

REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
MOA - HOLGUIN

===== * * * * =====

TRABAJO DE DIPLOMA

===== * * * * =====

Titulo: Investigación del Proceso de Formación
excesiva de Escoria Viscosa del Ni-Si'nter
en el Horno de Arco Eléctrico.

Tutor:

Ing. Adriano Olivero Sartate

Diplomantes:

Odalis Coirac Martinez

Antonia M. Cabrera Hernandez

1994

Año 36 de la Revolución

===== * * =====



0.0300
11.11.94
Bryt

Pensamiento

PENSAMIENTO.

"En vano concede la naturaleza a algunos de sus hijos cualidades privilegiadas; porque serán polvo y azote si no le hacen carne de su pueblo, mientras que si van con él y le sirven de brazo y de voz por él se verán encumbrados como las flores que lleva en su cima la montaña."

José Martí.

Dedicatoria

DEDICATORIA.

Dedicamos este trabajo a nuestras madres que sus esfuerzos han hecho posible nuestra formación integral para la vida.

A mi bebé de 5 meses: mi pequeña Marien.

A nuestras hermanas (especialmente Marilú) que tanto nos ayudaron desde los primeros años de nuestra carrera.

A Yaneris por brindarme Luz y Esperanza.

Agradecimientos

AGRADECIMIENTO.

A todos los que con su ayuda desinteresada han hecho posible la realización del mismo.

A los fundidores del Taller 08 por sus informaciones y en especial a nuestro tutor Ing. Atilano Oliveros que nos guió en el desarrollo de esta investigación.

A los compañeros Martín Céspedes Hechavarria y Juan Carlos Calzadilla Laurencio que contribuyeron a la culminación del presente Trabajo de Diploma.

A la Revolución que gracias a ella hemos podido culminar nuestros estudios universitarios.

Objetivo

OBJETIVO

Tratar de eliminar la formación excesiva de escoria, hacerla más fluida para aprovechar más la capacidad útil de trabajo del Horno.

Resumen

RESUMEN

Este trabajo de Diploma se basa en el estudio teórico y práctico de la influencia de la escoria viscosa en la obtención del acero 40X24H12.

Para desarrollar esta investigación nos apoyamos en el trabajo práctico en el Horno, conociendo la composición química del Niquel-Sinter y los posibles óxidos a formarse y cambiando la introducción del Niquel-Sinter con la carga y añadiéndolo al final, disminuyendo con ello el tiempo de fusión y la posibilidad de formarse nuevos óxidos al reaccionar estos con el revestimiento refractario.

En las 5 coladas que se realizaron en el Horno de Arco Eléctrico de la Empresa Mecánica del Niquel los resultados fueron satisfactorios y desde entonces se emplea este método; el anterior formaba una escoria casi imposible de extraer del Horno debido a que el Niquel-Sinter contiene un 22% de impurezas que se pegaba en las diferentes zonas del Horno así como obstruía el orificio de salida del metal.

INDICE.

Pág.

1.- Introducción	
2.- Capítulo I. Escoria	
1.1.- Generalidades de la escoria	
1.2.- Estructura y propiedades de la escoria	
1.3.- Papel de la escoria	
3.- Capítulo II. Horno de Arco Eléctrico	
2.1.- Construcción del horno de arco eléctrico. //	
Partes fundamentales	
2.2.- Revestimiento del horno	
2.3.- Principio de funcionamiento	
4.- Capítulo III. Cálculo de los Elementos de la Carga	
3.1.- Metodología para el cálculo de la carga	
3.2.- Cálculos de los elementos de carga	
3.3.- Orden de introducción de los elementos de la carga	
5.- Capítulo IV. Comportamiento de la Escoria Viscosa con el Niquel - Sinter	
6.- Capítulo V. Valoración Económica	
5.1.- Índices técnicos-económicos	
5.2.- Medidas de protección e higiene del trabajo	
7.- Conclusiones	
8.- Recomendaciones	
9.- Bibliografía	
10.- Anexos	

INTRODUCCION.

El desarrollo de la producción de aceros inoxidables en Cuba, País rico en una de sus principales materias primas de elaboración, el Níquel, representa uno de sus lineamientos económicos perspectivas más importantes.

En los lineamientos económicos y sociales aprobados durante el Tercer Congreso del Partido plantean "Continuar las investigaciones y demás trabajos necesarios para el desarrollo de la Siderurgia de la zona oriental y para la producción de ferro-cromo.

El Combinado Mecánico del Níquel se pone en marcha a partir del año 1987, está situado aproximadamente a 4 Km al Oeste de la Fábrica existente "Comandante Pedro Sotfo Alba" de Moa.

Está destinada para:

- Producción de las piezas de respuestos que satisfagan una parte importante:
 - a) De la Fábrica de Níquel "Comandante René Ramos Latour" de Nicaro.
 - b) De la Fábrica de Níquel "Comandante Pedro Sotfo Alba" de Moa.
 - c) De la Fábrica de Níquel "Comandante Ernesto Guevara" de Moa.
- Ejecución de las reparaciones generales de los siguientes tipos de equipos de las Fábricas antes mencionadas:
 - a) Agregados de las excavadoras, tractores, grúas, etc.
 - b) Equipos ligeros automotores, sus motores y otros de sus agregados principales.

c) Equipos eléctricos (motores eléctricos, transformadores, generadores).

El Combinado Mecánico del Níquel está integrado por los siguientes Talleres:

- Taller de Forjados con su Secc. de Tratamiento térmico.
- Taller de Reparaciones de los equipos de Minería.
- Taller de Construcciones Mecánicas con su Secc. de Pailería.
- Taller de Reparaciones de mediana y gran capacidad.
- Taller de Reparaciones de los Equipos Automotores ligeros.
- Taller de Fundición.

El Taller de Fundición cuenta con 6 áreas:

- Área de preparación de mezcla
- Área de moldeo.
- Área de desmoldeo.
- Área de fusión.
- Área de carga.
- Área de limpieza.

Este Taller está destinado para la producción de piezas de aceros, hierro fundido, metales no ferrosos para las necesidades de reparación y mantenimiento de las Fábricas de Níquel. Cuenta con Hornos de Inducción y Arco Eléctrico para la fundición de acero.

En el Horno de Inducción el calor aparece a consecuencia de la inducción electromagnética de las líneas magnéticas de corriente producida por el enrollado que envuelve la carga, este enrollado (primario) forma al rededor de la carga metálica

Capitulo I

(secundario) una fuerza electromotriz inducida que es capaz de calentar el metal hasta su fusión.

En el Horno de Arco Eléctrico (donde realizamos nuestro trabajo) la energía calorífica se obtiene al producirse entre el conductor de corriente y la carga metálica un arco eléctrico; el calor desprendido por el corto circuito que se produce entre estos permite calentar el Horno y llevar los materiales de carga hasta su fusión.

Capítulo I- Escoria.

1.1- Generalidades sobre la escoria.

La escoria no es más que una aleación de óxidos que se forma durante los procesos de fusión de menas y concentrados a partir de los óxidos componentes de la carga, en ella tiene lugar una serie de transformaciones físico-químicas que son decisivas para la obtención del producto. Este conjunto de óxidos que se saca del proceso es un buen protector del metal y de la mata y en los hornos eléctricos sirve como resistencia eléctrica para garantizar el trabajo del horno.

1.2- Estructuras y propiedades de la escoria.

La utilización de la escoria en el proceso de fundición garantiza una elevada calidad de los aceros y un aumento de los índices técnicos - económicos de los equipos usados, de ahí que se dice que debajo de una buena escoria hay un buen metal.

Generalmente las escorias van a estar compuestas por óxidos ácidos, básicos y anfóteros así como sulfuros. Entre los óxidos básicos los más importantes son:

CaO , MgO , MnO , FeO .

Entre los ácidos el SiO_2 , P_2O_5 , TiO_2 y V_2O_5 .

Entre los anfóteros la Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , CaS , MnS y FeS .

En dependencia de la concentración de CaO y SiO_2 las escorias se dividen en básicas y ácidas. Cuando el contenido de $\text{SiO}_2 < 30\%$ y gran cantidad de CaO , la escoria es básica, por el contrario cuando el contenido de $\text{SiO}_2 > 40\%$ y poco CaO , la escoria es ácida.

La escoria básica se forma en los procesos básicos y la ácida en los procesos ácidos.

Para un mejor estudio de la escoria, se han analizado tanto en estado líquido como en sólido; el análisis de la escoria sólida para la producción de aceros se ha hecho fundamentalmente en la escoria básica.

En la escoria básica cristalizada se distinguen los siguientes compuestos:

1 Grupo: Los silicatos $(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) - (\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$
 $(2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2) - (2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2) - (2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2)$
 $(\text{MgO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$

2 Grupo: Las ferritas $(\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) - (\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3) (\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$
 $(\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$

3 Grupo: Los óxidos libres (CaO , FeO , MnO , MgO)

4 Grupo: Los sulfuros (CaS , MnS , FeS , MgS)

La variación de las estructuras de la escoria según su composición química se puede analizar a través del diagrama de BISCHER. ver fig. 1.

Zona I - En esta zona se cristalizan los silicatos de Fe y $Mn(FeO.SiO_2)$ ($2 Mn.SiO_2$), parcialmente el de calcio ($2CaO.SiO_2$) y en pequeña cantidad la solución de CaO y FeO libres.

Zona II - En esta zona se cristalizan los octosilicatos de calcio, la disolución de CaO y FeO y todas las del grupo de las ferritas.

Zona III- En esta zona se cristalizan los silicatos de calcio, manganeso y hierro, con predominio de los silicatos de hierro y también ferritas de calcio, disoluciones de $FeO + CaO$, principalmente CaO y Sulfuros en forma de mezclas y cristales independientes.

Composición de la escoria líquida:

La composición química de la escoria sólida facilita datos que son insuficientes para analizar la escoria líquida. Los compuestos que observamos en la escoria sólida se desintegran y disocian en la escoria líquida.

La solidez de las uniones químicas en estado fundido se pueden valorar mediante los diagramas binarios y ternarios del sistema.

El diagrama de estado facilita la respuesta a las siguientes cuestiones:

a) Las uniones que pueden haber entre los componentes de la

masa fundida.

b) ¿Qué concentración se necesita para cristalizar una u otra unión en la masa fundida?

c) La composición de la masa fundida a la temperatura de fusión de las combinaciones de un sistema dado; cuanto mayor sea la temperatura de fusión de una determinada unión química, tanto más resistente será esta unión.

En la figura # 2 se muestra un diagrama de estado del sistema ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$).

Donde a la combinación $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ corresponde un máximo agudo. Esta combinación se funde, en casi todos los casos se disocia antes de llegar a estado líquido, lo que es insignificante en relación con su temperatura de fusión.

A la combinación $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ corresponde un máximo redondo lo que nos indica que al pasar al estado líquido esta combinación se disocia fuertemente. A las combinaciones

$(3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2)$ ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) pertenece un máximo cerrado.

Estas combinaciones se destruyen por completo aún en estado sólido y antes de su punto de fusión, cada uno de los componentes de dicha combinación tienen poca influencia sobre la actividad del otro.

Este diagrama nos muestra que todas las escorias de calcio-silicio son relativamente poco fusible, incluso la eutéctica $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ y $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$ se funde a unos 1693°C.

Propiedades de la escoria.

Las propiedades físicas de la escoria se determinan por su composición y temperatura, los componentes básicos de la escoria tienen la densidad siguiente en g/cm^3 a temperatura ambiente:

$\text{SiO}_2 = 2,26$ $\text{CaO} = 3,4$ $\text{MgO} = 3,65$

$\text{MnO} = 4,5$ $\text{FeO} = 5,24$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,7$

La densidad de la escoria se determina en realidad por el contenido de óxidos pesados en ellas. (Ver Figura # 3.)

La viscosidad de la escoria líquida para fundir el acero oscila dentro de los límites amplios, con la particularidad de que el carácter de la variación de la viscosidad con la temperatura depende de la composición de la escoria. (Ver Figura # 4). Esta muestra que mientras la viscosidad de la escoria ácida con la variación de la temperatura varía de modo suave (la escoria larga) la escoria básica tiene un corto intervalo de temperatura durante el cual pasan del estado líquido al sólido (escoria corta), la viscosidad de esta última aumenta bruscamente con la disminución de la temperatura inferior a 1500°C .

La viscosidad de la escoria básica depende en alto grado del contenido de los componentes refractarios como el Cr_2O_3 y MgO .

Entre las propiedades químicas de la escoria las de mayor importancia para la fundición de aceros son la basicidad y el poder oxidante.

La basicidad es la relación que existe entre la cantidad de óxidos básicos y ácidos que forman la escoria. Esta se determina por la relación que existe entre sus concentraciones:

$$B = \frac{(CaO)}{(SiO_2)}$$

Si la escoria contiene una cantidad considerable de anhídrido fosfórico (P_2O_5) la basicidad se expresa por la relación:

$$B = \frac{(CaO)}{(SiO_2) + (P_2O_5 \cdot 5Pv)}$$

Poder oxidante de la escoria.

El poder oxidante de la escoria se determina por el contenido de óxido de hierro. Este caracteriza las concentraciones límites de las impurezas que pueden ser eliminadas durante la oxidación a través de la escoria, por ejemplo, la concentración de carbono, fósforo y manganeso. El poder oxidante con frecuencia se aprecia por el contenido de óxido de hierro (FeO) o por el contenido total de hierro (ΣFe).

1.3- Papel de la escoria.

Con el objetivo de fabricar el acero de calidad; el fundidor ante todo, tiene que obtener la escoria de composición necesaria y de consistencia requerida.

A ésta se le presentan las exigencias siguientes:

- La escoria debe asegurar el grado necesario de la

purificación del metal de las impurezas nocivas contenidas en él.

- En los períodos de oxidación la escoria debe asegurar la penetración intensiva del oxígeno de la atmósfera de la instalación a través de la escoria al metal.
- La escoria ha de obstaculizar los procesos del paso de los gases (nitrógeno e hidrógeno) de la atmósfera al metal.
- La escoria que se evacúa de la instalación no debe contener gran cantidad de hierro, porque en este caso se reduce el grado de utilización del hierro contenido en la carga.
- Durante la colada, la escoria debe obstaculizar el enfriamiento (es decir, la transferencia de calor) del metal que se encuentra en la cuchara.

Capitulo II

Capítulo II- Horno de Arco Eléctrico.

2.1- Construcción del Horno de Arco Eléctrico. Partes Fundamentales.

El cuerpo del horno está hecho de planchas soldadas de acero 20 bajo contenido de carbono, con un espesor de pared de 12 mm y una capacidad de metal después del revestimiento de 1,5 t. Esta construcción de estructuras metálicas es capaz de soportar todos los esfuerzos mecánicos a que está sometido, además soportar el peso de todo el revestimiento refractario.

Esta carcasa metálica está formada por dos partes fundamentales soldadas entre sí, la solera o fondo que tiene forma esférica con su parte central recta y la cuba o paredes de forma inclinada con un ángulo de 10° , esto facilita la construcción del revestimiento refractario, además ofrece mayor resistencia a la acción de los golpes mecánicos producidos por la acción del proceso de carga.

La bóveda está formada por un anillo circular soldado de acero 20 y espesor de pared de 10 mm, el cual tiene dos conexiones de tuberías de 3/4 que están destinadas para la entrada y salida del agua de enfriamiento de la bóveda.

La ventana de trabajo está situada a uno de los dos costados de la carcasa y forma parte de la misma, está destinada para visualizar y facilitar la adición de los materiales auxiliares que se añaden después de la carga y durante todo el trabajo, así como la extracción de la escoria, está hecha del mismo material de la carcasa y con enfriamiento por agua.

La piquera está destinada para la captación del metal después de fundido y dispuesta en línea y sentido opuesta a la ventana de trabajo, está soldada a la carcasa del horno y construida del mismo material, ésta tiene una longitud de 1,5 metros capaz de soportar toda la salidad del metal.

Los portaelectrodos tienen la función de soportar el peso de los electrodos de diámetro 200 mm y un peso de 68 Kg cada uno, están conformados cada uno por planchas de acero 20 y espesor de 10 mm, los cuales están montados sobre 3 torres telescópicas que a su vez se desplazan hacia arriba y hacia abajo por medio de un mecanismo de cremallera accionado por un motor bifásico de corriente directa y un reductor. Estos portaelectrodos están encargados de hacer pasar establemente la corriente a los tres electrodos que son los que rompen el arco eléctrico con la carga fría.

El mecanismo vasculante se encuentra hacia el sentido de la ventana de trabajo, se utiliza para evacuar la escoria, es producido por medio de dos cilindros hidráulicos dispuestos en el fondo de la carcasa del horno, que a su vez son accionados por una bomba que le trasmite una presión de 25 atmósferas.

El transformador está diseñado con entrada de 10 kV/A y una salida de 220 volt por cada una de las fases y corriente de 3000 A, el mismo tiene enfriamiento de aceite por medio de disipadores y además como medida práctica enfriamiento por aire.

2.2- Revestimiento del Horno.

Los revestimientos refractarios que se emplean en la producción de acero en los Hornos de Arco Eléctrico tienen que tener elevadas exigencias técnicas tales como:

- Alto poder refractario.
- Elevada resistencia mecánica.
- Elevada resistencia a los cambios de temperatura.

Estos revestimientos refractarios en dependencia de su propósito pueden ser ácidos para la fundición de hierro gris y aceros al carbono y básicos para aquellos aceros altos aleados, termorresistentes y aceros inoxidable.

El Horno de Arco Eléctrico consta de un revestimiento básico (ver Esquema # 2).

En el fondo del Horno se coloca en toda el área cartón de abestos que tiene un espesor de 10 mm, posterior a este se añade una capa de chamota en polvo que tiene un espesor de 20 mm, la cual es apisonada por un pisón plano, luego se colocan dos capas de ladrillo de chamota ligero (65mm) de espesor, las costuras que van quedando entre los ladrillos se rellenan con polvo de chamota, se continúa el trabajo con la colocación de los ladrillos de magnesita poniéndose una primera hilada a 90° con relación a los ladrillos de chamota, luego se colocan dos hiladas del mismo tipo pero con un ángulo de 45° en relación una con la otra. Esta colocación se hace con el objetivo de que en caso que se deteriore el revestimiento el metal no salga por el fondo del Horno.

Todas las costuras entre ladrillos que no debe ser mayor de 1-2 mm se rellenan con polvo fino de magnesita .

Después de colocados todos los ladrillos se dispone una capa de mortero apizonable de una mezcla formada por un 89% de magnesita, 10 % de resina (alquitrán de holla) y 1 % de brea.

Las paredes del Horno están formadas por una capa de cartón de asbesto de 10 mm de espesor que se pone alrededor de toda la carcaza, luego lleva una capa de ladrillo de chamota ligera en forma de cuña (65mm) que se utiliza como aislante térmico. Posterior a esto tiene una capa de ladrillo de cromo-magnesita de largo de 230mm, las costuras entre los ladrillos se rellenan con polvo de magnesita.

La ventana de trabajo está revestida con en el mismo tipo de ladrillo de la carcaza, solo que tienen diferentes formas para garantizar el arco de la ventana.

La piquera está revestida de ladrillos rectos de cromo-magnesita con un aislante de cartón de asbestos de 10mm de espesor y posterior a los ladrillos tiene un apisonado de magnesita compuesta por un 89% de magnesita, 10 % de alquitrán de holla y 1% de brea.

La bóveda del Horno está formada de ladrillo de dina que tienen varias formas de cuñas de un lado y dos lados, cada 5 ladrillos colocado en la circunferencia de la bóveda lleva una junta de expansión que se hace con un cartón de bellumoi de espesor de (1,5mm) .El centro donde van colocados los electrodos está conformado de un mortero de alta alúmina que posee 72% de alúmina.

2.3- Principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento está basado en el arco eléctrico que se crea al pasar la corriente eléctrica de 220 Volt. y 3000 Amp. por cada fase o sea por cada electrodo de grafito que genera una corriente de corto circuito entre los 3 electrodos y la carga metálica fría fundiendo los materiales sólidos y pasándolo al estado líquido con un consumo de energía de 479 kW/hora.(ver esquema #1)



Capitulo III

Capítulo III- Cálculo de los elementos de la carga.

3.1 - Metodología para el cálculo de la Carga.

Para realizar el cálculo de la carga se emplean tres métodos fundamentales que son:

- Método de análisis matemático.
- Selección de los elementos.
- Método de tanteo.

Para nuestro trabajo escogimos el último método, o sea, el de tanteo, ya que es un método más práctico y se ajusta más al trabajo del taller, ya que los propios obreros fundidores pueden ajustar en un momento dado la carga del horno.

Este método consiste en colocar en columnas los elementos de la carga y su composición química, así con las pérdidas de cada uno de los elementos.

Para comenzar el cálculo, primeramente se calculan las pérdidas de todos los elementos, luego los elementos metálicos como el Níquel Sinter, el Ferro Cromo, el retorno de las producciones y por último las chatarras y ferroaleaciones, luego se ajusta la carga a los porcentajes requeridos de cada elemento y se añaden los formadores de escoria y fundentes en proporción de 0,5 - 1,5 % del peso de la carga.

Describiendo los cálculos tenemos que:

$$X = \frac{\% Ec * Carga}{100 - P} \quad \begin{array}{l} Ec - \text{Elementos de la carga} \\ P - \text{Pérdidas} \end{array}$$

$$100 - P$$

Donde las pérdidas consideradas para este tipo de horno son:

Mn = 15 % Cr = 5 %

Si = 10 - 12 % Ni = 1 %

La composición química deseada es:

C ≤ 0,40 % ; Si = 0,5 - 1,5 % ; Mn = 0,4 - 0,8 % ; Ni = 12 %

Cr = 22 - 26 % ; P ≤ 0,035 ; S ≤ 0,03 %

3.2 - Cálculo de la carga.

Pérdidas

$$P_{Si} = \frac{1 \times (-10)}{100} = - 0,10 \%$$

$$P_{Mn} = \frac{0,6 \times (-15)}{100} = - 0,09 \%$$

$$P_{Ni} = \frac{12 \times (-1)}{100} = - 0,12 \%$$

$$P_{Cr} = \frac{24 \times (-5)}{100} = - 1,20 \%$$

Cálculo de los elementos integrantes del Ni - Sinter

$$C = \frac{0,27 \times 12,47}{100} = 0,03 \% \quad Ni = \frac{12,47 \times 78}{100} = 9,72 \%$$

Cálculo de los elementos del FeCr(0,06 % c)

$$C = \frac{0,06 \times 29,15}{100} = 0,017 \% \quad Si = \frac{1,5 \times 29,15}{100} = 0,43 \%$$

$$Cr = \frac{70 \times 29,15}{100} = 20,4 \%$$

Cálculo de los elementos integrantes de la chatarra de

acero

$$C = \frac{0,18 \times 37,33}{100} = 0,06 \%$$

$$Si = \frac{0,21 \times 37,33}{100} = 0,07 \%$$

$$Mn = \frac{0,53 \times 37,33}{100} = 0,19 \%$$

$$P = \frac{0,04 \times 37,33}{100} = 0,014 \%$$

$$S = \frac{0,05 \times 37,33}{100} = 0,018 \%$$

Cálculo de los elementos de la materia prima del Retorno.

$$C = \frac{0,35 \times 20}{100} = 0,07 \%$$

$$Si = \frac{1,0 \times 20}{100} = 0,20 \%$$

$$Mn = \frac{0,6 \times 20}{100} = 0,12 \%$$

$$P = \frac{0,035 \times 20}{100} = 0,007 \%$$

$$S = \frac{0,03 \times 20}{100} = 0,006 \%$$

$$Ni = \frac{12 \times 20}{100} = 2,4 \%$$

$$Cr = \frac{24 \times 20}{100} = 4,8 \%$$

El ajuste de la carga es:

$$\Sigma C = 0,03 + 0,017 + 0,07 + 0,06 + 0,20 \text{ (de los electrodos)} = 0,38 \%$$

$$\Sigma Si = 0,43 + 0,07 + 0,20 - 0,10 = 0,6 \%$$

$$\Sigma Mn = 0,19 + 0,12 - 0,09 = 0,22 \%$$

$$\Sigma Ni = 9,72 + 2,4 - 0,12 = 12,0 \%$$

$$\Sigma Cr = 4,8 + 20,44 - 1,20 = 24,0 \%$$

$$\Sigma P = 0,007 + 0,014 = 0,021 \%$$

$$\Sigma S = 0,018 + 0,006 = 0,024 \%$$

$$\text{FeSi75 \%} = \frac{75 \times 0,60}{100} = 0,45 \%$$

$$\text{FeMn1,5\%} = \frac{85 \times 0,50}{100} = 0,425 \%$$

$$\text{Si} = 0,57 + 0,45 = 1,02 \%$$

$$\text{Mn} = 0,22 + 0,42 = 6,64 \%$$

Peso de la carga para 1500 Kg

$$\text{Retorno} \quad R = 20 \times 15 = 300 \text{ Kg}$$

$$\text{Chatarra} \quad Ch = 37,33 \times 15 = 560 \text{ Kg}$$

$$\text{Ferro Cromo 0,06} \quad F = 29,20 \times 15 = 438 \text{ Kg}$$

$$\text{Ni - Sinter} \quad N = 12,47 \times 15 = 187 \text{ Kg}$$

$$\text{Ferro Silicio 75 \%} \quad K = 0,60 \times 15 = 9 \text{ Kg}$$

$$\text{Ferro Manganeseo 1,5 \%} \quad M = 0,50 \times 15 = 7,50 \text{ Kg}$$

$$\text{Total} = 1500 \text{ Kg}$$

Formadores de escoria:

$$\text{- Magnesita calcinada} \quad 0,70 \times 15 = 10,50 \text{ Kg}$$

$$\text{- Caliza} \quad 1,0 \times 15 = 15 \text{ Kg}$$

$$\text{- Calcio Silicio} \quad 0,80 \times 15 = 12 \text{ Kg}$$

3.3- Orden de introducción de los elementos de carga.

Para realizar el proceso de carga del Horno de Arco eléctrico, se emplea un cesto de carga que posee un mecanismo en el fondo, el cual al ser introducido dentro del cuerpo del horno se abre permitiendo la caída libre de todos los materiales.

Primeramente en el fondo del cesto vacío se coloca todo el ferrocromo, luego se echa la chatarra de acero y el retorno

de producción y se funden todos los elementos de la carga, posteriormente se extrae un 70% de la escoria formada, se forma una nueva escoria añadiendo elementos de esta, tales como caliza, magnesita calcinada y calcio silicio, se añade el Ni - Sinter hasta su total licuación, se extrae la nueva escoria formada y se saca una muestra que se envía al laboratorio hasta obtener el resultado, una vez obtenido esto se rectifica la marca de ser necesario.

Análisis de los resultados del laboratorio.

Para la realización de las investigaciones tomamos como muestreo la realización de 5 coladas en el Horno de Arco Eléctrico fundiendo acero 40X24H12, de los cuales obtuvimos los siguientes resultados de los análisis del laboratorio químico. Ver tabla #1.

Estos resultados de análisis de laboratorio específicamente de la Si, Mn, Cr y Ni, son resultados dados por análisis espectrales, que son semicuantitativos. El carbono en esta aleación es sumamente importante, se obtiene por análisis volumétrico.

Capitulo IV

Capítulo IV - Comportamiento de la escoria viscosa en el Níquel - Sinter.

Como es sabido la viscosidad es la propiedad física más importante de la escoria, ya que los procesos de difusión con aumento de la viscosidad se reducen bruscamente.

La viscosidad depende de la fuerza de fricción interna y de la energía de interacción entre las partículas de la escoria. Estas características se determinan por la composición y la temperatura del metal líquido. La relación que existe entre la viscosidad y la temperatura se muestra en la figura 5.

Al comenzar el enfriamiento de la escoria aumenta su viscosidad hasta llegar a un punto de la curva (t crítica) donde al aparecer los primeros cristales sólidos se pierde bruscamente la homogeneidad. Cuando se reduce la temperatura se procede un aumento considerable de la viscosidad al pasar la (t crítica).

Los componentes que reducen la viscosidad en las escorias básicas son el Al_2O_3 - CaF_2 y Na_2O y otros componentes poco fusibles como el CaO y Cr_2O_3 aumentan considerablemente la viscosidad en la práctica, se conoce como el inverso de la fluidez.

En Cuba existe poca experiencia tanto teórica como práctica de la fundición de Níquel Sinter como materia prima en los Hornos de Arco Eléctrico, así como el tratamiento a las escorias formadas por este.

El Taller de Fundición de la EMNi comenzó sus primeros pasos

en la fundición en hornos de Arco Eléctrico con capacidad de 15 ton, primeramente realizando solamente fundiciones de hierro, obteniéndose buenos resultados. Después de cierto tiempo, por la necesidad de hornos averiados se comenzó la fundición de aceros en el mismo, siendo su aleación fundamental el acero 40X24H12 destinado para la fundición de brazos de Hornos de Reducción.

Esta aleación está formada por:

300 Kg de retorno de producción

551,25 Kg de chatarra de acero 30

438 Kg de ferrocromo (0,06 % C)

195 Kg de Niquel Sinter

9,0 Kg FeSi (75 %)

7,5 Kg de FeMn (1,5 %)

Se comenzó a fundir con el siguiente orden de carga:

En el fondo del cesto de carga se echaban el ferrocromo y el Niquel - Sinter juntos, después la chatarra de acero, luego los retornos y las ferro aleaciones, consecuencia de esto es que se lograba obtener las coladas con un promedio de 6 horas de duración y además un elevado volumen de escoria altamente viscosa muy difícil de extraer del horno por la ventana de trabajo, esto trajo consigo la obstrucción del orificio de la piqueta de descarga así como toda la ventana de trabajo, además de un elevado consumo de energía eléctrica. Cada vez que esto ocurría, o sea, cada 5 ó 6 coladas había que quitar con ayuda de un martillo neumático todos los trozos de escorias del interior del horno, trayendo consigo la destrucción paulatina del revestimiento

refractario.

Ante esta problemática y a petición e interés del taller de fundición, se nos dió la tarea técnica que constituye nuestro tema de Diploma para investigar y darle solución sobre la formación excesiva de escoria viscosa en el horno de Arco Eléctrico.

Capitulo V

Capítulo V - Valoración Económica.
5.1 - Índices Técnico - Económicos.

Para realizar una valoración económica del trabajo desarrollado nos basamos en los siguientes índices:

Gasto de Energía

El consumo de energía eléctrica del horno es de 479 kW/h

Tiempo de duración de una colada 1,5 h.

Precio de 1 kW/h para el horno de Arco Eléctrico \$0,022

$$1,5 \times 479 \text{ kW/h} = 718,5 \text{ kW/h para fundir una colada}$$

Este es el gasto de energía tanto en kW como en pesos en condiciones normales de fundición.

Antes del inicio de la investigación la duración de una colada era de 5 horas, o sea:

$$5 \text{ h} \times 479 \text{ kW/h} = 2395 \text{ kW}$$

$$\$ 0,022 \times 2395 \text{ kW} = \$ 52,69$$

$$\text{Entonces } 2395 \text{ kW} - 718,5 \text{ kW} = 1676,5 \text{ kW/h}$$

$$0,022 \times 1676,5 = \$ 36,88$$

Obteniendo como resultado un ahorro de 1676,5 kW/h y \$ 36,88 en energía eléctrica.

Consumo de Electrodo.

El peso de un electrodo de grafito es de 80 kg.

1 ton. de electrodo tiene 12 electrodos, que cuestan 780 Dólares.

El consumo de electrodo para una colada de 1,5 h es 22,5 kg.

$$22,5 \times 780 / 1000 = 17,55 \text{ Dólares.}$$

Para una colada de 5 h el consumo de electrodo es de 45 kg.

$$45 \text{ kg} \times 780 / 1000 = 35 \text{ Dólares.}$$

$$45 \text{ kg} - 22,5 = 22,5 \text{ kg.}$$

$$35 - 17,5 = 17,5 \text{ Dólares.}$$

Se ahorraron 22,5 kg de electrodos por cada colada y 17,5 Dólares

$$22,5 \text{ kg} \times 5 = 112,5 \text{ kg de electrodos.}$$

$$87,5 \times 5 = 87,5 \text{ Dólares.}$$

Gastos en Salario.

2 fundidores "B" ganan 300 Pesos

$$1 \text{ h} = \$ 1,73$$

$$\$ 1,73 \times 1,5 \text{ h} = \$ 2,59$$

$$\$ 2,59 \times 2 \text{ h} = \$ 5,20$$

$$5 \text{ h} = \$ 8,65$$

$$\$ 8,65 \times 2 \text{ h} = \$ 17,3$$

Estos gastos para 5 coladas se comportan así:

$$\$ 5,20 \times 5 \text{ h} = \$ 26$$

$$\$ 17,3 \times 5 \text{ h} = \$ 86,5$$

El ahorro por concepto de salario es de:

$$\$ 60,5$$

Una colada de esta aleación de 40X24H12 vale \$ 3742,4

En un turno de 8 h se realizan 3 coladas

$$3 \times 3742,4 = \$ 11227$$

$$1 \times 3742,4 = \$ 3742,4$$

$$\$ 11227 - \$ 3742,4 = \$ 7484,6$$

Se dejan de producir por cada día de trabajo un total de

$$\$ 7484,6$$

$$\$ 7484,6 \times 22 = \$ 164661 \text{ al mes}$$

Durante 1 turno de trabajo de 8 horas, en el Horno de Arco Eléctrico se funden a ritmo de una colada cada 1,5 horas, 3 coladas de la aleación 40X24H12.

Con una colada se funden 3 brazos de Hornos de Reducción, y 4 moldes de dientes para brazos. En cada molde hay 8 dientes.

El precio de un brazo fundido es de \$ 3500

El precio de un diente es de \$ 96,7

$$4 \text{ moldes} \times 8 \text{ dientes} = 32 \text{ dientes}$$

$$32 \text{ dientes} \times \$ 96,7 = \$ 3094,4$$

$$\text{Para brazos} = 1 \times 3500 = \$ 3500$$

$$\$ 3500 + \$ 3094,4 = \$ 6594,4$$

En 8 horas a 3 coladas serían

$$6594,4 \times 3 = \$ 19783,2$$

Con 1 colada se funden solamente 22 moldes de dientes de brazo

$$22 \text{ moldes} \times 8 \text{ dientes} = 176 \text{ dientes}$$

$$176 \text{ dientes} \times 96,7 = \$ 17019,2$$

$$17019,2 \times 3 = \$ 51057,6$$

Si en vez de realizar en un turno de trabajo de 8 horas 3 coladas, sólo se realiza una colada de 5 horas de duración, entonces.

$$1) \text{ Si se funden 3 brazos } \$6594,4 \times 1 = \$ 6594,4$$

y 32 dientes

$$2) \text{ Si se funden } \$17019,2 \times 1 = \$ 17019,2$$

y 176 dientes

$$\text{Para el caso número 1) } 19783,2 - 6594,4 = \$ 13188,8$$

$$\text{Para el caso número 2) } 51057,6 - 17019,2 = \$ 34038,4$$

De donde se concluye que destinando la colada para fundir 3 brazos y 32 dientes se obtiene una pérdida de \$13188,8, si solamente se realiza una colada en 8 horas.

Si se destina la colada para fundir 176 dientes entonces las pérdidas son \$ 34038,4.

Por concepto de Reparación del horno cada 5 coladas, debido al atascamiento de la ventana de trabajo, la piquera, el fondo y 1/3 de las paredes del horno producidos por la gran cantidad de escoria viscosa, se deja de realizar un total de 3 coladas.

Antes de la investigación era necesario romper toda la escoria con martillo neumático demorándose 6 h.

El precio de una tonelada de metal 40X24H12 es de:

\$ 3742,4 x 3 coladas = \$ 11227,2

Es decir se dejan de producir \$ 11227,2 por concepto de reparación del revestimiento refractario del horno.

5.2 - Medidas de Protección e Higiene del trabajo.

La protección e higiene del trabajo tiene como objetivo facilitar al trabajador las condiciones laborales óptimas, que a la vez de preservar su salud coadyugan a elevar los niveles de productividad.

Esta proporciona protección al trabajador ante los peligros de las máquinas, ante sus propios descuidos y riesgos ambientales que pueden estar presente en la industria, para evitar lesiones que lo incapaciten temporales y definitivamente, a su vez estudia y mejora constantemente los sistemas de trabajos y las condiciones ambientales que

rodean a esta.

Esta pretende elevar la productividad del trabajo, evita las pérdidas de tiempos innecesarias por accidentes del trabajo que provocan alteraciones en el proceso productivos.

En muchos centros de trabajo el hombre está expuesto a diferentes factores anormales en el ambiente de trabajo, ej: (temperatura, humedad excesiva, iluminación defectuosa, ruidos molestos, gases nocivos, polvos, etc).

En esta área deben cumplirse las siguientes medidas:

- Toda el área de fusión debe estar iluminada, con lámparas de mercurio que se sitúan a más de 10 metros de alturas.
- El área del Horno, así como la zona de vertido debe estar limpia, libre de escombros que pueden obstruir el paso a los obreros.
- Todos los obreros que trabajan en el Horno y en la zona de vertido tienen que estar instruidos en la técnica de seguridad de su puesto de trabajo.
- Se prohíbe el paso por debajo de los cables de alto voltage del Horno, así como el acceso al transformador de fuerza de 10 kV.
- Quitar la tensión de alimentación de energía eléctrica para realizar cualquier operación de reparación del Horno y cambio de electrodo.

- Antes de comenzar el trabajo, el obrero fundidor tiene la obligación de revisar toda la instalación del Horno (conexiones eléctricas, hidráulicas y neumáticas, estado del revestimiento).
- El obrero fundidor y el vertidor tiene la obligación de usar todos los medios de protección personal tales como (casco de protección, espejuelos de fundidor, peto, guantes de fundidor, polainas y botas de seguridad).
- El jefe del área tiene la obligación de revisar cada día el estado de los extintores contra incendio y los demás medios del Área.

Conclusiones

CONCLUSIONES.

Con nuestra investigación llegamos a las conclusiones siguientes:

- 1- El Ni-Sinter debe añadirse al final de la carga, ya que permite obtener una escoria más fluida y menor tiempo de fusión.
- 2- Desde el punto de vista social hay menos gastos de energía por parte de los trabajadores, ya que estos óxidos se extraen con más facilidad.
- 3- Añadir Al_2O_3 , CaF_2 que son elementos adicionales que reducen la viscosidad en la escoria básica, en caso de no existir algunos, sustituirlos (adicionando calcio-silicio, magnesita calcinada, caliza).
- 4- Económicamente hay entre otros un ahorro de 1676,5 kW/h y \$ 36,88 en energía eléctrica, 22,5 Kg de electrodos y 17,5 dólares.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:

- 1- Conocer la composición química de los elementos de carga de forma tal que no altere la composición química de la aleación a obtener.
- 2- Depositar en el Horno la proporción adecuada de carga para que no afecte la productividad.
- 3- Concientizar en los trabajadores la importancia de la escoria como protectora del metal y la influencia de esta en el desgaste del revestimiento.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA.

- Tecnología de Elaboración de Aceros Inoxidables. Dr. Guillermo Rodríguez Vilomara 1989.
- Revista Tecnología de Elaboración 1985.
- Manual de Operaciones del Taller de Calcinación y Sinter. Moa 1985.
- Manual de Operaciones del C.M.N.
- Metalurgia del Acero. V.A. Kudrin 1981.
- Tecnología de los Metales. Urbano Ordoñez Hernández 1985.
- Producción de Acero. Dr. Nicolay Smirnov.
Lic. Amalio Fanjul
Tec. Guillermo Cabeza.
- Revista Metalurgia 1970.

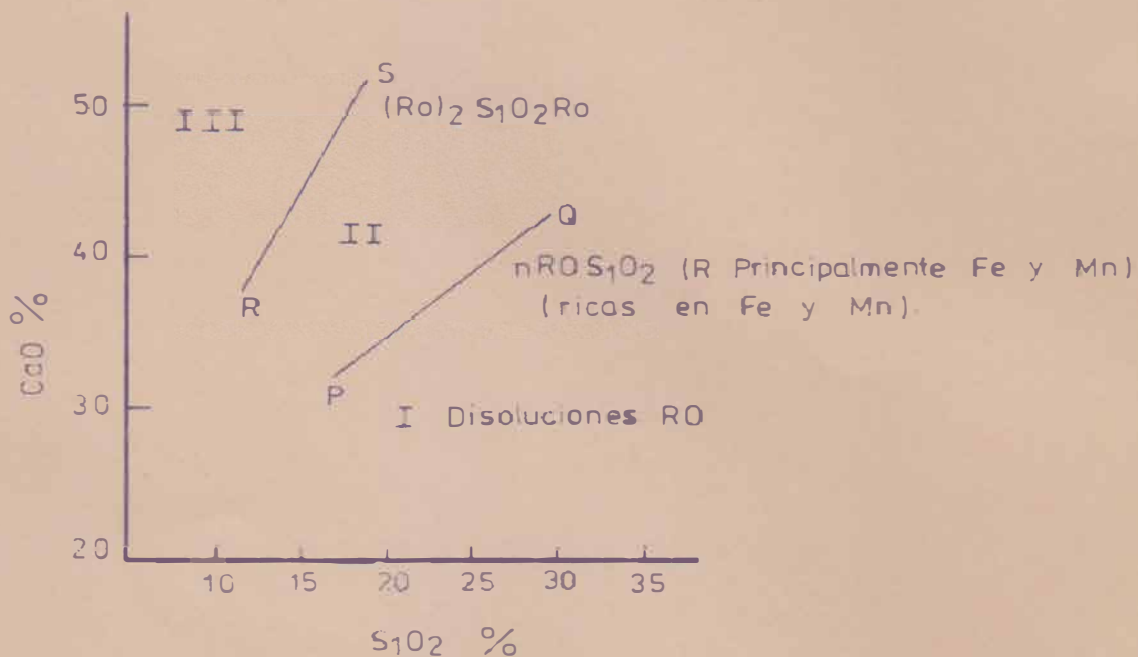
Anexos

RESULTADOS DE LABORATORIO

Tabla #1

Coladas	Elementos (%)				
	C	Si	Mn	Ni	Cr
1	0,32	0,5 - 1,3	0,3 - 0,8	10 - 14	22 - 26
2	0,38	0,3 - 0,2	0,3 - 0,9	11 - 14	22 - 28
3	0,40	0,4 - 1,2	0,4 - 0,8	10 - 14	24 - 26
4	0,36	0,5 - 1,5	0,4 - 1,0	10 - 14	22 - 26
5	0,38	0,5 - 0,95	0,3 - 0,8	10 - 14	22 - 26

Figura 11.1



Composición química de las escorias sólidas al variar el contenido de óxido de silicio y óxido de calcio (escoria sólida).

						I.S.M.M
						Etapas de elaboración
Mod.	Cant.	No. Notif.	Firma	Fecha	Masa	Cant. de hojas
Broy						
Dib						
Rev.						
Cont.Tec.						
Cont.Nor.						
Aprob.						

Figura # 2

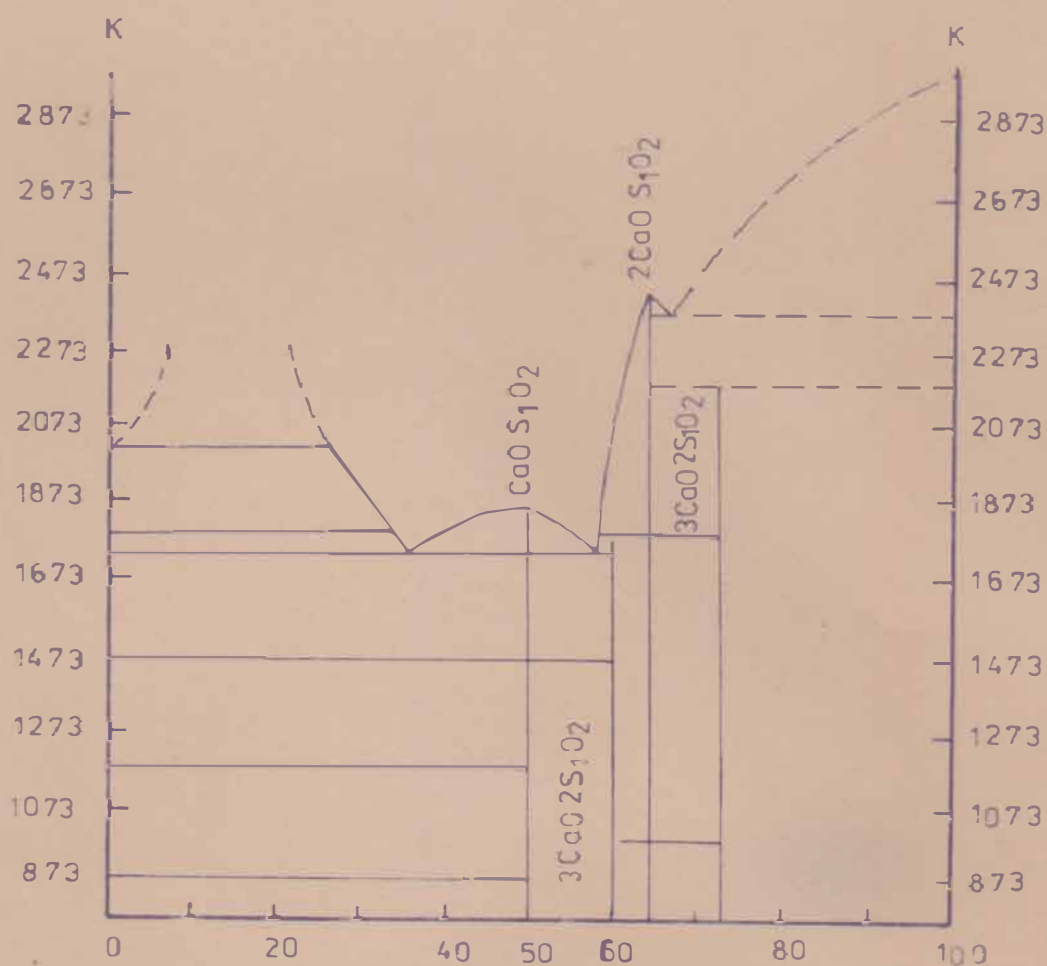


Diagrama de estado para el sistema $\text{CaO}-\text{SiO}_2$ (escoria líquida)

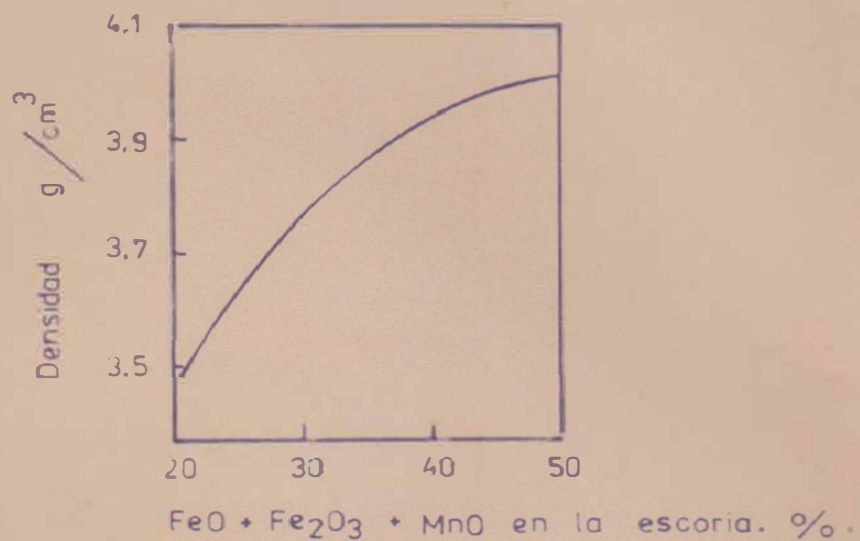
Mod.	Cont.	No Notif.	Firma	Fecha
Proy.		O. Toiroc	<i>[Firma]</i>	27.6.94
Dib.		O. Toiroc	<i>[Firma]</i>	27.6.94
Rev.				
Cont. Tec.				
Cont. Nor.				
Aprob.				

I.S.M.M

Etapas de elaboración

Masa	Escala	No Hoja	Cant. de hojas

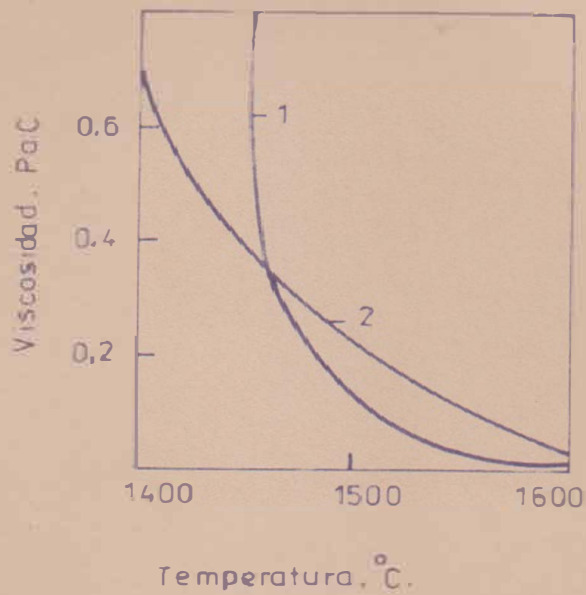
Figura #3



Dependencia entre la densidad de las escorias basicas y el contenido de los óxido de hierro y manganeso.

					I S M M				
					Etapas de elaboración				
Mod.	Cont.	No.	Notif.	Firma	Fecha	Masa	Escala	No Hoja	Cant. de hojas
Proy		24	caloreta	<i>[Signature]</i>	29-6-94				
Dib.		24	caloreta	<i>[Signature]</i>	29-6-94				
Rev.									
Cont.Tec.									
Cont.Nor.									
Aprob.									

Figura # 4

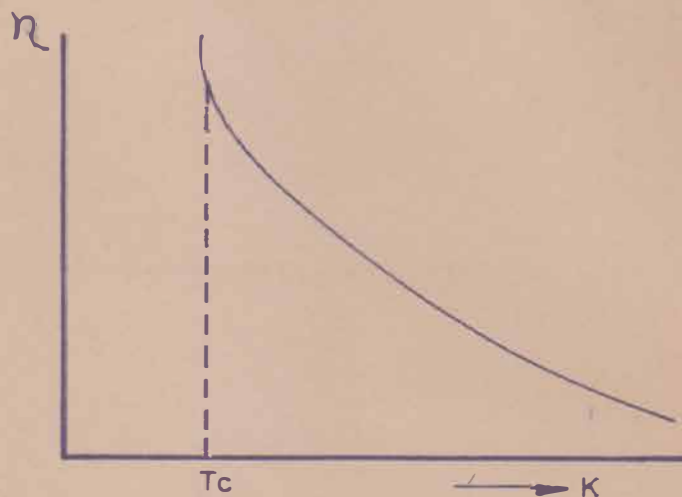


Dependencia entre la viscosidad de la escoria y la temperatura

Mod.	Cant.	No. Notif.	Firma	Fecha
Proy.	uf. labra	uf. labra	29-6-94	
Dib.	uf. labra	uf. labra	29-6-94	
Rev.				
Cont.Tec.				
Cont.Nor.				
Aprob.				

I-S-M-M			
Etapas de elaboración			
Masa	Escala	No. Hoja	Cant. de hojas

Figura # 5



Relacion de la viscosidad de la escoria básica con la temperatura.

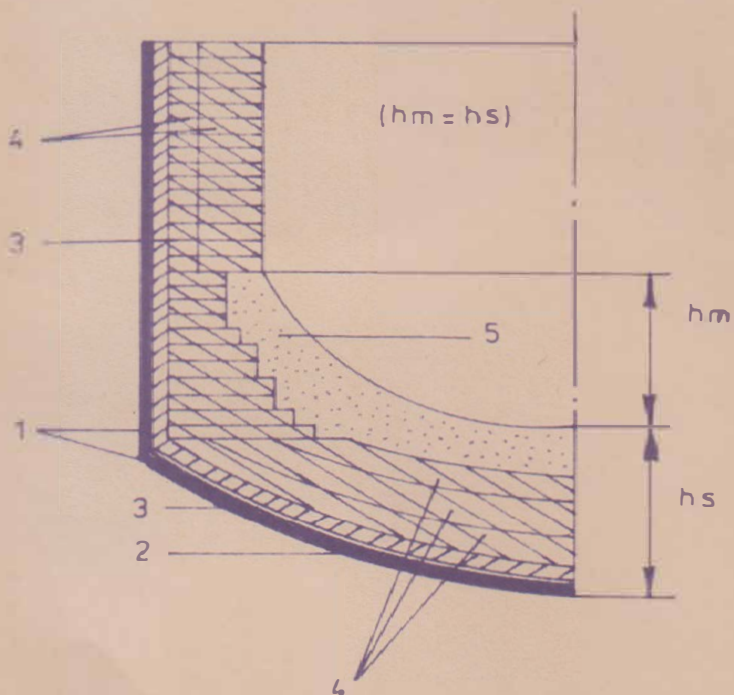
Mod. Cont.	No. Notif.	Firma	Fecha	
Proy.	M. Cabrera	M. Cabrera	29-6-94	
Dib.	M. Cabrera	M. Cabrera	29-6-94	
Rev.				
Cont. Tec.				
Cont. Nor.				
Aprob.				

I. S. M. M.

Etapas de elaboración

Masa	Escala	No Hoja	Cant. de hojas

Figura #



Esquema del revestimiento refractario del horno ($h_m = h_s$)

I.S.M.M

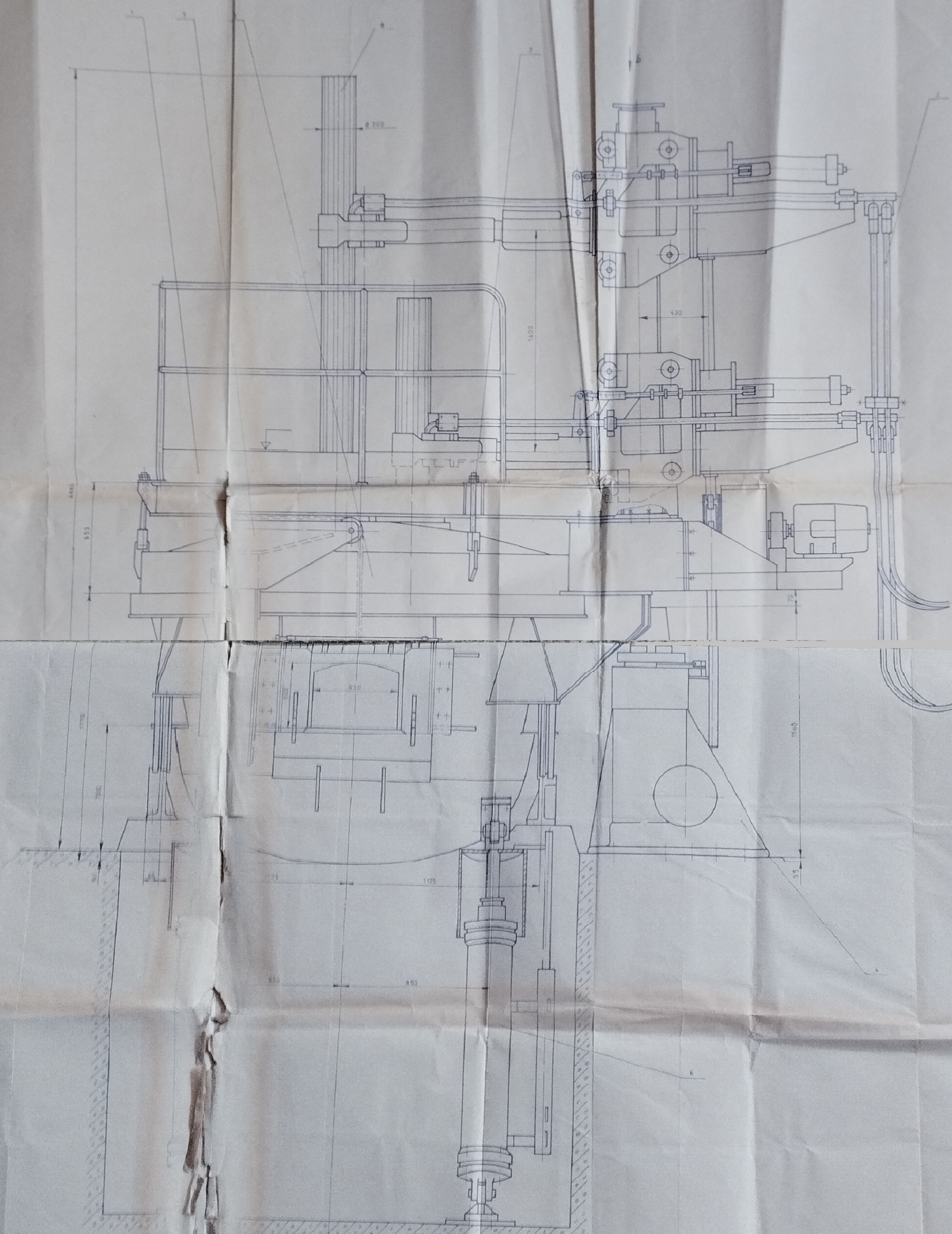
Etapas de elaboración

Masa

Escala

No Hoja

Cant. de
hojas



Mod	Ant	No. Hoja	Firma	Fecha
Proy.				
Dib.				
Rev.				
Cont. Tec.				
Cont. Neg.				
Aprob.				

Esquema General
del Horno de Arco
Eléctrico

I.S.M.M.		
Etapas de elaboración		
Masa	Escala	No. Hoja