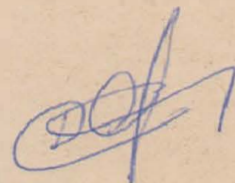


Republica de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Facultad de Metalurgia

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Utilización de la Cromita en el revestimiento del
Horno de arco eléctrico en la empresa ACINOX S.A.
TUNAS.

Autor: Darlys Daniel Castellanos Rodríguez



Tutor: Ing. Frank Rodríguez Meriño

CURSO 1993-1994

AÑO 36 DE LA REVOLUCION

PENSAMIENTO



PENSAMIENTO

"En la ciencia no hay calzadas reales y quien aspire a remontar sus luminosas cumbres tiene que estar dispuesto a escalar las montañas por senderos escabrosos."

Carlos Marx

DEDICATORIA



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, familiares y en especial a mi esposa, sin la ayuda de los cuales no hubiera podido culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTO



AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que de una forma u otra han ayudado en la realización de es trabajo en especial a mi tutor Ing. Frank Rodríguez Meriño por su intensa ayuda y colaboración, sin la cual no hubiese podido realizar ~~el mismo~~.

Y a la Revolución que ha puesto la Educación al alcance de todos.

RESUMEN



RESUMEN

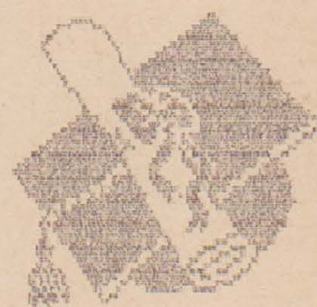
En el presente trabajo de diploma se realiza una explicación bien detallada sobre las propiedades de los materiales refractarios utilizados en el revestimiento refractario del horno de arco eléctrico en la producción de acero, así como un estudio del mineral de Cromita procedente de la mena Merceditas en el municipio de Moa provincia Holguín:

Se propone con el siguiente trabajo el estudio de la sustitución de los materiales refractarios, mezclas apisonables y masas refractarias, utilizadas en el revestimiento del Horno de arco eléctrico, extendiendolos a los utilizados en las cucharas y artesas de coladas, por mezclas de estos materiales con mineral de Cromita con el objetivo de disminuir los consumos de estos materiales, producto a que estos se adquieren a un precio elevado en el mercado mundial, mientras que el mineral de Cromita es una materia prima abundante en nuestro país, y tiene un precio mucho menor.

Para ello se prepararon diferentes tipos de mezclas Cromita-material refractario, las cuales se sometieron a diferentes condiciones de temperatura y se realizaron pruebas en diferentes partes de los agregados metalúrgicos.

Con los resultados obtenidos se logro demostrar que la sustitución de los materiales refractarios por una mezcla de estos con Cromita es factible y aporta un considerable ahorro de divisas a la empresa ACINOX S.A. Tunas.

INDICE



INDICE

INTRODUCCION.	1
CAPITULO I: Flujo tecnológico y descripción de los principales agregados en la empresa ACINOX-TUNAS.	3
1.1.- Flujo tecnológico de la fábrica.	3
1.2.- Descripción de los principales agregados en la empresa ACINOX-TUNAS.	4
1.2.1.- Horno de arco eléctrico.	4
1.2.2.- Horno de cuchara.	5
1.2.3.- Instalación de descarburación con Oxígeno al vacío (V.O.H.S.D.).	6
1.2.4.- Instalación de vaciado continuo (I.V.C.).	6
CAPITULO II: Materiales refractarios.	8
2.1.- Generalidades sobre los materiales refractarios.	8
2.2.- Metales refractarios.	9
2.3.- Clasificación de los materiales refractarios.	9
2.4.- Propiedades de los materiales refractarios.	10
2.4.1.- Refractabilidad.	10
2.4.2.- Resistencia a la compresión en frío.	11
2.4.3.- Temperatura de reblandecimiento bajo una carga.	11
2.4.4.- Dilatación lineal en caliente.	11
2.4.5.- Resistencia a los cambios bruscos de temperatura.	11
2.4.6.- Resistencia a la acción de las escorias y los gases a altas temperaturas.	12
2.4.7.- Estabilidad química.	12
2.4.8.- Porosidad.	13
2.4.9.- Conductividad térmica.	13
2.5.- Características de los materiales refractarios utilizados en el revestimiento del Horno de arco eléctrico.	13
2.5.1.- Dina.	13
2.5.2.- Magnesita en polvo.	14
2.5.3.- Ladrillo de Magnesita.	15
2.5.4.- Ladrillo de Magnesita termorresistente.	15
2.5.5.- Materiales refractarios con Cromo y Magnesita.	16
2.5.6.- Dolomita.	16
2.5.7.- Chamota.	17
2.6.- Características de los materiales aislantes utilizados en la construcción del revestimiento refractario del Horno de arco eléctrico.	18
2.6.1.- Piezas de Chamota ligera y ultraligeras.	18
2.6.2.- Piezas de Dina ligera.	18
2.6.3.- Diatomita.	19

2.6.4.-	Tripoli.	19
2.6.5.-	Asbesto.	19
2.6.6.-	Lana de escoria.	19
2.8.-	Construcción del revestimiento refractario de la solera del Horno de arco eléctrico.	19
2.9.-	Construcción del revestimiento refractario de las paredes del Horno de arco eléctrico.	20
2.9.1.-	Construcción de las paredes con ladrillos refractarios.	20
2.9.2.-	Construcción de las paredes con bloques refractarios.	21
2.9.3.-	Construcción de las paredes apisonadas. ...	22
2.10.-	Construcción del revestimiento refractario de la bóveda.	22
2.11.-	Causas del deterioro de revestimiento refractario del Horno de arco eléctrico.	23
2.11.1.-	Desgaste por el efecto de las escorias agresivas y corrosivas.	24
2.12.-	Prolongación del uso del revestimiento refractario en los Hornos de arco eléctrico.	25
CAPITULO III: Cromita. Utilización de la Cromita como mezcla apisonable en el Horno de arco eléctrico (experimentos y resultados).		26
3.1.-	Cromita. Características mineralógicas y aplicaciones.	26
3.2.-	Parte experimental y análisis de los resultados.	27
3.2.1.-	Análisis granulométrico de una muestra de mineral de Cr_2O_3	27
3.2.2.-	Preparación de las mezclas Cromita-material refractario.	28
3.2.2.1.-	Mezcla Cromita-PIMAG (CROMPIMAG).	28
3.2.2.2.-	Mezcla Cromita-SILIMAG (CROMSILIMAG).	28
3.2.2.3.-	Mezcla Cromita-Hormigón (CROMC-29, CROMC-24, CROMC- 50, CROMC-150, CROMVUL-KEM-160).	28
3.2.2.4.-	Mezcla Cromita-MAGSOL (CROMMAGSOL).	29
3.2.3.-	Cálculo económico.	29
3.2.3.1.-	Metodología de cálculo.	29
3.2.4.-	Análisis de los resultados.	32
3.2.5.-	Valoración económica.	32
CONCLUSIONES.		33
RECOMENDACIONES.		34
BIBLIOGRAFIA.		35
ANEXOS.		

INTRODUCCION



INTRODUCCION

El desarrollo de la producción de acero inoxidable en Cuba, país rico en una de sus principales materias primas de elaboración, el Níquel(Ni); representa uno de los lineamientos económicos perspectivas más importantes. En los lineamientos Económicos y Sociales aprobados durante el Tercer Congreso del Partido se plantea... "Desarrollar la producción de estos aceros en forma de lingotes, los cuales tendrán como objetivo fundamental la exportación." y más adelante se plantea... "Continuar las investigaciones y demás trabajos necesarios en la Zona Oriental para la producción de ferrocromoníquel."

Nuestro país teniendo en cuenta lo antes trazado, pone en marcha la empresa ACINOX-Tunas la cual se encuentra ubicada en la carretera circunvalante norte Km 3½ en la Zona Industrial de la Ciudad de Las Tunas, la cual está destinada a la producción de planchones de acero inoxidable de diferentes marcas como por ejemplo: AISI 304, 304L, 316, 316L, 376Ti y 321 con una productividad de 100 000 t/año empleando la más recientes técnicas de fabricación de este tipo de producto a nivel mundial.

En estos momentos la empresa ACINOX-TUNAS está enfrascada en la elaboración de palanquillas de acero al carbono de marca AISI 1025 con el objetivo de llevarlo a la exportación, además se siguen las investigaciones para obtener otras marcas de acero de mayor calidad.

Esta empresa consta con las siguientes entidades y equipos fundamentales:

- Sector de aseguramiento.
 - .Area de reverberia.
 - .Area de preparación de la carga.
- Sector de elaboración y afino.
 - .Horno de arco eléctrico.
 - .Horno de cuchara.
 - .Instalación de descarburación con Oxígeno, al vacío (V.O.H.S.D.).
- Sector de vaciado y acondicionamiento de planchones.
 - .Instalación de vaciado continuo(IVC).
 - .Area de acondicionamiento de planchones(o palanquillas de acero al carbono).

Además, se encuentran las plantas auxiliares para el aseguramiento de la producción:

- Planta de tratamiento de agua.
- Planta de cal.
- Planta de tratamiento y depuración de humos.
- Planta de Oxígeno.
- Subestación eléctrica.

Como planes futuros y segunda etapa de inversión está prevista la construcción de un laminador en caliente, donde se podrá laminar el semiproducto que hoy en día se obtiene, esto permitiría disponer de láminas inoxidables para la industria.

Posteriormente con planes más ambiciosos se lograría la construcción de un laminador en frío donde se obtendrán láminas con un perfecto acabado en su superficie, lo que triplicaría el precio del planchón, elevando considerablemente el nivel de las exportaciones.

Además esta segunda etapa dará lugar a otras industrias para la fabricación de útiles con destino a la población, con los rechazos de los laminadores, por ser este tipo de acero de alta calidad.

El contenido de este trabajo se basa en la necesidad que existe en la acería de los materiales refractarios (materiales resistentes al calor). Los materiales refractarios se utilizan en todos los agregados metalúrgicos de la fábrica como por ejemplo en el revestimiento del horno, tanto en sus paredes como en la solera y piquera del mismo.

Los materiales refractarios son muy costosos en el mercado mundial y es una fuente importable para nuestro país, el cual gasta muchos recursos en su adquisición. Por eso en el presente trabajo investigaremos la posibilidad de utilización de la Cromita, materia prima abundante en nuestro país, como mezcla apisonable en la solera del horno de arco eléctrico con el objetivo de sustituir las mezclas apisonables que se están utilizando en estos momentos, que se adquieren con un precio elevado en el mercado mundial, extendiéndose también a mezclas utilizadas en la piquera y bordes superiores de las cucharas, daremos sugerencias sobre las proporciones a utilizar.

CAPITULO I



CAPITULO I: Flujo tecnológico y descripción de los principales agregados en la empresa ACINOX-TUNAS.

1.1.- Flujo tecnológico de la fábrica. (Figúra NO 1).

Las materias primas y materiales necesarios para el proceso arriban a través de transporte ferroviario o automotriz, los cuales son clasificados y almacenados según especificaciones de calidad definida. Una vez que se efectúa esta operación se procede a la preparación de la carga en el área correspondiente, en la cual debe garantizarse la máyor homogeneidad posible con las cantidades requeridas de materias primas. Las cestas preparadas son transferidas a la unidad central con la ayuda de un carro desde son izadas con una grua de 100 t. la cual las vierte al Horno de arco eléctrico, en este agregado ocurre la fusión total de la carga, así como un afino parcial del acero.

Concluidas estas operaciones el acero es vaciado en una cazuela que se mueve con la ayuda de un carro donde se efectúa un desescoriado y se transporta al Horno de cuchara, esta estación está compuesta por unidades de calentamiento con electrodo (arco eléctrico), agitación gaseosa, agregados de aditivos y ferroaleaciones. Tiene como objetivo lograr las condiciones óptimas de composición y temperatura para pasar a la instalación de Descarburación con Oxígeno al vacío (V.O.H.S.D.). Antes de pasar a este agregado se crea una nueva escoria y se vuelve a desescoriar.

En el V.O.H.S.D. el acero se somete a un tratamiento al vacío, donde se inyecta Oxígeno mediante una lanza supersónica lo cual permite obtener porcentajes muy bajos para el carbono (hasta el orden de 0.001 %) con altos rendimientos de Cr, Mn, Fe. Esta operación, descarburación con Oxígeno al vacío, se excluye cuando se esta produciendo palanquillas de acero al carbono.

Después pasa al sector de vaciado y acondicionamiento de planchones (o palanquillas), la cual persigue como objetivo la obtención de planchones (o palanquillas) mediante colada continua.

Posteriormente los planchones (o palanquillas) son descargados y trasladados hacia la mesa de enfriamiento, pasando después hasta el área donde se acondiciona los planchones (o palanquillas) cuando la temperatura es menor de 50 °C, donde se procede a detectar los defectos de los mismos.

Además en esta área se pesa, se mide y se certifica la calidad de producción terminada, la cual pasa a almacenamiento y más tarde es transportada por ferrocarril o carretera hasta el lugar de embarque de donde es llevada al lugar de destino.

1.2.- Descripción de los principales agregados en la empresa ACINOX-TUNAS.

1.2.1.- Horno de arco eléctrico. (Figura Nº 2).

El Horno de arco eléctrico está diseñado para producir 60 t de acero. La cuba del horno está constituida por una chapa de acero de un espesor de 30 mm y las paredes de otra de 25 mm. Para disminuir el consumo de refractario se han diseñado paneles enfriados por agua, estos van montados en una caja de sostén, en la parte inferior de la caja está el conducto suministrador de agua a los paneles y en la parte superior se encuentra el tubo colector de agua que retorna de los paneles.

La bóveda del horno es igualmente enfriada por agua la misma consta de 5 agujeros donde tres de ellos son de los electrodos, uno para la evacuación de los gases y otro para la adición de aditivos y ferroaleaciones.

Consta de una ventana de trabajo enfriada por agua, la misma es utilizada para la toma de muestra, temperatura y adición de algunos elementos como el aluminio. El diseño del mismo es de tal forma que se inclina a la zona de desescoriado, es decir hacia la ventana de trabajo, por esta razón para la carga del mismo se diseñó un mecanismo de bloqueo que permite que el horno se mantenga en posición vertical, para realizar las operaciones de vasculamiento es necesario primeramente desactivar el bloqueo.

La inclinación del horno es de 15° hacia la zona de desescoriado y 35° hacia la zona de vaciado, el mecanismo funciona a través de dos cilindros hidráulicos colocados en la estructura inferior del horno.

Existe un transformador de 40 MVA, el cual permite lograr potencias elevadas de corrientes acelerando el proceso de fusión, este es enfriado con agua. El transformador les transmite la corriente a los tubos portacorrientes que van acoplados a los brazos portaelectrodos, la corriente pasa a los electrodos a través de las mordazas.

Para el movimiento de todos los mecanismos del horno en su parte inferior se encuentra una central oleodinámica la cual puede desarrollar una presión máxima de 120 bar.

El sistema de enfriamiento está compuesto por dos tubos colectores, uno para el suministro de agua de enfriamiento y otro para el retorno de la misma, en cada panel hay colocadas termorresistencias que indican la temperatura del retorno del agua, en todo el sistema hay flujómetros que indican la presión del agua que está circulando, la presión de trabajo es de 5 bar y la temperatura de entrada es 25 °C con un gradiente de salida de 61 °C.

Además tiene agua de emergencia para el caso de que ocurra una avería, esta agua procede de un tanque destinado para dicho fin, además, forma parte del horno una lanza de Oxígeno que se introduce a través de la ventana de trabajo la cual permite la descarburación del baño metálico.

1.2.2.- Horno de cuchara. (Figura Nº 3).

El Horno de cuchara está formado por una bóveda la cual presenta un delta por donde pasan los electrodos, los cuales tienen un diámetro de 300 mm, estos van sujetados por las mordazas y estas a su vez por los brazos porta electrodos, consta de un transformador de 20 MVA que le permite que le trasmite la corriente.

La bóveda se encuentra enfriada por agua, presenta además del delta un conducto para la adición de aditivos y ferroaleaciones, así como una ventana de trabajo para la toma de muestras, temperatura entre otras necesidades propias del proceso tecnológico, el mecanismo de apertura y cierre de la ventana de trabajo es neumático, la bóveda sube hasta una altura de 400 mm.

Este horno como su nombre lo indica presenta una cuchara, la cual está revestida de la siguiente forma: Presenta un panel cerámico sobre el cual se coloca una capa de chancletas de chamota de 32 mm aproximadamente; sobre esta una capa de ladrillos cromomagnesitas y el área de trabajo; propiamente dicha, tiene un revestimiento variado debido a la posición que ocupa, la escoria dentro de la cuchara, por lo que esta parte requiere de Magnesita-cromita (básico) y la parte inferior donde se encuentra el metal líquido, de ladrillos cromo-Magnesita.

La cuchara en su parte inferior presenta unos orificios donde son colocados tapones porosos donde es suministrado el Argón o Nitrógeno según sea necesario, presenta además, un sistema de cierre de corredera para el vaciado del metal líquido en I.V.C.

Características técnicas del horno de cuchara:

- Capacidad de la cuchara 60 000 Kg (60 t)
- Revestimiento de la cuchara a base de material refractario básico.
- Potencia del transformador $20 \cdot 10^6$ W (20 MW)
- Diámetro de los electrodos 0.30 m (300 mm)
- Bóveda en forma de campana enfriada por agua.

El principal objetivo de este agregado es el calentamiento del metal hasta 1630-1650 °C y el ajuste de la composición química, para llevar el metal a la instalación de descarburación con Oxígeno al vacío (V.O.H.S.D.).

1.2.3.- Instalación de descarburación con Oxígeno al vacío (V.O.H.S.D.). (Figura No 4).

La instalación de descarburación con Oxígeno al vacío (V.O.H.S.D.) está formada por un contenedor de cuchara, la tapa de la cuchara la cual posee una instalación para la adición de ferroaleaciones que incluye un cierre hermetico al vacío, varias tolvas para los diferentes materiales de adición y un aditamento para la carga automática.

Este agregado consta además de una tapa antisalpicadura revestida con refractario y una tapa o escudo protector acoplado a la tapa principal la misma es enfriada por agua, para su levantamiento consta de dos cilindros. Para el movimiento de la tapa existen dos motorreductores que desplazan la tapa sobre rieles, en la parte superior de esta se encuentra una estructura o castillo que sostiene la lanza de Oxígeno que es enfriada por agua y que es accionada por un motor y cadenas.

La lanza se introduce por el centro de la tapa la cual cuenta con una abertura para este fin, además existe otra lanza con la cual se toma la muestra y la medición de temperatura y de una tolva para la adición de aditivos y ferroaleaciones.

El objetivo de la instalación es llevar a cabo el afino del metal que incluye la descarburación, desgasificación y ajuste de la composición química.

1.2.4.- Instalación de vaciado continuo (I.V.C.).

La instalación de vaciado continuo (I.V.C.) está compuesta por una máquina de colada continua que es una linea multirradio de curvatura 6, 7, 10 y 20 m y recibe una cuchara de 60 t. Consta de dos carros portaartesa accionado cada uno por un motorreductor, este es de doble polaridad con potencia nominal de 1.2-2.5 Kw, cada uno de los carros tiene dos posiciones: uno de colada y de precalentamiento, y otra de reposo.

Cada artesa está dotada de un asta tapón movida electromecánicamente, existe una central oleodinámica para el levantamiento, bajada o centraje de la artesa, dicha central, está montada sobre dicho carro.

La cuchara se vacía con una válvula deslizante FLOCON que permite mantener constantemente el nivel en la artesa y en la lingotera.

A lo largo de la linea de colada se encuentra la lingotera vertical curva del tipo de planchones de cobre especial, posee un equipo de colada de 140X1550 mm para acero inoxidable, un grupo de rodillos al pie y un grupo de oscilación de lingotera

accionado por un motor de corriente continua de 35 Kw, la lingotera está dotada de un control de nivel automático

Después se encuentra el sector móvil, sector fijo, el grupo de enderezamiento y luego el grupo de extracción que dispone de ocho rodillos motorizados, accionado cada uno de ellos por un motor de corriente continua de 11.2 Kw. Posteriormente está el camino de rodillos intermedios debajo del carro de corte con una longitud de 10 m, en la parte superior de estos rodillos, que tiene una tangente de +1 m, se encuentra la máquina de oxicorte, la misma realiza el corte de los planchones (o palanquillas) según las exigencias del cliente.

El camino de rodillos de transporte y descarga es de aproximadamente de 23 m que accionado por una serie de motores de corriente alterna 18.5 Kw, para completar se encuentra la mesa de estacionamiento y enfriamiento constituida por cuatro módulos de 11 m de longitud y 18.85 m de ancho de seis patines.

Junto con la línea principal de colada se encuentra el dispositivo de estacionamiento de la falsa barra.

La operación de corte se efectúa mientras el planchón está en movimiento, los sopletes de sincronización avanzan con la misma velocidad del planchón y comienzan el corte por los costados laterales.

CAPITULO II



CAPITULO II: Materiales refractarios.

2.1.- Generalidades sobre los materiales refractarios.

Los materiales refractarios son materiales de construcción expuestos a altas temperaturas los cuales deben ser superiores a 1580 °C.

Estos son los más usados en la industria metalúrgica para la construcción de todo tipo de revestimiento refractario de horno, como por ejemplo también se utilizan en el revestimiento refractario de las cucharas de colada, vasijas retenedoras, en las chimeneas las cuales conducen gases calientes, etc.

Los materiales refractarios son muy costosos debido a que cualquier error que se produzca en la fabricación de ellos trae como consecuencia grandes pérdidas de equipos, tiempo y producción, por lo tanto los problemas de obtener materiales refractarios adecuados para cada propósito específico, es de gran importancia.

Los materiales refractarios son de origen mineral, utilizándose algunos de ellos en forma natural, aunque la mayoría son procesados para darle mayores propiedades y obtener de ellos mejores resultados en la manufactura del ladrillo.

Como materia prima para fabricar los materiales refractarios se utilizan por lo general las arcillas refractarias, los Caolines, la Magnesita, la Dolomita, la Cuarzita, etc.

La materia prima preparada previamente se calcina (excepto la Cuarzita), se tritura, se añade el ingrediente aglutinante y se somete a la cocción a 1300-1750 °C y en ocasiones a temperaturas más altas.

Los materiales refractarios sin cocción se moldean de las mezclas formadas por el polvo refractario calcinado a la temperatura alta (Magnesita, cromita, dolomita y el aglutinante orgánico o inorgánico) sin la calcinación sucesiva y luego se someten al prensado a la presión alta ($>100 \text{ MN/m}^2$).

Los materiales refractarios sin cocción son más baratos que los análogos cocidos, si se emplea un equipo de prensado de gran potencia.

La composición química de los materiales refractarios se determina por la de su materia prima. De acuerdo a la composición química de los materiales refractarios varía su capacidad de reaccionar con las escorias.

2.2.- Metales refractarios.

Bajo la denominación de refractarios se agrupan los metales cuya temperatura de fusión es superior a la del Hierro (1539 °C), excepto los del grupo del Platino, del Uranio y de las tierras raras.

Por lo tanto deben considerarse como metales refractarios, los siguientes: Vanadio (tf=1900 °C), Volframio (3410 °C), Hafnio (1975 °C), Molibdeno (2610 °C), Niobio (2415 °C), Renio (3180 °C), Tantalio (2996 °C), Tecnecio (2700 °C), Titanio (1672 °C), Cromo (1875 °C) y Circonio (1855 °C). Todos estos elementos están juntos en el sistema periódico y son metales de los grupos de transición.

En las tablas Nº 1 y Nº 2 exponen las propiedades físicas y químicas, respectivamente, de los metales refractarios.

2.3.- Clasificación de los materiales refractarios.

La clasificación de materiales refractarios se dividen atendiendo a:

1.- Composición química.

- a).- Refractarios ácidos: Se basa en el contenido de SiO_2 (Silice) e incluye las arcillas refractarias que contienen 30-42 % de Al_2O_3 (Alumina).
- b).- Refractarios básicos: Se basa en el contenido de MgO , CaO , FeO (óxido de Magnesio, óxido de Calcio y óxido de Hierro II) e incluye la Magnesita, dolomita, Magnesita-cromo y cromo-Magnesita. También los ladrillos refractarios especiales.
- c).- Refractarios neutros: Son relativamente inertes tanto a las escorias síliceas o ácidas como a las calizas o básicas. En este grupo podemos incluir a los ladrillos de cromita, carbono y la fosterita. También algunos refractarios especiales. Estos son materiales los cuales se destinan unicamente con fines de investigación y otros usos especiales tales como energía atómica, tecnología de turbinas de gas, etc.

2.- Temperatura de refractabilidad.

- a).- Refractarios: Materiales que resisten las temperaturas de 1580-1770 °C.
- b).- Altamente refractarios: Materiales que resisten temperaturas de 1770-2000 °C.
- c).- Super refractarios: Materiales que resisten temperaturas mayores de 2000 °C.

3.- Contenido químico mineralógico.

- a).- Refractarios ácidos de Silicio: Dinas ligados con caliza; 5 % de CaO y 92-93 % SiO₂.
- b).- Refractarios de Aluminio-Silicato:
 - Semiácidos: Cuarzo arcilloso, Chamota semiácida, mezcla de cuarzo y chamota.
 - Neutros: Chamota (25-40 % de Al₂O₃ (óxido de Aluminio), caldenita (40 % de Al₂O₃), refractarios con alto contenido de Al₂O₃ (por encima de 45 %) y corindón (con un 75 % de Al₂O₃).
- c).- Refractarios con propiedades básicas:
 - Magnesiales (puede contener óxido de Magnesio, óxido de Aluminio y óxido de Calcio).
 - Cromita (contiene óxido de Cromo por encima de un 30 %, óxido de Magnesio 16 % y óxido de Hierro 18 %).
- d).- Refractarios grafitados de carbono.
- e).- Refractarios de Circonio.
- f).- Refractarios con materiales puros y de alto punto de fusión (óxido de Titanio, óxido de Bismuto y óxido de Circonio).

2.4.- Propiedades de los materiales refractarios.

Las propiedades de los materiales refractarios utilizados en la producción de acero son:

- a) Refractabilidad.
- b) Resistencia a la compresión en frío.
- c) Temperatura de reblandecimiento bajo una carga.
- d) Dilatación lineal en caliente.
- e) Resistencia a los cambios brusco de temperatura.
- f) Resistencia a la acción de las escorias y de los gases a altas temperaturas.
- g) Estabilidad química.
- h) Porosidad.
- i) Conductividad térmica.

2.4.1.- Refractabilidad.

La refractabilidad es la propiedad que tienen los materiales refractarios de resistir las altas temperaturas sin sufrir alteraciones en sus propiedades físicas.

Los materiales refractarios utilizados en la producción de

acero deben resistir altas temperaturas, a veces superiores a los 1970 K (1700 °C). La refractabilidad se determina por la temperatura en la cual la muestra normalizada se deforma por el efecto de su propio peso.

2.4.2.- Resistencia a la compresión en frío.

La resistencia a la compresión en frío se mide mediante un ensayo sencillo de compresión conocido como ensayo de resistencia al aplastamiento en frío. Esta operación se realiza para dar seguridad de que el producto no sufrirá deformaciones al aplicarle una compresión. El ensayo nos puede indicar también si el producto se puede transportar sin originarle ningún daño a las aristas y esquinas.

2.4.3.- Temperatura de reblandecimiento bajo una carga.

La temperatura de reblandecimiento bajo una carga es la propiedad que indica la temperatura máxima a que puede ser sometido un ladrillo refractario bajo la acción de una carga determinada. Prueba estandar se realiza bajo la carga de 2 Kg/cm².

2.4.4.- Dilatación lineal en caliente.

El revestimiento refractario del horno durante el trabajo está expuesto a esfuerzos mecánicos producto de la acción térmica a que se someten. La dilatación del material refractario hace que las uniones entre los ladrillos aparezcan gran concentración de tensiones que pueden llegar a romper el ladrillo refractario. Estas disminuyen o desaparecen al enfriarse el ladrillo.

Para que no se llegue a destruir el refractario por esta causa, en su construcción, se debe dejar una separación o colocar juntas de expansión entre los ladrillos.

2.4.5.- Resistencia a los cambios bruscos de temperatura.

Los materiales refractarios están sometidos a cambios bruscos de temperatura cuya brusquedad dependen las condiciones de operación de dicho equipo. Estos cambios afectan al ladrillo refractario de tal forma que le causan agrietamiento y a veces provocan su destrucción, esta propiedad se denomina termoestabilidad o resistencia térmica.

La prueba de termoestabilidad se le realiza a una muestra, esta se calienta a 850°C e inmediatamente se enfria en agua, esta operación se realiza hasta que la pérdida en peso de la muestra alcance el 20 %.

El número de veces que se realiza esta operación hasta la pérdida del 20% del peso, determina la resistencia térmica del material refractario.

2.4.6.- Resistencia a la acción de las escorias y los gases a altas temperaturas.

Durante el trabajo del horno para producir acero, el revestimiento refractario esta en contacto directo con el metal, la escoria y los gases a altas temperaturas.

Los materiales refractarios deben resistir el ataque corrosivo de las escorias ya que de no ser así su revestimiento y composición se iran destruyendo periódicamente, dañando de esta forma las características técnicas del horno.

En este aspecto una causa que influye es la porosidad, ya que si el ladrillo posee un alto grado de porosidad, las escorias y gases tienen mayor posibilidades de penetrar en el material refractario.

La composición química de los ladrillos refractarios y la relación que existe entre sus constituyentes, contribuye a reunir una serie de características físico-químicas, que atendiendo al tipo de escoria que se produce en el proceso metalúrgico hace posible escoger el tipo de ladrillo refractario.

Y es por eso que la escoria rica en SiO_2 se denominara escoria ácida y para obtenerla, se tiene que usar materiales refractarios con gran contenido de SiO_2 , de la misma forma la escoria que contenga alto contenido de Mg, Ca, Fe se denominara escoria básica y para obtenerla será necesario utilizar ladrillos refractarios que contengan MgO , CaO y FeO .

Por último las escorias que contengan alto contenido de óxido de Aluminio se denominaran escorias neutras y para producirla será necesario utilizar ladrillos refractarios del tipo chamota los cuales tienen gran contenido de Al_2O_3 .

2.4.7.- Estabilidad química.

Es la propiedad que tienen los materiales refractarios de resistir la acción corrosiva de las sales fundidas, metales fundidos, escorias y gases a altas temperaturas, sin alterar sus propiedades químicas.

Un factor que influye grandemente en la estabilidad química es la porosidad. Un aumento en el grado de porosidad provoca un aumento de la superficie de contacto del ladrillo refractario y la sal fundida por lo que trae como consecuencia una disminución de la resistencia a la corrosión.

2.4.8.- Porosidad.

En los materiales refractarios ligeros la porosidad oscila entre los 60-80 % . En la mayoría de los materiales refractarios la porosidad aumenta en un 20-25 % llegando a un 12-15 % en materiales refractarios utilizados en fundición.

La porosidad es un factor que influye negativamente en la estabilidad química de los materiales refractarios.

2.4.9.- Conductividad térmica.

La mayoría de los materiales refractarios deben tener baja conductividad térmica, ya que como materiales de construcción deben aislar el espacio de trabajo del horno con el medio ambiente e impedir la difusión de calor fuera de los límites del horno.

2.5.- Características de los materiales refractarios utilizados en el revestimiento del Horno de arco eléctrico.

El revestimiento del horno de arco eléctrico se construye de materiales refractarios que resistan tanto las altas temperaturas, como la acción del metal, la escoria y los gases a altas temperaturas.

A continuación le ofrecemos los distintos materiales refractarios utilizados y sus características. También se expondrán las diferentes formas en que se fabrican los materiales refractarios, y cuál es el más apropiado emplear en las diferentes partes que conforman la zona útil del horno, así como su tratamiento durante la construcción.

2.5.1.- Dina.

La Dina por su composición química es un material de carácter ácido. Las piezas de Dina se fabrican con cuarzo, con un contenido de 90-97 % de SiO_2 .

Los ladrillos de Dina se preparan de cuarzo, el cual se

muele, tritura y se selecciona de acuerdo con la granulometría que se va a utilizar. Los granos seleccionados se aglutinan en una solución acuosa de Cal. La cocción de las piezas después de prensadas se realiza a la temperatura de 1180-1330 °C.

La Dina requiere de un calentamiento cuidadoso, ya que su resistencia térmica hasta una temperatura de 600 °C es baja.

El volumen de los ladrillos de Dina durante los cambios alotrópicos y sus modificaciones, varía bruscamente. Se conoce tres estados amorfos y siete modificaciones cristalinas, los cuales se distinguen por su formación cristalográfica, peso específico y coeficiente de dilatación.

Las modificaciones cristalográficas son: α y β del Cuarzo; α , β y Γ de la Tridomita, y α y β de la Cristobalita, con un peso específico, el Cuarzo, de 2.65 g/cm³, la Tridimita, de 2.30 g/cm³ y la Cristobalita, de 2.35 g/cm³.

Al producirse cambios en la temperatura, el ordenamiento de los cristales del SiO₂ variará (varía también el peso específico), lo que provoca una disminución o un aumento de volumen, y trae como consecuencia el fraccionamiento de los materiales refractarios, esto sobre todo cuando existe gran contenido de Silicio.

La variación volumétrica del ladrillo de Dina sucede durante la cocción. Para reducir al máximo estas variaciones durante este proceso, debe lograrse la más completa conversión del Cuarzo en Tridimita, ya que esta forma el aumento del volumen es menor.

En el horno eléctrico básico, el ladrillo Dina se emplea para revestir la bóveda, y en los hornos eléctricos ácidos se utiliza, además, para reparar la solera, las paredes y el arco de la ventana.

2.5.2.- Magnesita en polvo.

La Magnesita es un material refractario básico que se obtiene de la calcinación de Carbonato de Magnesio (MgCO₃) a una temperatura aproximada de 1923 K. Después de calcinada la Magnesita obtenida se tritura y se muele; la más utilizada en los hornos de arco eléctrico es la de granulometría de 3-10 mm y hasta el 30 % de partículas más finas; hasta 0.8 mm, este último se considera polvo y es utilizada como mezcla apisonable en los hornos de arco eléctrico, en la solera y en la piquera principalmente.

La calidad de la Magnesita en polvo depende del peso específico, la composición química y la granulometría.

El peso específico de la Magnesita en polvo es de 3.5 g/cm^3 . La composición química depende, en parte, de la granulometría, la mayor cantidad de impurezas estará en los granos finos (desde 0.8-2 mm); de ser muy fino (menor de 0.4 mm) prácticamente no tiene MgO y estará fundamentalmente formado por CaO .

En la reparación de las pendientes de los hornos eléctricos, se emplea generalmente Magnesita en polvo de granulometría de 0-4 mm. Para garantizar un ángulo suficiente en las pendientes se utiliza Magnesita en polvo con una granulometría de hasta 0.2 mm, 45 %; 0.2-3, 50 % y más de 3.3 mm, 5 %.

Para que el revestimiento refractario tenga una mayor resistencia y sea más estable frente a las escorias, a la Magnesita en polvo se le agrega (de 5-12 % en peso) de FeO .

2.5.3.- Ladrillo de Magnesita.

El ladrillo de Magnesita se prepara con Magnesita en polvo, aglutinada con arcilla refractaria (hasta el 2% de su peso) o con un mineral de Hierro. Se prepara una masa húmeda que se comprime a grandes presiones, después se seca y se sinteriza a una temperatura de 1550-1650 °C.

El ladrillo de Magnesita (primera clase) contiene como mínimo 90% de Mg y no más del 3 % de CaO , su peso volumétrico es de 2.6 g/cm^3 y la temperatura a la cual comienza la deformación bajo una carga de 2 Kg/cm^2 , es superior a 1500 °C, el límite a la compresión es de 400 Kg/cm^2 y la refractabilidad alcanza los 2000 °C.

Su estabilidad ante la escoria y la alta refractabilidad hace posible su utilización en la construcción del arco de la ventana, del orificio y el canal de salida (piquera) de los hornos de arco eléctrico básico.

Las desventajas de su empleo son la baja temperatura a que se deforma con cargas, la baja resistencia térmica (1 o 2 cambios térmicos, cuando los cambios son bruscos el ladrillo de Magnesita se fractura) y su elevada conductividad térmica.

2.5.4.- Ladrillo de Magnesita termorresistente.

Estos ladrillos tienen una elevada resistencia térmica y su porosidad es baja. Su tecnología de producción se distingue porque el componente que se emplea en los granos grandes de la mezcla es la Magnesita de hasta 0.5-2 mm, en el grano fino, una mezcla de Magnesita y Cromita molida; la Cromita actúa como material aglutinante e influye poco sobre las propiedades del ladrillo.



Cuando se quiere obtener piezas de Magnesita de baja porosidad (de 10-15 %) se emplea el polvo de Magnesita de tamiz 0.06 mm y con una pureza superior al 97 %.

Las piezas de Magnesita termorresistente se caracterizan por las propiedades siguientes:

Contenido de MgO.....	86-90 %
Porosidad casual.....	10-15 %
Límite a la compresión.....	800-1200 Kg/cm ²
Temperatura de deformación con carga de 2 Kg/cm ²	1550 °C

Cuando se emplean piezas de Magnesita con elevada resistencia, la duración del revestimiento refractario aumenta de 1.5-2 veces.

Las partes de Magnesita sinterizada se obtienen mediante la sinterización del polvo de Magnesita de alta calidad (con un contenido de MgO no menor del 90 %), dentro de los hornos de arco eléctrico.

La Magnesita sinterizada está compuesta en su totalidad por granos grandes, que cuando se calientan a elevadas temperaturas tienden a la sinterización. Su campo de aplicación es amplio, pero su empleo se encuentra limitado por el elevado costo de producción de las piezas que se elaboran y por el consumo de energía eléctrica necesaria para su preparación (hasta 250 KWh/t. Actualmente su empleo está reducido, se utiliza principalmente en la preparación de los crisoles de los hornos básicos de inducción.

2.5.5.- Materiales refractarios con Cromo y Magnesita

Estos materiales, de Cromo y Magnesita se distinguen por el contenido de Cr_2O_3 y se dividen en corrientes (de Cromo-Magnesita) y termorresistente (de Magnesita-Cromita o Cromo-Magnesita). Entre estos últimos, los de Cromo-Magnesita se emplean fundamentalmente en la construcción de bóvedas.

2.5.6.- Dolomita.

La Dolomita es un material refractario, resistente, que se encuentra en la naturaleza en forma de carbonato doble ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

La dolomita cuando se calcina tiene baja termoestabilidad y se emplea para hacer ladrillos. Su composición química es la siguiente: 25-38 % de MgO, 52-58 % de CaO, 0.6-2.8 de SiO_2 y hasta 3 % de $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Cuando se tritura se emplea para la

reparación de la solera y las pendiente de los hornos de arco eléctrico básicos.

Cuando la dolomita contiene óxido de Hierro tiene buena sinterización y esta compuesta químicamente por: 35-39 % de MgO, 49-52 % de CaO, no más de 3 % de SiO₂, ni de Al₂O₃ y 7-9 % de Fe₂O₃. Se sinteriza a 1550 °C.

Los ladrillos elaborados con dolomita tienen las propiedades siguientes:

Peso volumétrico.....	2.58 Kg/cm ³
Refractabilidad.....	1630 °C
Resistencia a la compresión.....	580 Kg/cm ²
Temperatura de deformación con carga de 2 Kg/cm ²	1570 °C
Temperatura máxima de trabajo.....	1600 °C

2.5.7.- Chamota.

La Chamota es un material refractario que tiene como principales componentes la Silice (SiO₂) y la Alúmina (Al₂O₃).

El ladrillo hecho de Chamota se emplea como aislante para construir las capas inferiores de la solera y de la primera hilera de las paredes en los Hornos de arco eléctrico. La función de la capa de Chamota es reducir las pérdidas térmicas y proteger la carcasa del horno contra el recalentamiento. También se revisten las ventanas y canales.

Las piezas de Chamota utilizados en el sistema de vertido por sifon (tubo, tapa, sifon), no deben contener menos del 34 % de Al₂O₃, y su refractabilidad debe ser superior a 1690 °C.

En el caso de las tapas y sifones que tienen más del 40 % de Al₂O₃+TiO₂, y su refractabilidad será hasta 1710 °C y la temperatura de comienzo de la deformación con una carga de 2 Kg/cm², superior a 1400 °C.

El ladrillo de Chamota tiene las siguientes propiedades:

Peso volumétrico.....	18-19 Kg/cm ³
Refractabilidad.....	1650-1730 °C
Resistencia a la compresión.....	2 Kg/cm ²
Temperatura de comienzo de la deformación con carga de 2 Kg/cm ²	1300-1400 °C
Temperatura máxima de trabajo.....	1400 °C

En la tabla N° 3 se exponen las propiedades físicas y químicas de los materiales refractarios utilizados en el revestimiento del Horno de arco eléctrico.

2.6.- Características de los materiales aislantes utilizados en la construcción del revestimiento refractario del Horno de arco eléctrico.

Para reducir las pérdidas de calor en el horno se usan materiales denominados aislantes.

Estos materiales se colocan en forma de capa entre la carcasa del horno y el revestimiento refractario del mismo. Esta capa debe tener baja conductividad térmica y resistencia mecánica capaz de soportar elevadas temperaturas.

Para reducir el consumo de estos materiales por lo general se utilizan paneles enfriados por agua, el cual los sustituye con gran efectividad.

A continuación le ofrecemos algunas características de los más usados en la construcción del revestimiento refractario del Horno de arco eléctrico.

2.6.1.- Piezas de Chamota ligera y ultraligeras.

Las piezas de Chamota ligera, con un peso volumétrico de 1-1.3 g/cm³. Se preparan por el método de añadir materiales volátiles a la mezcla (Carbón vegetal, serrín de madera, etcétera).

Para producir la Chamota ultraligera con un peso volumétrico de 0.4 g/cm³ y una refractabilidad de 1670 °C, se emplea el método de aglutinación con brea.

La conductividad térmica de la Chamota ultraligera es 10 veces menor que las piezas de Chamota corriente y 5 veces menor que la Chamota ligera. Tiene un peso volumétrico de 1.3 g/cm³, se emplea hasta una temperatura de 1200 °C.

2.6.2.- Piezas de Dina ligera.

Las piezas de Dina ligera se preparan por el método de añadir materiales volátiles (serrín, coque u otro); el secado y la sinterización se realiza a la misma temperatura que las piezas refractarias de Dina.

La Dina ligera tiene una temperatura de fusión alta, y durante el calentamiento se logra que todo el Cuarzo se transforme en Tridimita pero sin embargo, su peso específico es bajo (2.34-2.35 g/cm³).

2.6.3.- Diatomita.

Es un material en forma de polvo que contiene hasta el 90 % de Silice (SiO_2) y 10 % de agua, además, está químicamente combinado con otras sustancias.

2.6.4.- Tripoli.

Es una masa porosa formada fundamentalmente por SiO_2 . Al igual que la Diatomita se emplea triturada o en forma de ladrillo. Posee un peso volumétrico de $0.9-1.09 \text{ g/cm}^3$.

2.6.5.- Asbesto.

Su estructura es fibrosa, según su composición química es un Silicato de Magnesio Hidratado y resiste una temperatura de $973-1073 \text{ K}$ ($700-800^\circ\text{C}$). Con temperaturas mayores pierde resistencia, plasticidad y se vuelve frágil.

2.6.6.- Lana de escoria.

Es un material que se obtiene durante la pulverización de las escorias ácidas con aire o vapor, su temperatura máxima de trabajo es de 873 K (600°C).

En la tabla N° 4 se exponen las propiedades físicas de los materiales aislantes utilizados en la construcción del revestimiento del horno de arco eléctrico.

2.8.- Construcción del revestimiento refractario de la solera del Horno de arco eléctrico.

El revestimiento refractario de la solera del Horno de arco eléctrico debe tener baja conductividad, alta estabilidad contra la acción corrosiva de las sales fundidas, metal y la escoria, y gran resistencia mecánica a la temperatura de trabajo.

La solera del horno está compuesta por una capa de masa refractaria una base de ladrillo y una capa de material aislante. El espesor total del revestimiento refractario de la solera es aproximadamente la altura del baño.

En los Hornos de arco eléctrico de capacidad pequeña y media, la preparación de la solera se hace de la forma siguien-

te: Sobre el fondo de la carcaza, que esta provista de orificios para la salida de los gases, y sobre las paredes se coloca una capa de Asbesto de 10 mm de espesor y encima de esta una capa de Chamota en polvo hasta un espesor de 20 mm, que se apisona ligeramente.

Sobre la Chamota en polvo se coloca de lado dos capas de ladrillo de Chamota ligera (65 mm) a 90° en relación una con otra, la separación entre ladrillo se rellenan con Chamota en polvo, después se coloca sobre ellos la base refractaria que se hace con ladrillos de Magnesita. Para ello se situa una hilera a 90° en relación con la Chamota de lado (65 mm), y seguidamente 2 hileras de ladrillos colocados de forma plana (2X115), estas últimas se colocan en un ángulo de 45° en relación una con otra.

Con esta forma de colocación se asegura de que en caso de que la mezcla refractaria se deteriore, el metal no salga al exterior del horno.

Los ladrillos se colocan en seco y se rellenan las costuras con polvo fino de Magnesita, para que estas se llenen mejor se golpea la construcción con un martillo de madera.

La base refractaria se reviste con una masa preparada con Magnesita en polvo (polvo fino). La masa que se emplea para la solera está formada por un 89 % de Magnesita, 10 % de resina (alquitrán de hulla) y 1 % de brea.

Los granos de Magnesita se cubre totalmente de una capa aglutinante y se deja fraguar lentamente al contacto con el aire. Cada capa que se introduzca debe apisonarse fuertemente.

La mezcla apisonable se distribuye uniformemente por toda la solera en capas de un grosor de 15-20 mm y se apisona con un martillo neumático.

2.9.- Construcción del revestimiento refractario de las paredes del Horno de arco eléctrico.

La construcción refractaria para conformar las paredes del Horno de arco eléctrico se puede hacer por diferentes métodos: se construye con ladrillos refractarios, de bloques refractarios preelaborados fuera del horno y de paredes apisonables.

2.9.1.- Construcción de las paredes con ladrillos refractarios.

Una vez concluida la construcción de las pendientes, se comienza la de las paredes; la base para su construcción es la

solera. Las paredes se construyen en seco y se rellenan los espacios entre ladrillos con material en polvo. En el caso de las paredes de ladrillo de Magnesita, este debe colocarse de forma que la separación entre cada ladrillo no sea mayor de 1 mm, además, las costuras entre hileras no deben coincidir con la otra, para evitar una costura horizontal continua entre varias hileras.

La duración de las paredes de ladrillos de Magnesita es de 70-100 coladas. Para una mayor duración se suele emplear en el relleno de las costuras una mezcla seca al 50 % (en volumen) de Magnesita en polvo y escama de laminación triturada. Esta mezcla garantiza una unión sólida entre los ladrillos a altas temperaturas.

Con el objetivo de disminuir alrededor de toda la carcasa del horno se coloca material aislante. Este se hace con Asbesto en plancha con un espesor de 10 mm que se pega a la chapa con silicato, a continuación se coloca una capa de ladrillo de Chamota ligera en forma de cuña (65 mm), este ladrillo se puede sustituir por chamota refractaria.

La parte refractaria de las paredes se hace de diferentes espesores de acuerdo con la capacidad del horno, por ejemplo: para hornos pequeños (230 mm) el ancho de un ladrillo; para los de capacidad media, ladrillo y medio (345 mm) y en los hornos grandes, dos ladrillos (460 mm).

2.9.2.- Construcción de las paredes con bloques refractarios.

El tiempo para la construcción de las paredes de bloques refractarios se reduce si estos son preelaborados fuera del horno. Con la utilización de ladrillos se emplean de 24 a 48 horas, y con bloques refractarios, de 8 a 10 horas.

Generalmente, todo el revestimiento refractario se hace de tres bloques, aunque puede dividirse en más partes; en el molde de uno de los bloques se coloca una plantilla de acero con las mismas dimensiones que el orificio de la piquera, los otros bloques son iguales. Por medio de una armazón de que se puede colocar en el molde hacia un lado y hacia otro, se garantiza la formación de orificio que después unido, constituirá la ventana de trabajo.

Los bloques se colocan comenzando por el de la piquera, que se hará coincidir con el orificio del bloque, a ambos lados de este y lo más unido posible, se colocaran los otros dos, la capa de aislante debe quedar estrechamente unida a los bloques. Los espacios entre bloques se rellenan con una mezcla de Magnesita en polvo y brea la separación entre bloques y el material aislante se rellenan con Magnesita en polvo seca.

2.9.3.- Construcción de las paredes apisonadas.

Las paredes apisonadas se hacen con una mezcla de Magnesita en polvo, alquitrán de hulla y brea, a esta mezcla se le puede añadir hasta el 50 % de Dolomita; la cantidad de alquitrán de hulla o brea es de 70-80 %. Esta mezcla se prepara con los mismos requerimientos de la mezcla apisonable utilizada en la solera.

2.10.- Contrucción del revestimiento refractario de la bóveda.

Una de las partes del revestimiento refractario del Horno de arco eléctrico que se desgasta con mayor rapidez es la bóveda.

Sobre la bóveda actúan directamente las altas temperaturas, producto de la radiación del calor de los arcos eléctricos que se reflejan del baño metálico (que crea una superficie con las mismas características de un espejo); además, los óxidos de Hierro que se encuentran en la atmósfera del horno actúan fuertemente sobre esta. Una influencia similar la ejercen los óxidos de Calcio que se introducen en los espacios entre ladrillos de la bóveda; si esta es de dina reaccionará formando Silicatos de Calcio que pasan en estado líquido a la escoria.

El material más utilizado en la construcción de bóvedas de hornos pequeños es la Dina y en los de mayor capacidad la Magnesita-cromita.

Los ladrillos se colocan en seco y cada 4 ó 5 de ellos se intercala una junta de expansión con un espesor total de 1.5 % de las dimensiones totales de la construcción.

Cuando la bóveda es desmontable sus partes componentes se unen con tornillos, para evitar que al dilatarse el ladrillo y aumentar el diámetro de la bóveda (producto del aumento de temperatura), esta se destruya.

A las piezas unidas con tornillos se les coloca unas arandelas de madera o juntas de Plomo que se quemarán o fundirán producto de las altas temperaturas y permitirán el desplazamiento de las partes del aro al dilatarse el material refractario.

Cuando se construyen las bóvedas se utilizan ladrillos rectos y cuñas para evitar que las uniones coincidan y además, para aumentar su resistencia. El espesor de la bóveda generalmente es de 230-300 mm y la parte del centro se hace más gruesa para evitar un desgaste rápido, producto del efecto directo en esa zona de la radiación del calor de los arcos eléctricos.

Para la construcción de la bóveda se emplea el ladrillo termoresistente de Cromomagnesita, lo cual garantiza una mayor duración y estabilidad.

2.11.- Causas del deterioro de revestimiento refractario del Horno de arco eléctrico.

Una de las causas fundamentales del deterioro del revestimiento refractario del horno es la escorificación del refractario, lo cual no es más que la destrucción del refractario causado por la acción o el ataque químico de las escorias.

Las causas que motivan la destrucción del revestimiento refractario son dos:

- Causales físicos: Abrasión mecánica, tensiones mecánicas y/o térmicas y excesivas temperaturas.
- Causales químicos: Disolución en escorias, reacción con los metales y con vapores o polvos.

Consideraremos la cara de un ladrillo que sufre directamente la acción del metal líquido y/o la escoria líquida, aquí puede ocurrir tres casos fundamentales:

- 1er CASO.- Disolución química del ladrillo en la fase líquida:** Este efecto es totalmente similar al de un terrón de azúcar disolviéndose en agua y depende de la difusión del sólido en el líquido.
- 2do CASO.- Reacción química:** La reacción química (si es que ocurre), es un desplazamiento de óxidos o bien la formación de óxidos dobles. Según el tipo de producto de la reacción formada y su interacción con los refractarios puede distinguirse dos casos: 1) Los óxidos (simples o dobles) formados no funden a la temperatura de trabajo y no entran en solución formándose solo una capa protectora que inhibe la reacción, ejemplo: Fe_3O_4 ; 2) Los óxidos (simples o dobles) formados son fusibles a la temperatura de trabajo de modo que la reacción continua, ejemplo: $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$.
- 3er CASO.- Infiltración con reacción química:** Los ladrillos utilizados comúnmente tienen porosidad abierta lo que provoca que los líquidos en contacto con ellos penetran por estos poros infiltrando el ladrillo, pudiendo ocurrir la reacción química. Una manera de frenar la infiltración es taponear los poros con materiales, tal es el ejemplo de impregnar con alquitrán de hulla los ladrillos de Magnesita utilizados en el Horno de arco eléctrico.

2.11.1.- Desgaste por el efecto de las escorias agresivas y corrosivas.

El ataque que sufre un material refractario por un material líquido se puede clasificar como sigue:

- 1) Por erosión de la alimentación líquida.
- 2) Por una corrosión química de la alimentación líquida.
- 3) Por medio de reacciones químicas de la escoria con la estructura refractaria.

La causa principal de desgaste es la reacción química de la escoria con el revestimiento refractario, por ello los ensayo a la estabilidad de escorificación es fundamental.

Los factores que determinan un ataque de la escoria al revestimiento refractario son los siguientes:

- a) Composición de la escoria.
- b) Basicidad de la escoria.
- c) Contenido de FeO en la escoria.
- d) Cantidad de escoria y tiempo de residencia.
- e) Tensión superficial de la escoria.
- f) Mojado el revestimiento refractario por la escoria.
- g) Viscocidad de la escoria.
- h) Temperatura de la escoria.

2.12.- Prolongación del uso del revestimiento refractario en los Hornos de arco eléctrico.

La duración del revestimiento refractario depende, fundamentalmente de la atención que se le de a la construcción de este, influye en esto la calidad de los materiales utilizados, así como el tipo de acero que se funde, y la limpieza y calidad de los materiales de carga que se emplean.

Una cuestión fundamental para alargar la vida del refractario, es el cuidado y mantenimiento que se le dé a este durante su explotación.

El tiempo de duración de la solera puede ser mayor si su explotación es dentro de las normas de trabajo. A esto contribuye la limpieza adecuada con un rastrillo, después de cada colada, con el objetivo de eliminar los restos de metal y escoria.

La duración de las paredes y bóvedas dependen de los siguientes factores:

- a) Capacidad del horno.
- b) Régimen eléctrico de la colada.

- c) Tiempo del metal líquido en el horno.
- d) Composición química del acero que se funde.
- e) Composición de la escoria.
- f) Clase y calidad de los materiales refractarios.
- g) Mantenimiento del refractario.
- h) Clase de materiales de carga.
- i) Método de carga.

Además sobre la duración de las paredes y bóvedas influye la forma del cuerpo (carcaza) del horno, así como la relación entre las dimensiones de este y la zona de trabajo.

Cada horno debe tener establecido su régimen eléctrico y térmico. Con vista de aumentar la duración del revestimiento refractario deben tenerse en cuenta los aspectos siguientes:

- a) Al comenzar el período de reducción el metal no debe calentarse más de lo establecido, ya que las altas temperaturas influyen negativamente sobre el revestimiento refractario.
- b) A mayor cantidad de acero líquido derretido en el horno menor será la duración del revestimiento refractario.
- c) Las coladas de retorno aleado con oxidación, desgastan el revestimiento refractario y su régimen eléctrico es superior.
- d) Mientras más compleja es la composición química del acero, más aleaciones ferrosas hay que añadir y más tiempo estará la colada en el horno.
- e) Los aceros al Carbono con bajo contenido de este, son más difíciles de fundir.
- f) Cuando las escorias son muy líquidas (en el caso de hornos básicos, las que contienen mucho Silicio) irradian mayor calor sobre la bóveda y las paredes.

CAPITULO III



CAPITULO III: Cromita. Utilización de la Cromita como mezcla apisonable en el Horno de arco eléctrico (experimentos y resultados).

3.1.- Cromita. Características mineralógicas y aplicaciones.

La Cromita pertenece al grupo de las espinelas cromíferas ((Mg,Fe)(Cr,Al,Fe) $_2$ O $_4$). Todas las especies minerales pertenecientes a este grupo se encuentran en la naturaleza en iguales condiciones y se parecen tanto unas a las otras por los caracteres exteriores que prácticamente sin el análisis químico no se pueden distinguir las de diferente composición.

El contenido de Cr $_2$ O $_3$ en las espinelas cromíferas más comunes varía en intervalos bastantes amplios del 18-62 %, FeO del 0-18%, MgO del 6-16 %, Al $_2$ O $_3$ del 0-33 %, Fe $_2$ O $_3$ del 2-30 %. Además como mezcla isoforma se presentan a veces: TiO $_2$ (2 %), V $_2$ O $_3$ (0.2 %), MnO hasta 1 %, ZnO unos cuantos porcientos, NiO 0.1 %, y CoO 0.01%.

De acuerdo al uso que tiene la Cromita esta se divide en tres clases: 1) Metalúrgica (56 %), 2) Refractaria (33 %), 3) Química (11 %).

Las Cromitas son la única materia prima empleada para la obtención de ferrocromo, usado como adición en la producción de aceros especiales de alta calidad al Cromo y al Cromoniquel. El Cromo le da al acero las propiedades combinadas de gran dureza, gran tenacidad y resistencia a los ataques químicos, es el constituyente principal del acero inoxidable. Además, en la industria del metal tiene una enorme importancia el cromado, es decir el revestimiento con una delgada capa de cromo metálico de los distintos artículos del metal para evitar la corrosión (estos artículos pueden ser aparatos sanitarios, accesorios sanitarios, etc). El nicrom aleación de Cromo y Níquel se emplea en la elaboración de resistencias que son utilizadas en los aparatos de calefacción eléctrica. Cierta parte de las Cromitas tienen aplicación en la industria química, en la fabricación de preparados químicos (dicromatos). Las menas de baja calidad, pobres en Cr $_2$ O $_3$ y ricas en FeO y Fe $_2$ O $_3$ se emplean en la fabricación de ladrillos refractarios.

Las menas de los yacimientos de Cromo se consideran aquellas con un contenido de cromita en la mena (32-33 %) y la relación Cr $_2$ O $_3$:FeO $\leq$ 2.5. Las menas ricas en Cromo con un contenido de Cr $_2$ O $_3$ de más de 45 % y menos de un 5 % de ganga se someten solamente a la trituración y clasificación.

En las tablas N° 5 están expuestas las exigencias para las menas ricas en Cromo para la fabricación de refractarios y en la tabla N° 6 se encuentran las exigencias en cuanto a composición química de las menas de Cromo para ferroaleaciones y refractarios.

3.2.- Parte experimental y análisis de los resultados.

Para la realización de los experimentos se utilizo diferentes materiales, entre los cuales se encuentra la Cromita, esta es proveniente de la mena de las Merceditas en el municipio de Moa provincia de Holguín. La composición química de la misma se expone en la tabla Nº 7. Se Observa en esa tabla que el contenido de Cromita en la mena es de un 32.67 %, osea que se acerca bastante a la exigencia que requiere en cuanto a composición química a la Cromita refractaria (33 % de Cr_2O_3). También en la composición química de la mena entran a relucir otros elementos importantes como son la Magnesita (MgO) y la Alumina (Al_2O_3). La Magnesita es un elemento importante ya que los algunos materiales que vamos a utilizar en las diferentes mezclas como son PIMAG, SILIMAG y MAGSOL el elemento principal que los compone es la Magnesita, la cual esta en un 90.3, 96.52 y 86 % de contenido en cada uno de los materiales, respectivamente. La Alumina es otro elemento importante, pues es el elemento principal de los hormigones, materiales utilizados en la elaboración de otras mezclas.

En cuanto a la granulometría, se realizo análisis granulométrico a una muestra de mineral de Cromita y arrojó como resultado que un 85 % era menor de 2.5 mm y aproximadamente un 95 % menor de 5 mm, si se observa en la tabla Nº(9) la granulometría del PIMAG, SILIMAG y MAGSOL es de un 95 % < 5mm, (estos porcentajes de granulometría fueron hallados en folios), 86 % < 0.074 mm y 90 % < 5 mm respectivamente, osea que en cuanto a la granulometría son aproximadamente iguales.

3.2.1.- Análisis granulométrico de una muestra de mineral de Cr_2O_3 .

Para el análisis granulométrico se pesaron 5 Kg de mineral de Cromita, para obtener una muestra más homogenia en cuanto a su granulometría, se cogio mineral de diferentes partes del monton. La muestra de 5 Kg se dividió en 10 partes para su mejor estudio, se utilizo el método de muestreo por cuartones, el peso de cada muestra son de 0.5 Kg.

Cada muestra por separado se deposito en un juego de tamices de 2.5, 1.25, 1.0, 0.4, 0.1, 0.08 y 0, el cual estaba colocado en un vibrador. Cada muestra se mantuvo en el vibrador un tiempo de 1-2 h. Despues cada material que quedo sobre cada tamiz se peso. Al final hallamos un promedio de peso de cada clase de tamaño y se calculo el porcentaje que representaba. Los resultados se muestran en la tabla Nº 8 (Análisis granulométrico de una muestra de mineral de Cromita.)

Con el mineral de Cromita y los diferentes materiales refractarios se prepararon las diferentes mezclas. A continua-

ción le damos una breve explicación de como se procedio en la preparación de cada una de ellas.

3.2.2.- Preparación de las mezclas Cromita-material refractario.

Las principales propiedades de los materiales refractarios utilizados en la preparación de las mezclas se exponen en la tabla Nº 9.

3.2.2.1.- Mezcla Cromita-PIMAG (CROMPIMAG).

Se pesaron proporciones iguales de mineral de Cromita y PIMAG, se mezclaron, formando una mezcla de 50 % de cada material, se homogenizo y se le añadió agua en un 5 % en peso. Al mezclar y homogenizar se formo una masa con la cual se elaboraron una especie de pellett (bolas), las cuales dejamos fraguar a temperatura ambiente, después fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 300 °C. Al sacar los pellett de la estufa se observó y comprobó que presentaban más dureza y no presentaban ningún agrietamiento.

Además con la mezcla se revistio una parte de la piquera donde se pudo comprobar que la mezcla resistia el calor y la erosión del metal líquido.

3.2.2.2.- Mezcla Cromita-SILIMAG (CROMSILIMAG).

En esta mezcla se pesaron proporciones de Cromita y SILIMAG y se mezclaron formandose una mezcla de 70 y 30 % respectivamente, se homogenizo y se le añadió agua en un 3 % en peso, mezclaron y se formo una masa con la cual se hicieron unas especies de pellett (bolas) los cuales se dejaron fraguar a temperatura ambiente y luego se colocaron en una estufa a una temperatura de 300 °C. Al sacar los pellett de la estufa se observo y comprobe que habían adquirido más dureza y no presentaban agrietamiento alguno.

También esta mezcla fue probada en una parte pequeña de la piquera con resultados satisfactorios

3.2.2.3.- Mezcla Cromita-Hormigón (CROMC-29, CROMC-24, CROMC-50, CROMC-150, CROMVULKEM-160).

De la misma forma que se procedio con las mezclas CROMPIMAG y CROMSILIMAG, se procedio con las mezclas CROMC-29, CROMC-24, CROMC-50, CROMC-150, CROMVULKEM-160. Las proporciones utilizadas fueron de un 50 % de hormigón y 50 % de Cromita.

Se concluye en esta parte que las mezclas preparadas cumplen con los requerimientos de aglutinarse, resisten el calor y la erosión del metal líquido.

3.2.2.4.- Mezcla Cromita-MAGSOL (CROMMAGSOL).

Esta mezcla fue preparada con el apisonable que se utiliza en la solera del horno del horno de arco eléctrico y el mineral de Cromita. Se pesaron proporciones de estos materiales con un 30 % en peso de Cromita y 70 % de MAGSOL. La mezcla se homogenizó y se depositó en recipientes con la misma forma del crisol del horno y se sometió a un apisonado para comprobar la compactación de la misma. Después de apisonar bien la mezcla y obtener una buena compactación calentamos lentamente la mezcla hasta una temperatura en que se podía verter el metal líquido, el cual con ayuda de un cucharón, se sacó del horno. De esta manera se puede concluir que la mezcla CROMMAGSOL logra una buena compactación es resistente al calor y a la erosión del metal líquido.

3.2.3.- Cálculo económico.

Este cálculo está basado en la comparación entre los costos de los materiales refractarios utilizados en el revestimiento del horno de arco eléctrico y los costos de las cantidades utilizadas en la preparación de las mezclas Cromita-material refractario, tomando como base los índices de consumo de cada material.

3.2.3.1.- Metodología de cálculo.

- 1.- El consumo de cada material al año se calcula multiplicando el índice de consumo de cada material por la productividad de la fábrica (100 000 t/año).

$$\begin{array}{rcl} \text{CONSUMO DE MATERIAL REFRACTARIO} & \text{INDICE DE CONSUMO DE CADA MATERIAL REFRACTARIO (Kg/t. AC. INOX.)} & \text{PRODUCTIVIDAD DE LA FABRICA} \\ \text{(t/año)} & \text{1000} & \text{(100 000 t/año).} \\ \text{=====} & \text{*} & \end{array}$$

- 2.- El costo al año de cada material se calcula multiplicando el consumo de material refractario (t/año) por el precio por tonelada de cada material (USD/t).

$$\begin{array}{lcl} \text{COSTO DE} & & \text{CONSUMO DE} & & \text{PRECIO DE} \\ \text{MATERIAL} & & \text{MATERIAL} & & \text{MATERIAL} \\ \text{REFRACTARIO} = & & \text{REFRACTARIO} * & & \text{REFRACTARIO} \\ (\text{USD/año}) & & (\text{t/año}). & & (\text{USD/t}) \end{array}$$

- 3.- El costo total de materiales refractarios se calcula con la sumatoria de cada costo de material refractario.

$$\begin{array}{lcl} \text{COSTO TOTAL} & & \text{COSTO DE} \\ \text{DE MATERIAL} & & \text{MATERIAL} \\ \text{REFRACTARIO} = & \left[\begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array} \right. & \text{REFRACTARIO} \\ ((\text{USD/año}) & & (\text{USD/año}) \end{array}$$

- 4.- El consumo de material refractario utilizado en la mezcla se calcula multiplicando el consumo de material refractario por el porcentaje de material refractario utilizado en la muestra.

$$\begin{array}{lcl} \text{CONSUMO DE} & & \text{CONSUMO DE} & & \% \text{ DE MATERIAL} \\ \text{MATERIAL} & & \text{MATERIAL} & & \text{REFRACTARIO} \\ \text{REFRACTARIO} = & & \text{REFRACTARIO} * & & \text{UTILIZADO} \\ \text{UTILIZADO} & & (\text{t/año}) & & \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{EN LA MEZCLA} & & & & \hline (\text{t/año}) & & & & 100 \end{array}$$

- 5.- El costo de material refractario utilizado en la mezcla se calcula multiplicando el consumo de material refractario utilizado en la mezcla.

$$\begin{array}{lcl} \text{COSTO DE} & & \text{CONSUMO DE} & & \text{PRECIO DE} \\ \text{MATERIAL} & & \text{MATERIAL} & & \text{MATERIAL} \\ \text{REFRACTARIO} = & & \text{REFRACTARIO} * & & \text{REFRACTARIO} \\ \text{UTILIZADO} & & \text{UTILIZADO} & & (\text{USD/t}) \\ \text{EN LA MEZCLA} & & \text{EN LA MEZCLA} & & \\ (\text{USD/año}) & & (\text{t/año}) & & \end{array}$$

- 6.- El costo total de material refractario utilizado en la mezcla se calcula con la sumatoria de cada uno de los costo de material refractario utilizado en la mezcla.

$$\begin{array}{lcl} \text{COSTO TOTAL} & & \text{COSTO DE} \\ \text{DE MATERIAL} & & \text{MATERIAL} \\ \text{REFRACTARIO} = & \left[\begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array} \right. & \text{REFRACTARIO} \\ \text{UTILIZADO} & & \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} & & \text{EN LA MEZCLA} \\ (\text{USD/año}) & & (\text{USD/año}) \end{array}$$

- 7.- El consumo de Cromita utilizada en la mezcla se calcula restando el consumo de material refractario menos el consumo de material refractario utilizado en la mezcla, lo que representa el porcentaje de Cromita en la mezcla.

$$\begin{array}{l} \text{CONSUMO DE} \\ \text{CROMITA} \\ \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{(t/año)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{CONSUMO DE} \\ \text{MATERIAL} \\ \text{REFRACTARIO} \\ \text{(t/año)} \end{array} - \begin{array}{l} \text{CONSUMO DE} \\ \text{MATERIAL} \\ \text{REFRACTARIO} \\ \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{(t/año)} \end{array}$$

- 8.- El costo de Cromita utilizada en la mezcla se calcula multiplicando el consumo de Cromita utilizada en la mezcla por el precio de Cromita (60 USD/t).

$$\begin{array}{l} \text{COSTO DE} \\ \text{CROMITA} \\ \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{(USD/año)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{CONSUMO DE} \\ \text{CROMITA} \\ \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{(t/año)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{PRECIO DE} \\ \text{CROMITA} \\ \text{(60 (USD/t))} \end{array}$$

- 9.- El costo total de Cromita utilizada en la mezcla se calcula como la sumatoria de cada uno de los costo de Cromita utilizada en la mezcla.

$$\begin{array}{l} \text{COSTO TOTAL} \\ \text{DE CROMITA} \\ \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{((USD/año))} \end{array} = \left\{ \begin{array}{l} \text{COSTO DE} \\ \text{CROMITA} \\ \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{(USD/año)} \end{array} \right.$$

- 10.- El costo de cada mezcla se calcula sumando el costo de material refractario utilizado en la mezcla más el costo de la Cromita utilizada en la muestra

$$\begin{array}{l} \text{COSTO DE} \\ \text{CADA} \\ \text{MEZCLA} \\ \text{(USD/año)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{COSTO DE} \\ \text{MATERIAL} \\ \text{REFRACTARIO} \\ \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{(USD/año)} \end{array} + \begin{array}{l} \text{COSTO DE} \\ \text{CROMITA} \\ \text{UTILIZADO} \\ \text{EN LA MEZCLA} \\ \text{(USD/año)} \end{array}$$

- 11.- El costo total de todos los materiales utilizado en la mezcla se calcula como la sumatoria del costo de cada una de las mezclas.

$$\begin{array}{l} \text{COSTO TOTAL} \\ \text{DE LAS} \\ \text{MEZCLA} \\ \text{((USD/año))} \end{array} = \left\{ \begin{array}{l} \text{COSTO DE} \\ \text{CADA} \\ \text{MEZCLA} \\ \text{(USD/año)} \end{array} \right.$$

12.- El ahorro que aportaría cada mezcla se calcula restando el costo del material refractario menos el costo de la mezcla.

$$\begin{array}{rcl} \text{AHORRO} & = & \text{COSTO DE MATERIAL REFRACTARIO} - \text{COSTO DE MATERIAL REFRACTARIO UTILIZADO EN LA MEZCLA} \\ (\text{USD/año}) & & (\text{USD/año}) \quad (\text{USD/año}) \end{array}$$

13.- El ahorro total se calcula restando el costo total de material menos el costo total de materiales utilizados en la mezcla.

$$\begin{array}{rcl} \text{AHORRO TOTAL} & = & \text{COSTO TOTAL DE MATERIAL REFRACTARIO} - \text{COSTO TOTAL DE MATERIALES UTILIZADOS EN LAS MEZCLAS} \\ (\text{USD/año}) & & (\text{USD/año}) \quad (\text{USD/año}) \end{array}$$

Los datos y resultados del cálculo económico se exponen en la tabla Nº 10

3.2.4.- Análisis de los resultados.

Al hacer un análisis de los resultados obtenidos se demuestra la ventaja de la utilización del mineral de Cromita para la sustitución de las mezclas refractarias. El mineral de Cromita es una materia prima abundante en nuestro país y se adquiere a un precio mucho menor que los materiales refractarios. Los materiales refractarios se adquieren a un precio elevado en el mercado mundial, con la utilización del mineral de Cromita se ahorraría en divisas.

3.2.5.- Valoración económica.

Está fundamentada a partir del análisis de la tabla de resultados del cálculo económico (Tabla Nº 10)

Los materiales refractarios al ser sustituidos por un porcentaje de mineral de Cromita trae consigo la disminución del consumo de estos y por tanto el costo al año de los mismos disminuye trayendo un ahorro considerable de divisas.

La sustitución de los materiales refractarios por una mezcla de ellos con mineral de Cromita trae un ahorro 343 684 USD/año a la empresa ACINOX S.A. Tunas.

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

Partiendo del análisis de los resultados se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- 1^{ro}- Es posible la sustitución de los materiales refractarios (mezclas apisonables o masas refractarias) utilizados en el revestimiento refractario del horno de arco eléctrico y otros agregados de la producción; por la mezcla de estos con mineral de Cromita.
- 2^{do}- Las mezclas Cromita-material refractario cumplen los requerimientos físicos-químicos necesarios para su utilización como mezclas refractarias en los distintos agregados de la producción en la empresa ACINOX S.A. Tunas.
- 3^{ro}- La sustitución de los materiales refractarios por una mezcla de estos con Cromita aportaría un ahorro en divisas de 343 684 USD/año a la empresa ACINOX S.A. Tunas.

RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir los estudios de la sustitución de los materiales refractarios (mezclas refractarias) por Cromita.
- Buscar proporciones Cromita-material refractario que disminuya el consumo de los materiales refractarios.
- Seguir la búsqueda de un ligante para el mineral de Cromita con el objetivo de la sustitución completa de los materiales refractarios (mezclas refractarias) utilizados en el proceso tecnológico de la empresa ACINOX S.A. Tunas.

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

- 1.- Catálogo general: Comercial de refractarios S.A., bajo licencia de K.T.R.; Kyushū refractories Co., Ltd.
- 2.- Guliáev, A.P.: Metalografía._ tomo II._ Edit MIR Moscu._ 1978.
- 3.- Kudrin, V.A.: Metalurgia del acero._ Edit MIR Moscu._ 1984.
- 4.- Manual de mineralogia de Dana
- 5.- Piderit, G.: Elementos de materiales refractarios._ Universidad catolica de Chile._ 1985.
- 6.- Ricardo A. y R. Velázquez: Elementos de metalurgia._ Edit. Pueblo y Educación._ 1988.
- 7.- Rodríguez Vilomara, G.: Tecnología de elaboración de aceros inoxidables._ Edición provicional._ 1989.
- 8.- Santander, N.: Teoría de los materiales refractarios._ Instituto universitario politécnico experimental de Guyana, Venezuela._ 1971.
- 9.- Torres Triana, A.: Tecnología de los refractarios._ Edit. Ciencia y técnica._ Instituto cubano del libro._ La Habana._ 1971.

ANEXOS



Tabla NO 1: Propiedades químicas de los metales refractarios.

Metal	Símbolo	Grupo	Nº Atómico	Peso atómico
Vanadio	V	V t	23	50.95
Volframio	W	VI t	74	183.92
Hafnio	Hf	IV t	72	178.60
Molibdeno	Mo	VI t	42	95.95
Niobio	Nb	V t	41	92.91
Renio	Re	VII t	75	186.31
Tantalio	Ta	V t	73	180.88
Tecnecio	Tc	VII t	43	99.00
Titanio	Ti	IV t	22	47.90
Cromo	Cr	VI t	24	52.01
Circonio	Zr	IV t	40	91.22

t- transición

Tabla Nº 2: Propiedades físicas de los metales refractarios.

Metal	Temperatura (°C)			Estruc- tura	Densidad g cm ³	Conductividad térmica cal cm·grad·s	Coeficiente de dilata- lineal (a 20°C) 10 ⁻⁶ grad
	de re- crista.	de fusión	de ebulli-				
Volframio	1500	3410	6700	C8	19.3	0.48	4.5
Renio	1800	3170	5630	H12	21.0	0.17	6.7
Tantalio	1000	2996	6100	C8	16.6	0.13	6.6
Molibdeno	1000	2625	4800	C8	10.2	0.35	5.4
Niobio	1100	2415	3300	C8	8.56	0.12	7.1
Hafmio	—	1975	5400	H12 C8	13.36	0.053	6.0
Vanadio	—	1900	3350	C8	6.11	0.074	9.7
Cromo	800	1890	2469	C8	7.2	0.16	6.2
Circonio	—	1855	3577	H12 C8	6.0	0.04	5.8

Tabla N° 3: Propiedades físico-químicas de los materiales refractarios utilizados en el revestimiento del Horno de arco eléctrico.

Material	Peso volúmico (kg/cm³)	Resistencia (K)	Resistencia a la compresión (Kg/cm²)	Temperatura comienzo de la deformación con carga de 2' W/cm² (K)	Temperatura máxima de trabajo (K)	Conductividad térmica $\left[\frac{J}{m \cdot h \cdot grad} \right]$	Estabilidad térmica	Peso específico (g/cm³)	Composición química (%)					
									SiO₂	CoO	MnO	Al₂O₃	Fe₂O₃	Cr₂O₃
Ladrillo blanco	1.8-1.95	1953	300	1823	1973	0.9-1.2 · 10⁴	Buena hasta 573 K	2.54-2.38	83-86	2.8		1.5-1.8		
Magnesita en polvo	-	2273-3073	400-550	1773-1873	1973-2123	-	-	3-3.8	4-8	4-6	85-93			
Ladrillo Magnesita	2.7	2273	400-500	1773	1873	1.3-1.6 · 10⁴	insuficiente	3-3.2	5	3	90			
Ladrillo Magnesita refractario sintético	2.8	3073	400-550	1923-1873	2123	-	satisfactoria	3.5-3.6	4	4	86-90			
Ladrillo refractario de Cromo magnesita	2.8	2273	400	1723	2023	-	satisfactoria	3.5-3.0			42			15
Ladrillo refractario sintético de Magnesita refractaria	2.8	2323	400	1773	2083	3.4-3.5 · 10⁴ hasta 873 K	bueno	3.5-3.6			57			8
Ladrillo refractario sintético de Cromo magnesita	2.8	2253	400	1743	2053		satisfactoria	3.5-3.6			38			20
Solomita solubilizada	2.56	2003	508	1873	1973	2.8 · 10⁶	baja	-	3	48-52	35-39	2	7-9	
Ladrillo refractario	1.8-1.9	1953-2003	200	1573-1673	1673	0.8-1.1 · 10⁴	bueno	2.5-2.6	20			40		

Tabla Nº 4: Propiedades físicas de los materiales aislantes utilizados en el revestimiento del Horno de arco eléctrico.

Material	Peso volumétrico (g/cm ³)	Conductividad térmica (J/m·s·grado)	Temperatura máxima de trabajo (K)	Resistencia a la com- presión Kg/cm ²
Chamota ligera	0.05	$0.36+2 \cdot 10^4$	1583- 1623	10- 30
Chamota ultrali-	0.60	$0.14+0.13 \cdot 10^4$	1583- 1623	10 30
Dina ligera	0.4- 0.6	—	1573- 1823	25- 200
Ladrillo diatomita	0.6	$0.19+0.27 \cdot 10^4$	1173	—
Diatomita en polvo	0.55	$1.49+0.21 \cdot 10^4$	1173	—
Plancha de asbesto	0.9	$0.21-0.15 \cdot 10^4$	773	—
Plancha de asbesto cemento	0.3	$0.09-0.15 \cdot 10^4$	773	—
Lana de escoria	0.3	$0.09+0.13 \cdot 10^4$	873	—

Tabla Nº 5: Requisitos, en cuanto a composición química, de las menas de Cromo utilizadas en la fabricación de ladrillos refractarios.

Composición química (%) de menas de Cromo utilizadas en la fabricación de ladrillos refractarios.						
Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	P	S	Humedad (%)
47-50	6.5-8	14	1-1.3	—	—	4

Tabla Nº 6: Requisitos, en cuanto a composición química de las menas de Cromo para la fabricación de refractarios y aleaciones.

Composición química (%)				Relación Cr ₂ O ₃ /FeO	Tamaño (mm)
Cr ₂ O ₃	SiO ₂	S	CaO		
48-50	7-8	0.05	0.005	3.5-3.6	3-100

Tabla Nº 7: Composición química de la mineral de Cromita procedente de la mena Las Merceditas en el municipio de Moa provincia Holguín.

Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	V ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MnO
32.68	18.26	27.20	14.96	0.12	3.94	0.25	0.25	0.2

Tabla Nº 8: Análisis granulométrico de una muestra de mineral de cromita.

Nº de Muestra	Peso (g) por clase de tamaño (mm)							
	0-0.080	+0.08-0.1	+0.1-0.4	+0.4-1.0	+1.0-1.25	+1.25-2.5	+2.5	TOTAL
1	11.29	15.23	269.25	75.49	8.55	36.73	82.76	500
2	12.13	14.77	270.78	73.28	8.36	38.49	82.19	500
3	10.09	16.64	271.24	67.20	9.02	41.71	84.10	500
4	10.23	13.11	270.15	73.36	8.81	40.85	83.49	500
5	11.78	14.29	271.21	71.54	8.53	41.94	80.71	500
6	9.98	15.38	274.30	72.43	8.42	39.56	79.93	500
7	13.02	12.41	268.55	75.40	8.80	38.97	82.85	500
8	10.20	14.37	268.82	74.68	9.10	41.18	81.65	500
9	12.53	13.99	272.28	69.34	8.93	42.50	80.43	500
10	11.54	15.43	271.31	71.56	8.69	39.11	82.36	500
TOTAL(g)	112.79	145.62	2708.59	724.28	87.21	401.04	820.47	5000
PROMED.	11.279	14.562	270.859	72.428	8.721	40.104	82.047	500
TOTAL(%)	2.25	2.91	54.17	14.49	1.74	8.02	16.41	100

Tabla Nº 9: Propiedades físico-químicas de los materiales refractarios utilizados en la preparación de las mezclas.

Material	Composición química (%)						Granulometría	Densidad (g/cm ³)	Refractariedad (K)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃				
PIMAG 90	4.23		90.3		1.52	1.52	95 %<5 mm	2.65		509
SILIMAG-S	0.6		96.52		0.35		86 %<0.076mm			
MAGSOL 39	3.5		84		0.35		90 %<5 mm			
C-28	44			46	1.3				1680	400
C-29	42			52	1				1700	400
C-50	0.4			96	0.2				1900	500
C-150	30			65	0.9				1750	420
VULKEM160	36			62	1.3				1840	450

Tabla N° 10: Datos y resultados del cálculo económico.

Material	Precio (USD/t)	Índice de consumo (Kg/t)	Consumo (t/año)	Costo (USD/año)	utilizado en la mezcla		Cr ₂ O ₃ utilizada en la mezcla			Costo de la mezcla (USD/año)	Ahorro (USD/año)
					Consumo (t/año)	Costo (USD/año)	Precio (USD/t)	Consumo (t/año)	Costo (USD/año)		
PIHAG 90	443	1.5	150	66 450	75	33 225	60	75	4 500	37 725	28 725
SILIMAG-S	450	1	100	45 000	30	13 500		70	4 200	17 700	27 300
MAGSOL 39	580	4	400	232 000	280	162 400		120	7 200	169 600	62 400
C-28	581	0.5	50	29 050	25	14 525		25	1 500	16 025	13 025
C-29	582	0.44	44	25 608	22	12 804		22	1 320	14 124	11 484
C-50	1480	1.15	115	170 200	57.5	85 100		57.5	3 450	88 550	81 650
C-150	600	0.5	50	30 000	25	15 000		25	1 500	16 500	13 500
VULKEM 160	412	6	600	247 200	300	123 600		300	18 000	141 600	105 600
TOTAL			1 509	845 508	814.5	460 154		694.5	41 670	501 824	343 684

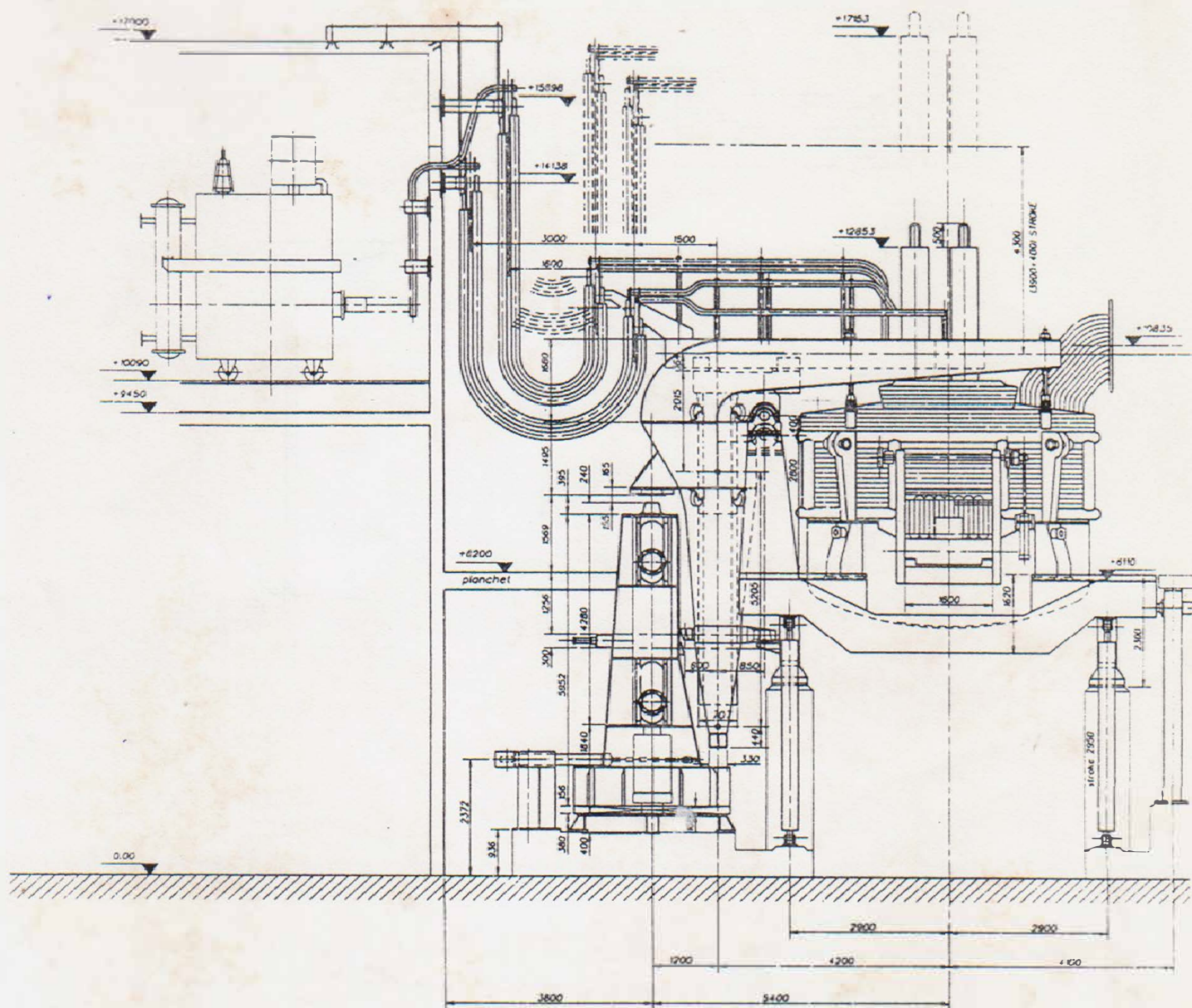


Fig. 2 Horne de Arco Eléctrico

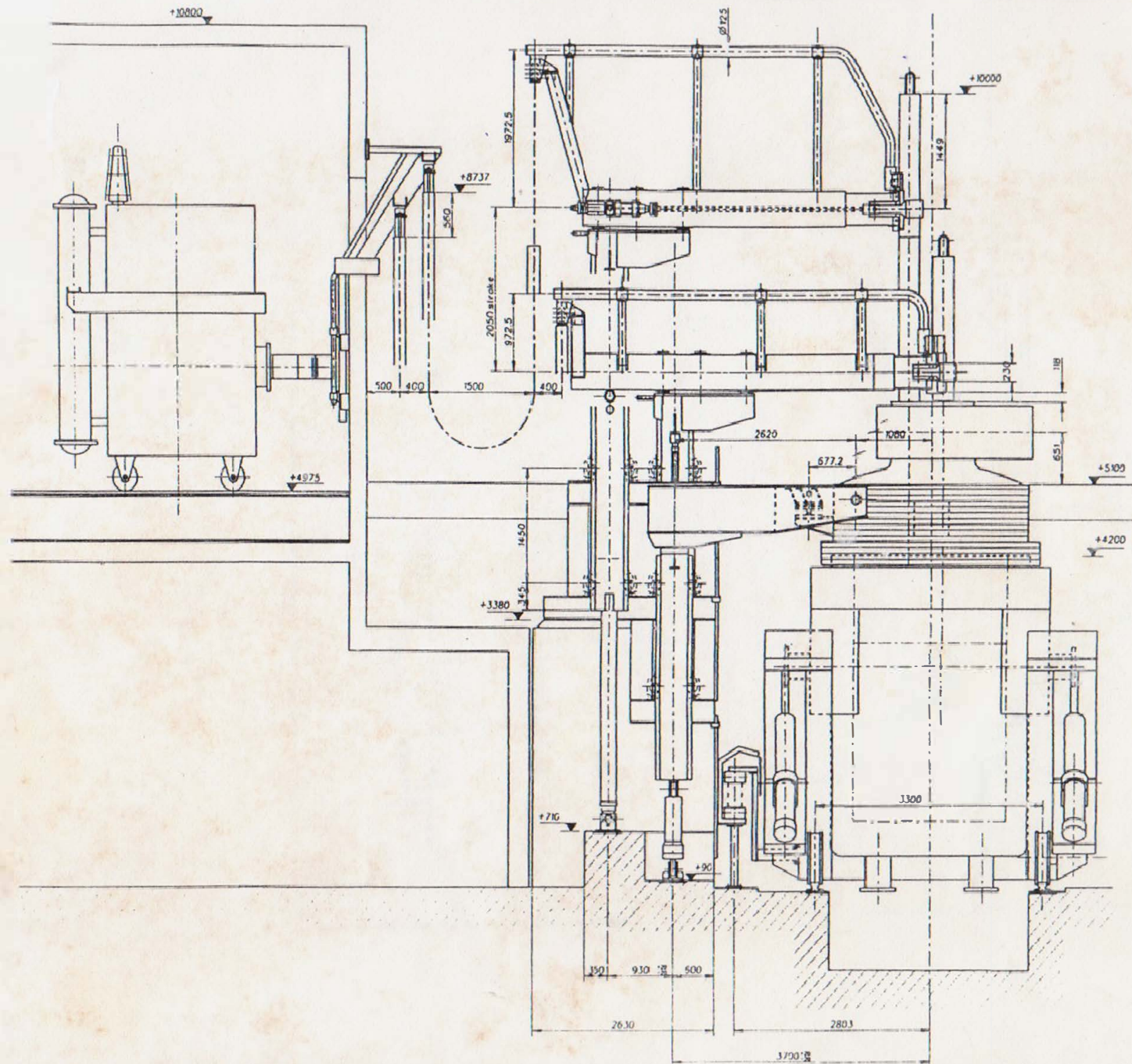
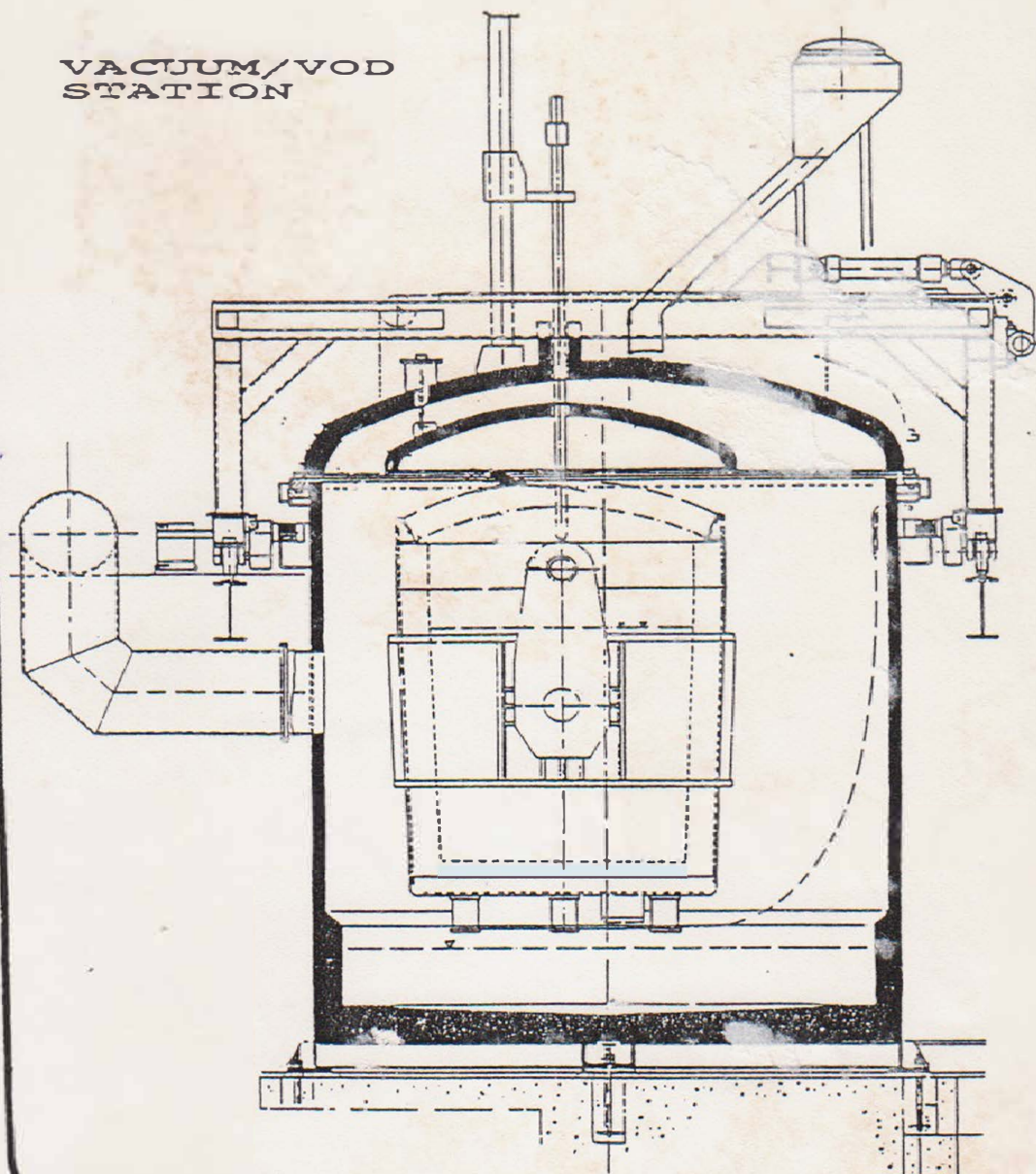


Fig. 3 Horno Cuchara

VACUUM/VOD
STATION



4273 - VOHSD

Fig. 4 VOHSD