>8.2. DATOS ESTADISTICOS</i>	<i>164</i>
<i>CONCLUSIONES</i>	<i>171</i>
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	<i>177</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>179</i>
<i>INDICE</i>	<i>186</i>