

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA



CARACTERIZACIÓN DE ESCORIAS, CÁLCULO DEL HOT-HEEL EN EL HONOR ELÉCTRICO EBT DE LA CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A.

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA**

**ELABORADO POR:
HUMBERTO ALFONSO BENAVIDES MATOS**

**ASESOR:
ING. MANUEL CRUZ TORRES**

LIMA –PERÚ

2011

DEDICATORIA

A mis padres y familia por su apoyo infinito en la
lucha incesante por salir adelante.

RESUMEN

El presente informe ha sido elaborado en base a información obtenida durante la operación de un horno eléctrico con EBT (*Excentric Bootón Tap*) en la Corporación Aceros Arequipa S.A. Se desarrollan tres capítulos, el primer capítulo aborda la descripción de áreas de la empresa, en el segundo capítulo se tratan aspectos teóricos con los cuales se fundamentan los cálculos realizados, En este capítulo también se describen dos temas (*caracterización de escorias de horno de arco eléctrico, cálculo del hot-heel*) que permitirían conocer algunos detalles importantes que ocurren durante el proceso y aplicaciones destinadas al control de algunos parámetros e índices de operación. En el tercer capítulo se tratan puntualmente los conceptos necesarios para entender lo que es la escoria del horno eléctrico y la importancia de este material durante el proceso. Finalmente se hacen conclusiones respecto a las experiencias realizadas.

ÍNDICE

	Pag.
INTRODUCCION	13
 Capítulo I	
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	
1.1 DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA PLANTA N 2 PISCO	15
1.2 PLANTA DE ACERIA	16
1.2.1 Área de metálicos	16
1.2.2 Área Hornos eléctricos	27
1.2.2.1 Horno de arco eléctrico con EBT	27
1.2.2.2 Horno Cuchara.....	29
1.2.3 Área de Colada Continua.....	31
1.2.4 Área de refractarios	32
 Capítulo II	
ASPECTOS TEÓRICOS	
2.1 FUNCIÓN DE LA ESCORIA EN EL HORNO ELÉCTRICO.	33
2.2 PROPIEDADES ÚTILES DE LA ESCORIAS EN EL HORNO ELÉCTRICO DE REDUCCIÓN DE ACERO.....	35
2.3 EL HORNO ESCORIFICA.....	35
2.4 LA ELIMINACIÓN DEL FOSFORO.....	36
2.5 REVESTIMIENTOS DE LOS HORNOS PARA LA PROTECCIÓN REFRACTARIA.....	36

2.6	BASICIDAD DE LA ESCORIA	37
2.7	INFLUENCIA DEL %FeO FINAL EN LA ESCORIA.....	37
2.8	DENSIDAD DE LA ESCORIA.....	38
2.9	TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA ESCORIA.....	39
2.10	CAPACIDAD CALORIFICA DE LA ESCORIA.....	39
2.11	CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA ESCORIA.....	40
2.12	METODOS DE NIVELES DE ACERO Y ESCORIA DEL HOT – HEEL (MNAEHH).....	41

Capítulo III

EXPERIENCIAS EN HORNO DE ARCO ELECTRICO

3.1	COMPOSICIÓN QUIMICA E INDICE DE BASICIDAD BINARIA.....	48
3.2	DENSIDAD DE LA ESCORIA	51
3.3	TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA ESCORIA.....	53
3.4	CAPACIDAD CALORIFICA DE LA ESCORIA	54
3.5	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA ESCORIA.....	56
3.6	MEDICIÓN DE LA MASA DE ESCORIA Y ACERO EN EL HOT-HEEL.....	58
3.6.1	Validación del Método:	59

CONCLUSIONES.....	61
--------------------------	-----------

NOMENCLATURA.....	62
--------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA.....	63
--------------------------	-----------

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1: Análisis químico de la chatarra pesada	22
Tabla N°2: Análisis químico de paquetes de tarros de leche.....	22
Tabla N°3: Análisis químico de embutición de carga.....	23
Tabla N°4: Análisis químico de alto residual	23
Tabla N°5: Composición química de la escoria minute cero de horno conectado.....	49
Tabla N°6: Composición química de la escoria minute 20 de horno conectado	50
Tabla N°7: Composición química de la escoria minute 36 de horno conectado	50
Tabla N°8: Tabla de resultados de las muestras	60

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1: Se observan algunas de las operaciones realizadas por el área de metálicos	16
Figura N°2: Pesaje de camión	17
Figura N°3: Exceso de Sílice en la carga.....	18
Figura N°4: Densidad de la carga.....	18
Figura N° 5: Planta Fragmentadora	19
Figura N° 6: Materiales no fragmentables.....	20
Figura N°7: Diagrama de estratificación y Mix de carga	21
Figura N°8: Chatarra Pesada	22
Figura N°9: Paquetes de tarros de leche	22
Figura N°10: Embutición carga.....	23
Figura N°11: Alto residual	23
Figura N°12: Hierro esponja.....	24
Figura N°13: Briquetas de carbón	24
Figura N°14: Carga de los distintos tipos de materiales a la cesta. Además de cómo el material fragmentado es cargado en la cesta	25

Figura N°15: El proceso de oxicorte que se observa es aplicado a la chatarra no fragmentable tratando de seccionar y reducir el tamaño de dicho material para cargar en la cesta que alimenta al horno eléctrico	26
Figura N°16: Cargado de la materia prima al horno eléctrico	27
Figura N°17: Equipamiento del horno eléctrico	28
Figura N°18: Vista de planta de la cuba del horno en la que se ve la disposición de los quemadores y los electrodos	29
Figura N°19: Horno Cuchara donde se observa que la carcasa de este horno es el mismo recipiente proveniente del horno eléctrico	30
Figura N°20: Partes y componentes de un horno cuchara	30
Figura N°21: Esquema de la maquina de colada continua	31
Figura N°22: Paredes de la cuba del horno eléctrico	32
Figura N°23: Reparación de las paredes de la cuchara	32
Figura N°24: Densidad de la escoria en función del porcentaje de FeO	41
Figura N°25: Esquema de análisis para el cálculo de volúmenes	42
Figura N°26: Cuba en 3D hasta el nivel del banqueto	43
Figura N°27: Nivel cero y Profundidad	44
Figura N°28: Cortes hechos en autocad a cada 10cm por debajo del nivel cero, adjuntándose la tabla de resultados producto de esta operación	44
Figura N°29: Gráfica obtenida profundidad vs. Volumen	45
Figura N°30: Esquema de la utilización del escorímetro	46
Figura N°31: Muestras de las marcas dejadas luego de la aplicación del método MNAEIII que indica a H ₁ como la profundidad del volumen total y a H ₂ como la profundidad del volumen de acero	46
Figura N°32: Variación de la densidad de la escoria en función del oxido de hierro y del tiempo de horno conectado	51

Figura N°33: Variación de la densidad de la escoria en función de la sílice y del tiempo de horno conectado.....	51
Figura N°34: Variación de la densidad de la escoria en función de la sílice y con %FeO constante al minuto cero de horno conectado	52
Figura N°35: Variación de la tensión superficial de la escoria en función del óxido de hierro y del tiempo de horno conectado.....	53
Figura N°36: Variación de la tensión superficial de la escoria en función del óxido de calcio y del tiempo de horno conectado	53
Figura N°37: Variación de la capacidad calorífica de la escoria en función del óxido de Hierro y del tiempo de horno conectado.....	54
Figura N°38: Variación de la capacidad calorífica de la escoria en función del óxido de calcio y del tiempo de horno conectado.....	55
Figura N°39: Variación de la capacidad calorífica de la escoria en función de la sílice y del tiempo de horno conectado	55
Figura N°40: Variación de la constante efectiva de calor de la escoria en función del óxido de hierro y del tiempo de horno conectado	56
Figura N°41: Variación de la constante efectiva de calor de la escoria en función del óxido de calcio y del tiempo de horno conectado	56
Figura N°42: Variación de la constante efectiva de calor de la escoria en función de la sílice y del tiempo de horno conectado	57
Figura N°43: Observamos aquí que los cuatro puntos marcados de azul disminuyen nuestra precisión en nuestro un modelo	60
Figura N°44: Observamos aquí que los cuatro puntos marcos de azul disminuyen nuestra precisión en cuan que necesitaríamos para hallar un modelo	60

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la pirometalurgia y transformación de metales en nuestro país, el Perú, aún es lento, debido a una serie de factores tecnológicos, políticos, económicos, sociales, etc. que desmedran la evolución del conocimiento.

Este trabajo es un intento por difundir la tecnología de producción de acero que se viene aplicando en nuestro país, Corporación Aceros Arequipa SAC, en donde nuestros estudiantes y egresados tienen la oportunidad de desarrollar sus competencias como profesionales.

Todas las pruebas y datos mostrados en las siguientes páginas fueron realizadas en muestras de escoria del horno eléctrico de mayor capacidad en nuestro país (80 TM de acero líquido) y es el encargado de fabricar una gran variedad de productos de acero para la construcción.

Los trabajos realizados en base a escorias de acería dentro de la planta básicamente son enfocados hacia la recirculación del producto, tratando de fraccionarlo adecuadamente en la planta de chancado para recuperar los valores de Fe metálico que se pierden en el desescoreo.

Durante la fusión del acero dentro del horno se extrae constantemente muestras de escorias, para luego de pulverizarlas, observar el color y tonalidad que permiten a los fundidores y supervisores inmediatamente decidir el momento adecuado en el cual se deba pasar al desescoreo de la colada.

Siendo los dos productos acero y escoria (desecho) resultado de la fusión de chatarra y pre-reducidos en el horno de arco eléctrico, es importante conocer las características y propiedades de estos materiales. En esta oportunidad me abocare al estudio de las escorias de acería del horno de arco eléctrico durante el proceso, siendo su composición química la que nos permitirá tener más herramientas para tomar las medidas necesarias en el control y operación del proceso ya que el nivel de inteligencia de este horno no permite la lectura de algunos parámetros que no pueden ser medidos dentro del horno debido a las altas temperaturas de operación con las que se trabaja y al costo de implementar sensores y software.

Estos estudios permitirán aumentar la eficiencia del proceso y generar un menor costo de producción y ahorro anual significativo debido a la precisión con que se trabaja por ejemplo en el cálculo del hot – heel que es un método que se describirá a lo largo del presente informe.

Capítulo I

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Aceros Arequipa se formó y se desarrolló creyendo y apostando por el Perú. Más de cuatro décadas de creada y convertida en Corporación Aceros Arequipa S.A.C., es una empresa modelo, con capital y personal íntegramente peruano que lidera un sector altamente competitivo en el Perú, habiendo conseguido una fórmula calidad, precio y servicio acorde con los niveles más altos de exigencias del mercado internacional.

1.1 DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA PLANTA PISCO

Esta planta cuenta con una capacidad de producción de 700 000 toneladas anuales de acero líquido y 550 000 toneladas métricas anuales de productos terminados. Se encuentra ubicada en el desierto de Paracas – Ica, en el Km 241 de la Panamericana Sur.

Está conformada por la planta de Hierro esponja, planta de acería, la planta de laminación, y las instalaciones para el servicio de corte y doblado de barras de acero corrugado a medida.

Produce barras corrugadas, alambrón, ángulos, platinas, barras cuadradas, barras cuadradas y barras helicoidales.

1.2 PLANTA DE ACERIA

El departamento de acería es el que tiene a su cargo la producción de palanquillas de acero. Este departamento agrupa cuatro áreas: metálicos, hornos eléctricos, colada continua y refractarios.

1.2.1 Área de metálicos

Encargada de la recepción, industrialización (clasificación y fragmentado y lavado de algunos tipos de chatarra), almacenamiento y carga de las materias primas para la alimentación del horno eléctrico.

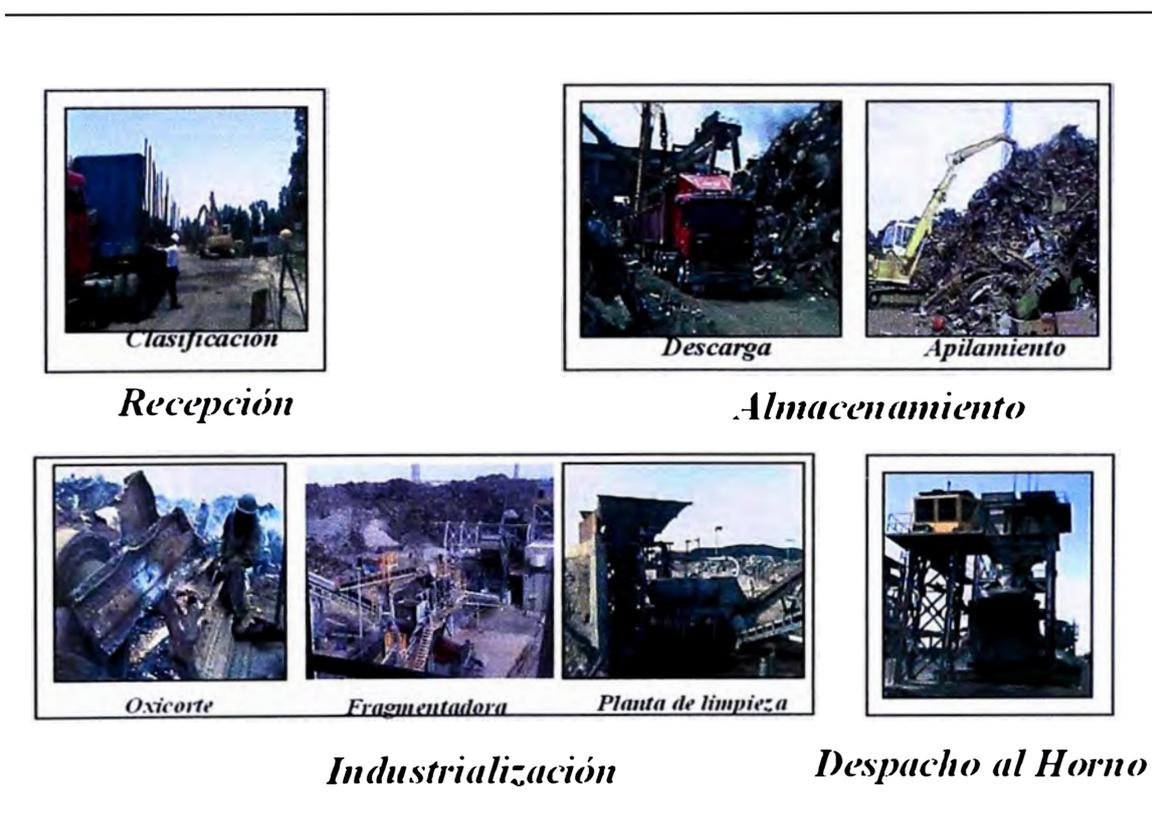


Figura N°1: Se observan algunas de las operaciones realizadas por el área de metálicos.

Se inicia las operaciones con el pesaje de los camiones de chatarra en la balanza de acería, luego es determinada la densidad de la chatarra metálica (luego del pesaje es calculado el volumen de chatarra; para esto se miden las dimensiones de la tolva del camión); durante la descarga del material se observa la calidad de la carga, (para esto existe un funcionario que hace la calificación de la chatarra), esta carga debe presentar poca cantidad de tierra caso contrario se castiga la carga.

El exceso de tierra produce mayor presencia de sílice en el proceso; esta presencia de sílice genera un mayor consumo de cal en el horno eléctrico para mantener una adecuada basicidad de la escoria, con todo esto aumenta el consumo de energía, aumentando finalmente el tiempo de colada y reduciendo la productividad.



Figura N°2: Pesaje de camión.



Figura N°3: Exceso de Sílice en la carga.



Figura N°4: Densidad de la carga.

Esta carga es alimentada a la planta fragmentadora para producir chatarra fragmentada nacional. También sí importa chatarra fragmentada, a la que se le denomina chatarra fragmentada importada.

Dentro de la clasificación de la chatarra existen los no fragmentables que son materiales que por su peso y propiedades metálicas no pueden ser fragmentados, existen también materiales radioactivos y bélicos son extraídos y separados evitando de esta forma se genere algún incidente o accidente.

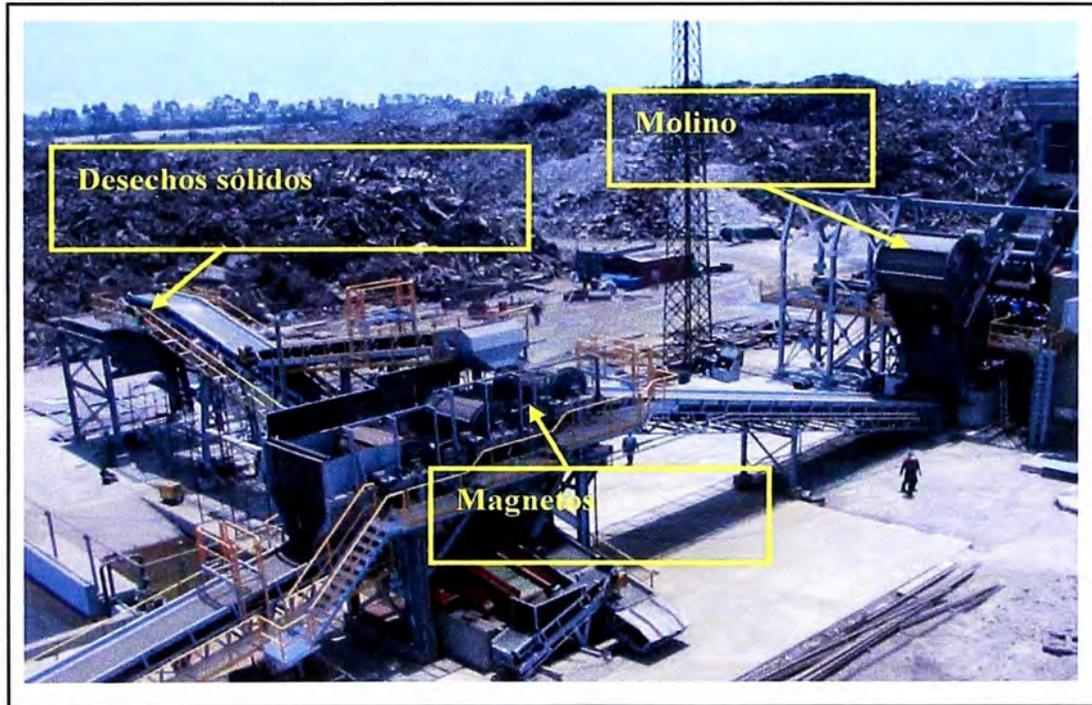


Figura N° 5: Planta Fragmentadora.

A continuación se muestran una serie de materiales no fragmentables.

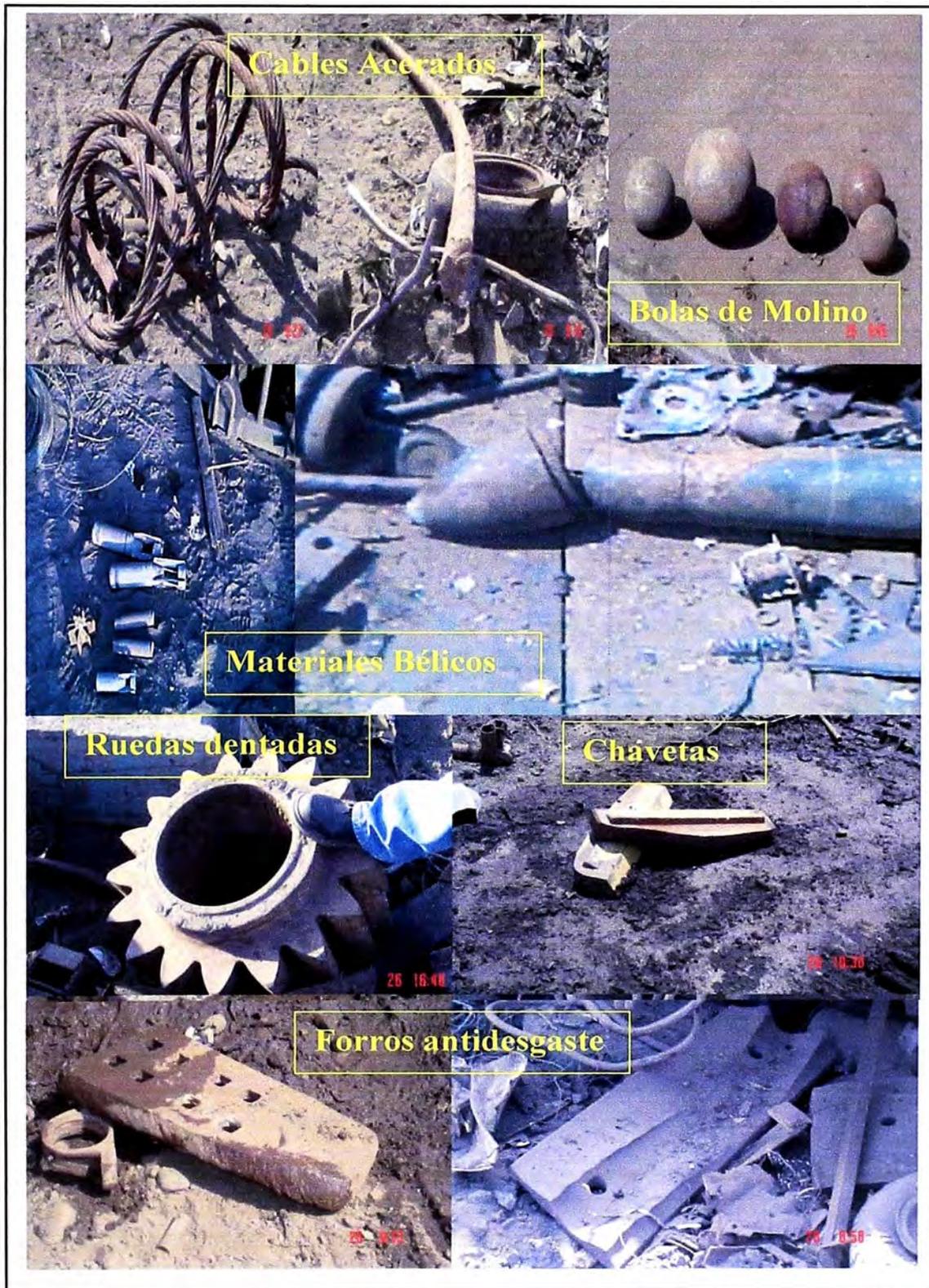


Figura N° 6: Materiales no fragmentables.

Es también tarea de esta área, preparar las cestas de carguío al horno eléctrico, de tal forma, que se tenga un diagrama de estratificación (Distribución de los tipos de chatarra según sus pesos y tamaño de grano) y mix de carga (mezcla de distintos tipos de chatarra) adecuado.

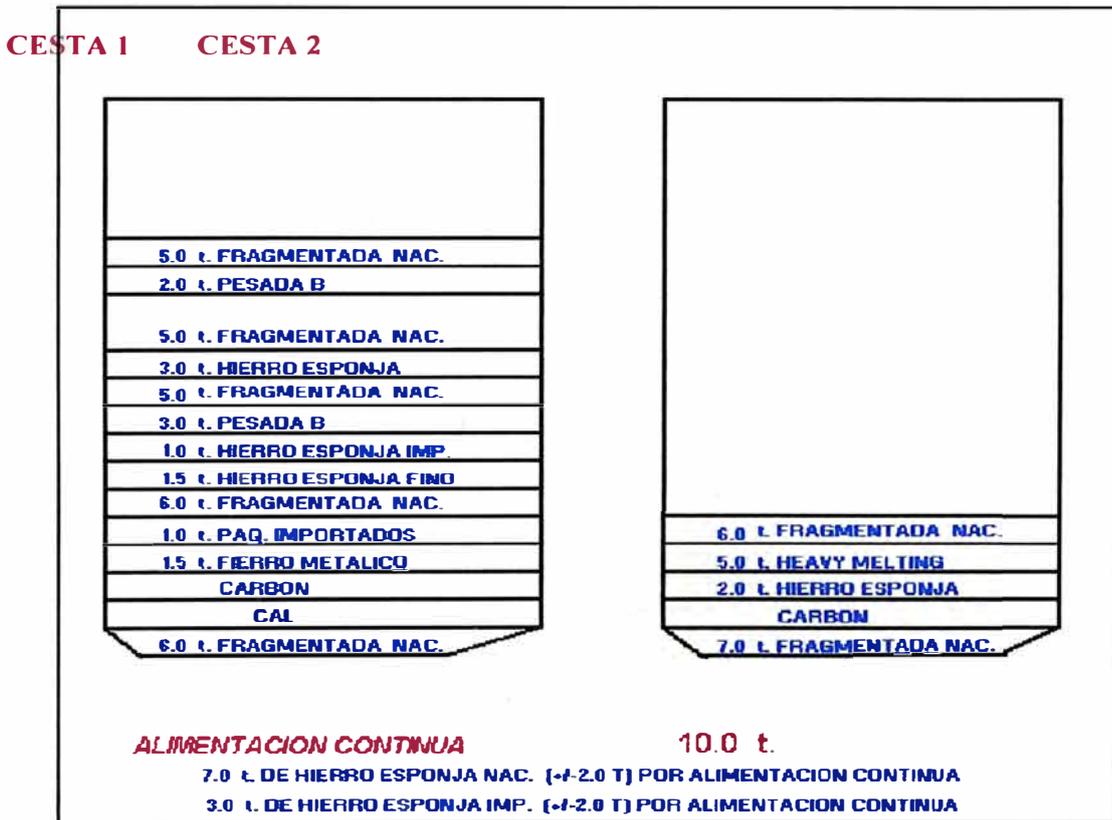


Figura Nº7: Diagrama de estratificación y Mix de carga.

El área de metálicos es donde se almacenan los distintos tipos de chatarras y pre-reducidos (hierro esponja, briquetas de carbón, etc). Para luego ser cargados en la cesta que va al horno eléctrico. Existen distintos tipos de chatarra con composiciones químicas diferentes que se muestran a continuación.



Figura N°8: Chatarra Pesada.

Tabla N°1: Análisis químico de la chatarra pesada.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.45	1.02	0.22	0.048	0.045	0.08	0.07	0.01	0.15	0.060

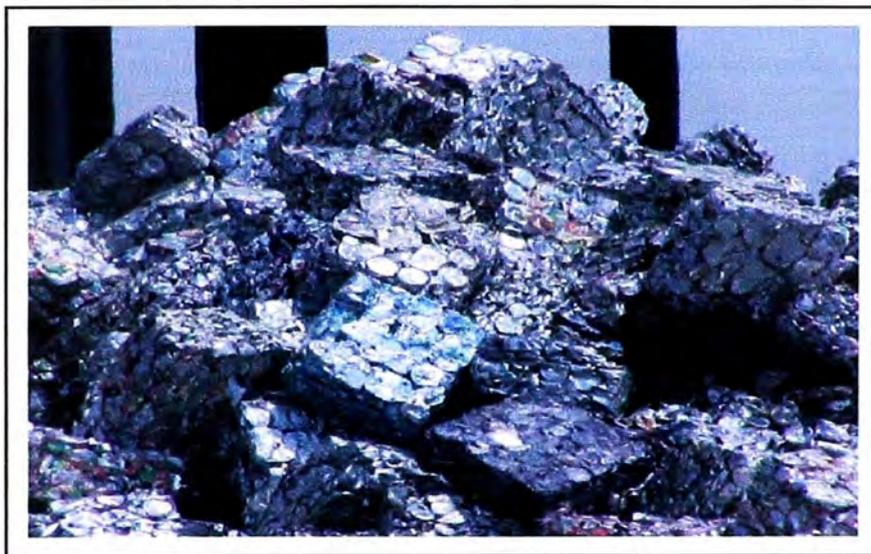


Figura N°9: Paquetes de tarros de leche.

Tabla N°2: Análisis químico de paquetes de tarros de leche.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.08	0.50	0.08	0.018	0.027	0.03	0.03	0.01	0.03	0.350



Figura N°10: Embutación carga.

Tabla N°3: Análisis químico de embutación de carga.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.09	0.45	0.07	0.018	0.025	0.03	0.01	0.00	0.01	0.010

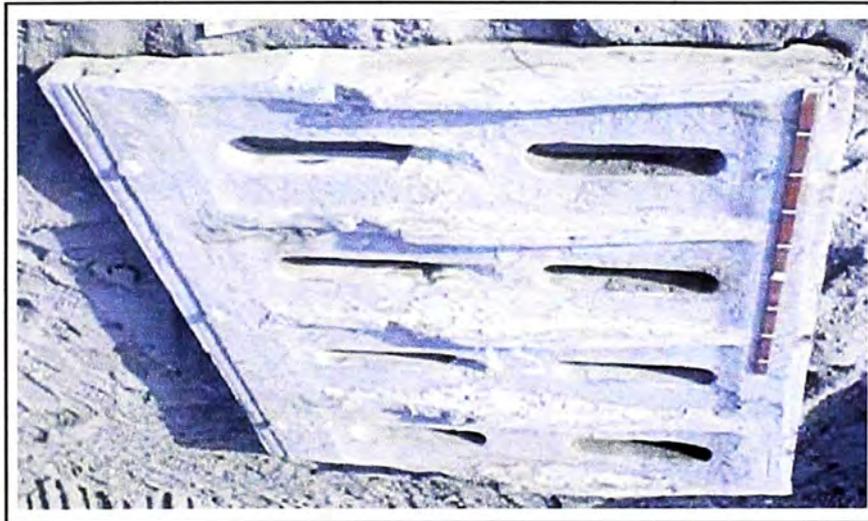


Figura N°11: Alto residual.

Tabla N°4: Análisis químico de alto residual.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.09	8.50	0.40	0.011	0.013	1.00	0.12	0.03	0.06	0.010



Figura N°12: Hierro esponja.



Figura N°13: Briquetas de carbón.

Finalmente se despacha la cesta al horno ya habiéndose cargado el material mediante grúas pórtico que usan un electroimán o una garra mecánica.

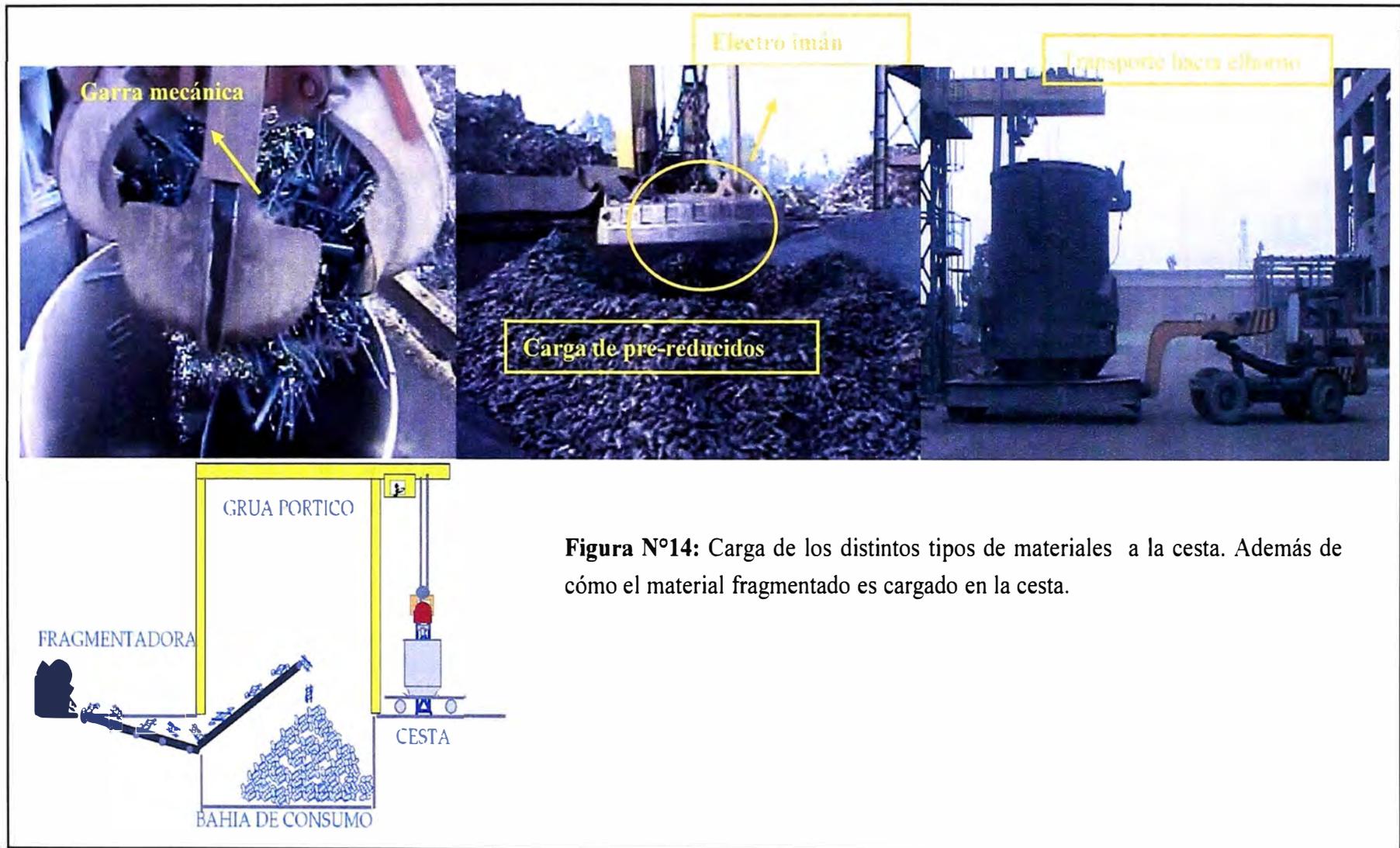


Figura N°14: Carga de los distintos tipos de materiales a la cesta. Además de cómo el material fragmentado es cargado en la cesta.

Diagrama de Flujo de Industrialización de la Chatarra

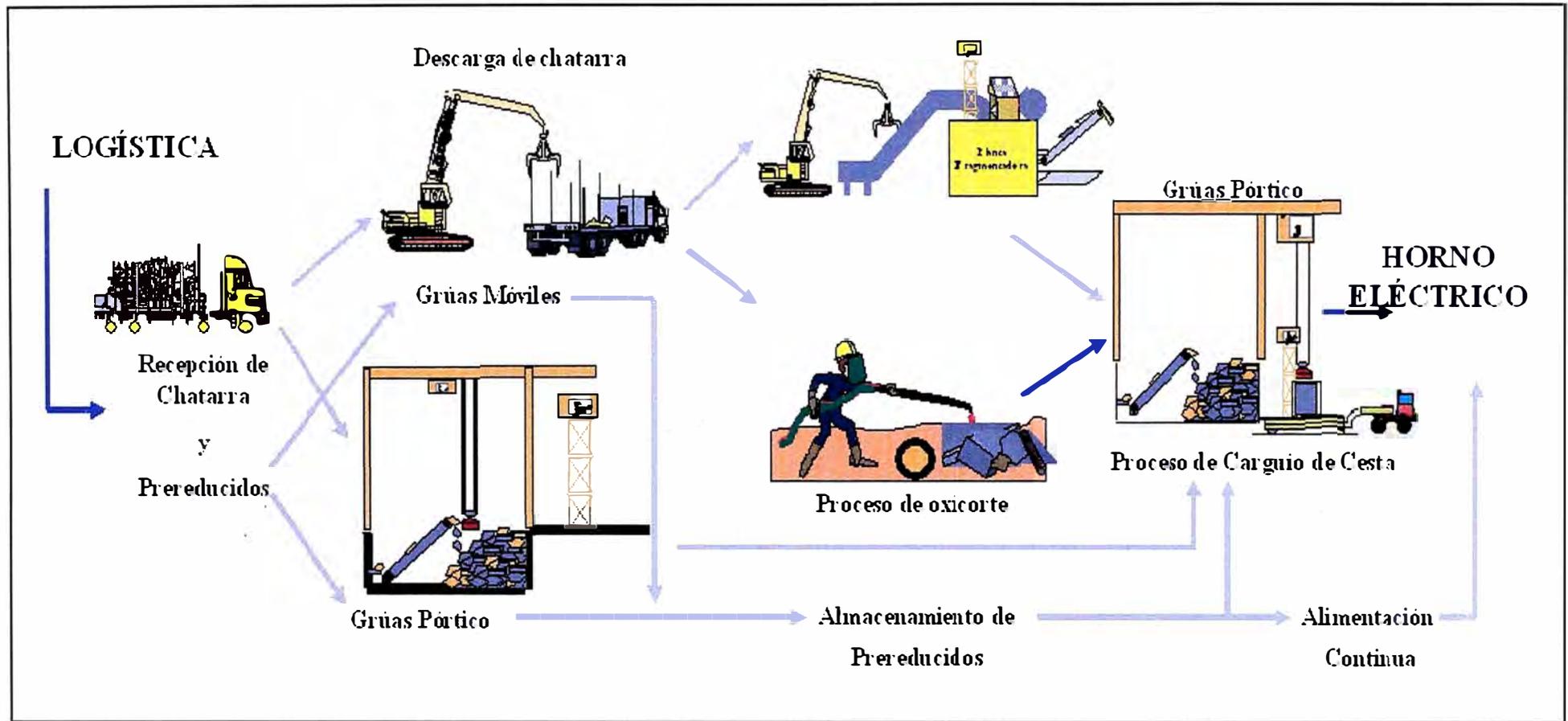


Figura N°15: El proceso de oxicorte que se observa es aplicado a la chatarra no fragmentable tratando de seccionar y reducir el tamaño de dicho material para cargar en la cesta que alimenta al horno eléctrico.

1.2.2 Área Hornos eléctricos

En esta área se realiza el proceso de fusión de la chatarra (Metalurgia primaria) en el horno de arco eléctrico y los ajustes de composición química (metalurgia secundaria) en el horno cuchara que sean necesarios según la calidad de acero que se ha programado para producir en el día. Para esto se cuenta con un horno de arco eléctrico (funde la chatarra) y horno cuchara (ajusta la composición química del acero líquido).

1.2.2.1 Horno de arco eléctrico con EBT

Continuando con la línea de proceso, luego de cargar la chatarra y pre-reducidos a la cesta, esta es llevada al horno eléctrico donde se empieza con el proceso de fusión.

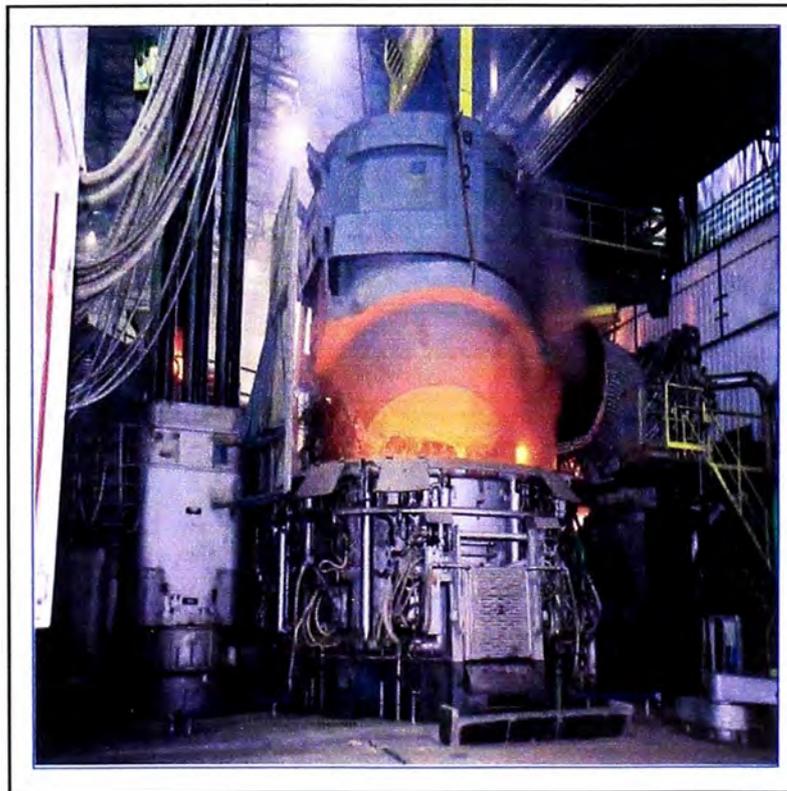
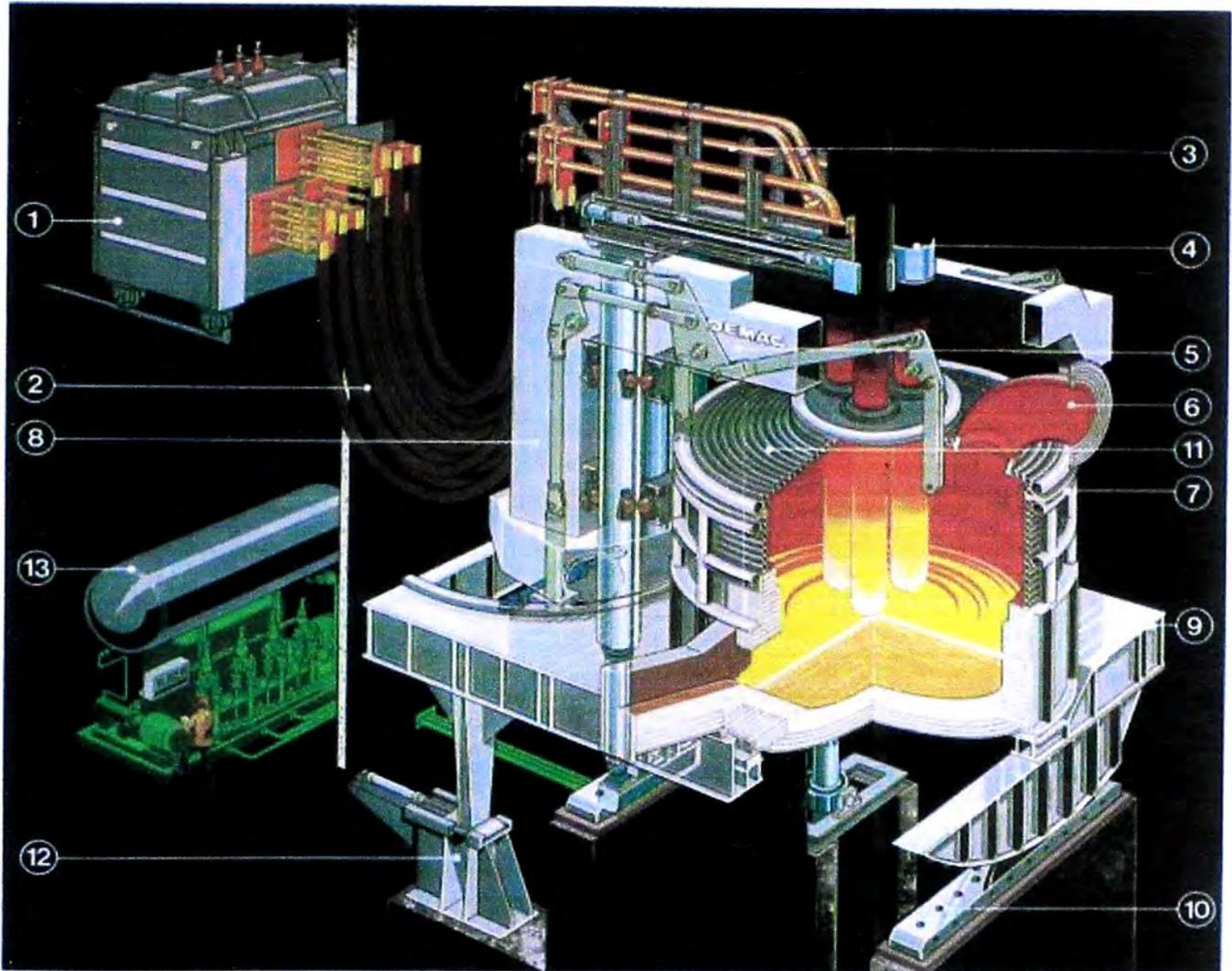


Figura N°16: Cargado de la materia prima al horno eléctrico.

Esquema de horno eléctrico de corriente alterna



1. TRANSFORMADOR

2. CONEXIÓN DE CABLE FLEXIBLE

3. BRAZOS DE LOS ELECTRODOS

4. SUJECCIÓN DE LOS ELECTRODOS

5. PÓRTICO CON BRAZOS

6. SALIDA DE HUMOS REFRIGERADA

7. PANELES REFRIGERADOS

8. ESTRUCTURA

9. ESTRUCTURA OSCILANTE

10. CREMALLERA

11. BÓVEDA REFRIGERADA

12. DISPOSITIVO DE VOLTEO

13. GRUPO HIDRÁULICO

Figura N°17: Equipamiento del horno eléctrico.

La energía que alimenta este horno es de origen eléctrico en mayor proporción generado por un transformador de 45MW de potencia, también existe un aporte de energético de origen químico producido por algunas reacciones exotérmicas provocadas por la inyección de oxígeno que oxidan determinados componentes de la chatarra; existen también quemadores de combustible (gas natural o fuelóleo) con oxígeno como comburente.

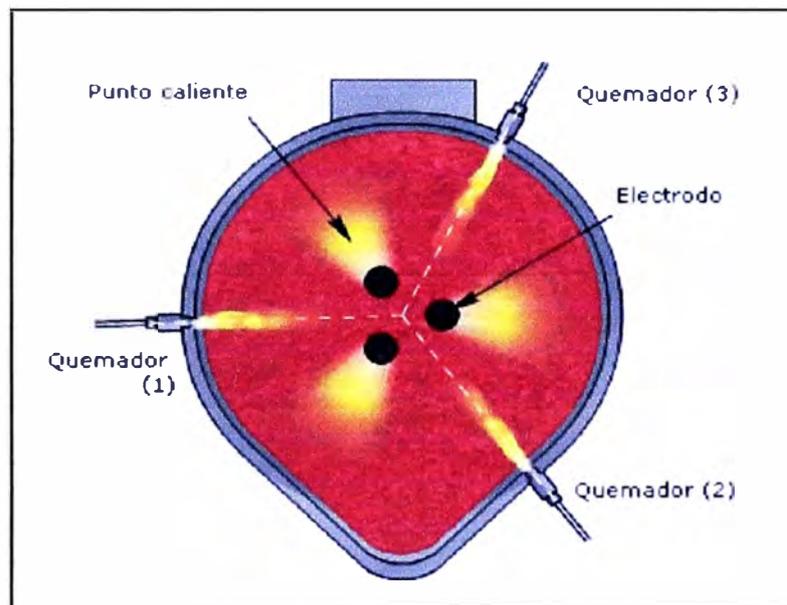


Figura N°18: Vista de planta de la cuba del horno en la que se ve la disposición de los quemadores y los electrodos.

1.2.2.2 Horno Cuchara

En esta etapa del proceso se afina la escoria remante del horno eléctrico además de conseguir la calidad de acero planificada con la composición química y temperatura adecuada para luego pasar a la colada continua.

El retiro de la escoria de la cuchara con acero proveniente del Horno Eléctrico es indispensable para la operación del Horno Cuchara. Actualmente extensamente difundida existe la técnica del Horno Eléctrico con sangrado excéntrico (EBT), que permite el sangrado del Horno Eléctrico sin escoria. Cuando el Horno Eléctrico no posee este recurso es indispensable que exista un sistema de evacuación de la escoria de la cuchara después del sangrado del Horno Eléctrico de Arco. Después de la evacuación de la escoria proveniente del Horno Eléctrico se inicia entonces el proceso de afino en el Horno Cuchara.

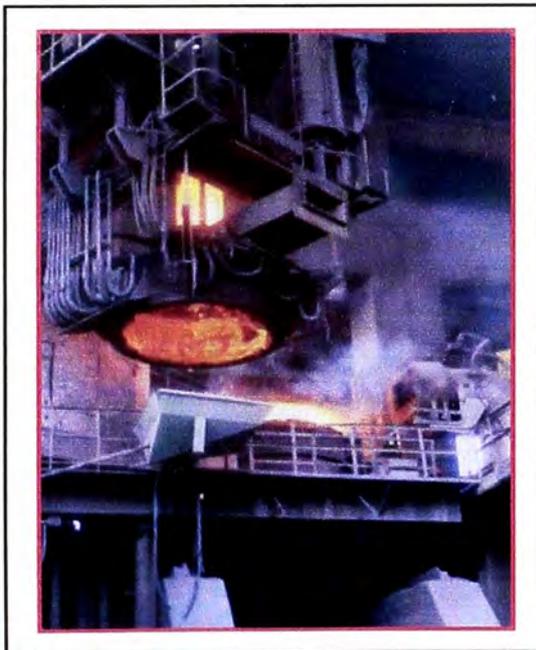


Figura N°19:Horno Cuchara donde se observa que la carcasa de este horno es el mismo recipiente proveniente del horno eléctrico.

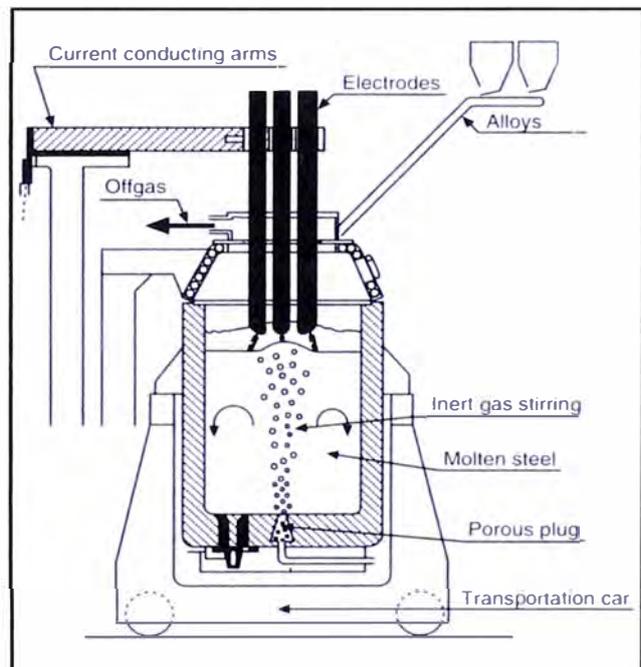


Figura N°20:Partes y componentes de un horno cuchara.

1.2.3 Área de Colada Continua

El objetivo de esta área es realizar la transformación liquido-sólido del acero líquido proveniente del horno cuchara, obteniéndose de esta transformación las palanquillas de acero, que finalmente resultan ser el producto final de la acería.

El proceso de lingotamiento continuo puede ser definido por las siguientes características:

1. El colado del acero es realizado a través de un molde con los extremos abiertos.
2. Las piezas coladas son más largas que la longitud del molde.
3. El tamaño del formato permite una reducción mínima en los procesos subsiguientes (laminación, forja o extrusión).



Figura N°21:Esquema de la maquina de colada continua.

1.2.4 Área de refractarios

En esta área se brinda el servicio de mantenimiento para todos los recipientes que tienen contacto con el acero líquido y cuyas paredes necesitan de materiales refractarios para poder mantener el contacto con el acero líquido sin que se perforen las carcasas metálicas que no resistirían las altas temperaturas.

Estos recipientes son por ejemplo: la cuba del horno de arco eléctrico, las cucharas donde se traslada el acero líquido, el tundish de la colada continua.



Figura N°22: Paredes de la cuba del horno eléctrico.



Figura N°23: Reparación de las paredes de la cuchara.

Capítulo II

ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 FUNCIÓN DE LA ESCORIA EN EL HORNO ELÉCTRICO.

¿Qué es escoria? La escoria puede lucir diferente dependiendo de la forma cuando usted lo mira y la química de la escoria es lo que influye cómo luce durante condiciones de fundición. En el horno durante la fundición, la escoria puede ser cremosa y suave, puede ser muy fluido y aguado o puede ser muy grueso. Hay razones por la que la escoria luce de esta manera y lo que se desea es comprender que es lo que causa esto así lograr escoria cremosa que espumará para proteger el horno.

Si usted toma una muestra de escoria del horno y la deja enfriar esta lucirá muy negro, se debe la presencia de "óxidos oscuros" como el óxido de hierro y óxido de manganeso que hacen que parezca negro. Estos fueron producidos durante la "fase de la oxidación" de fundición.

Fuentes Primarias de la escoria

1. La Oxidación de elementos metálicos en el metal base
Aluminio, silicio, cromo, manganeso, titanio, etc.
2. Azufre y fósforo no Metálicos
3. Adiciones de Flujo
Cal Dolomítica, cal alta de calcio, agitación, aluminatos de calcio
4. Refractarios disueltos CaO-MgO , Al_2O_3

Es importante saber que óxidos son ácidos y cuales son básicos para saber qué clase de ladrillos refractarios reacciona con estos óxidos. Una escoria ácida erosionará el revestimiento del horno porque los ladrillos son básicos. Una escoria ácida contiene las cantidades altas de SiO_2 , Al_2O_3 que puede hacer la escoria más delgada.

Una escoria básica contiene óxidos como MgO y CaO , que hace la escoria más gruesa. El FeO es la parte más importante de la escoria que causará que la cal se disuelva en temperaturas más bajas por lo que llamamos "fluidos". Si usted mira la temperatura en que se funde el CaO en 4.658°F y MgO en 5.072°F de ello puede ser visto por qué sería difícil sin FeO que baje al punto de fusión consiga cal o magnesia en la solución donde las temperaturas de acero son por debajo de 3.000°F .

2.2 PROPIEDADES ÚTILES DE LA ESCORIAS EN EL HORNO ELÉCTRICO DE REDUCCIÓN DE ACERO

- Aísla el baño, reduce las pérdidas de la temperatura.
- Ayuda en la desfosforación y absorbe algo de azufre.
- Ayuda al control de los tipos de inclusiones y los atrapa en el horno cuchara.
- Controla los niveles de oxígeno del acero y química del acero.
- Puede proteger acero del oxígeno y nitrógeno recolectado.
- Protege el horno del estallido del arco y la erosión refractaria.

2.3 EL HORNO ESCORIFICA

Algunos óxidos introducidos durante la fundición del desecho no nos dan energía. Ellos requieren más flujos, que reduce el rendimiento de hierro. Una consideración tiene que ser causada por el contenido de SiO_2 en la inyección de carbón, desecho sucio o silicio en otros materiales cargados en el horno.

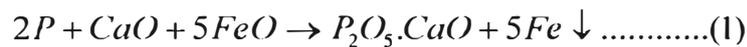
Por otro lado, los metales que se oxidan también ayuda a proporcionar energía química. Tiene que haber un equilibrio teniendo en cuenta las ventajas del costo entre estos conceptos de energía y requisitos materiales.

Las principales funciones de la escoria del horno son la eliminación de fósforo, revistiendo el horno para proteger el refractario y el armazón, proteger el arco y aumentar la eficiencia eléctrica.

2.4 LA ELIMINACIÓN DEL FOSFORO

Hay dos puntos a considerar en la utilización del oxígeno para hacer acero, es importante para la eliminación de fósforo y eliminación de carbón (descarburación).

El equilibrio de la actividad de oxígeno en el acero y el slag puede ser relacionado en la fase de la oxidación así como materias para ser utilizado para la desfosforación. La ecuación de retiro de fósforo del acero está en un lenguaje sencillo como un equilibrio pasado de moda. Al mirar la ecuación para este proceso:



2.5 REVESTIMIENTOS DE LOS HORNOS PARA LA PROTECCIÓN REFRACTARIA

La escoria es importante para proteger el horno. La química de los hornos refractarios es “básica” lo que significa que óxidos ácidos tales como FeO atacará y los erosionará por acción química. La escoria debe equilibrarse hacia el lado básico para prevenir erosión por escoria y provocando la acción de la espuma. Esto es por lo que añadimos CaO y MgO en la escoria.

Revistiendo la coraza del horno se puede reducir el calor perdido durante el enfriamiento de la coraza y salvar costos de energía. Demos un vistazo a la química de la escoria y que significa espuma de escoria y protección refractaria.

2.6 BASICIDAD DE LA ESCORIA

El termino basicidad de la escoria es un medio en el cual la metalurgia se refiere a como el ácido o como básico escoria están en relación con el refractario básico utilizado en horno y cucharas. Si la escoria es más ácida, este erosionará los ladrillos, si es más básica protegerá los ladrillos.

La basicidad de la escoria dependede la cantidad de cal y cal dolomítica añadida, los niveles de silicio y aluminio de metales cargados. Cuando usted va más bajo en la proporción hacia 1:1; nosotros tendemos a pensar que como siendo un ácido y el mayor ratio hacia 2:1 tendemos a pensar que es más básico.

2.7 INFLUENCIA DEL %FeO FINAL EN LA ESCORIA

El FeO en la escoria es proporcional al oxígeno disuelto en el acero. En todo escoria las reacciones de metal hay una proporción entre cuánto de una cosa está en el acero y cuánto está en la escoria. Esto es llamado la Proporción de la División. También, recuerda el concepto del equilibrio que lo que usted hace a la escoria usted también hace al acero líquido a causa de lo que llamamos el equilibrio, significando que el acero y la escoria quieren estar a una condición equilibrada.

Hay también una relación del contenido del carbón en el acero que controla el contenido de oxígeno del acero. Cuándo usted obtiene los niveles bajos del carbón, el oxígeno entonces reaccionará con hierro para formar FeO, que hace su escoria más delgada, y los impactos rinden las pérdidas.

2.8 DENSIDAD DE LA ESCORIA

El cálculo de esta propiedad física se realizó en función de la composición química y la temperatura. Se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M_1x_1 + M_2x_2 + \dots M_ix_i}{V} = \frac{M_1x_1 + M_2x_2 + \dots M_ix_i}{M_1V_1 + M_2V_2 + \dots M_iV_i} \dots\dots\dots(2)$$

Donde ρ es la densidad, V es el volumen molar de la escoria, M_i es el peso molecular de componente i x_i es la fracción molar del componente i y V_i es el volumen molar parcial del componente i .

Para este cálculo solo se consideró los porcentajes de Feo, CaO y SiO₂, además valores de tablas experimentales datos experimentales ya calculados como: $V_{FeO} = 15.8$, $V_{CaO} = 20.7$ y $V_{SiO_2} = 19.55 + 7.966 x_{SiO_2}$ para una temperatura de 1500 °C, que luego fueron llevados a 1600°C mediante la relación:

$$\frac{dV_i}{dT} = 0.01K^{-1} \dots\dots\dots(3)$$

2.9 TENSION SUPERFICIAL DE LA ESCORIA

De igual forma que el cálculo de la densidad, esta propiedad fue estimada sobre la base de la composición química y a la temperatura. Para esto se utilizó la fórmula siguiente:

$$\gamma_e^{gl} = \sum x_i \overline{\gamma}_i^{gl} \dots\dots\dots(4)$$

Donde γ_e^{gl} es la tensión superficial de la escoria, x_i fracción molar y $\overline{\gamma}_i^{gl}$ es tensión superficial molar parcial; se obtuvo de tablas a 1500°C los siguientes datos:

$\overline{\gamma}_{FeO}^{gl} = 545$, $\overline{\gamma}_{CaO}^{gl} = 625$, $\overline{\gamma}_{SiO_2}^{gl} = 625$ y se llevo a 1600°C mediante la relación siguiente:

$$\frac{d\gamma_e^{gl}}{dT} = -0.15 mN.m^{-1}.K^{-1} \dots\dots\dots(5)$$

2.10 CAPACIDAD CALORIFICA DE LA ESCORIA

Esta propiedad se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$C_p = x_1 \overline{C}_{p,1} + x_2 \overline{C}_2 + \dots x_n \overline{C}_{p,n} \dots\dots\dots(6)$$

Donde: C_p es la capacidad calorífica de la escoria, x_i es la fracción molar y $\overline{C}_{p,i}$ es capacidad calorífica molar parcial.

Utilizando los valores de tablas de capacidad calorífica molares parciales de los componentes de las escorias en estado fundido: $C_{pFeO} = 766 J / mol * K$, $C_{pCaO} = 80.8 J / mol * K$ y $C_{pSiO} = 87 J / mol * K$.

2.11 CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA ESCORIA

El transporte de calor a través de una escoria tiene dos componentes fundamentales: la componente de radiación, K_r y la componente de conducción K_c . La constante efectiva de calor, K_e , será igual a:

$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{K_r d} + \frac{1}{K_c} \dots\dots\dots(7)$$

Donde d es el espesor de la escoria; debido a que en las escorias metalúrgicas existe la presencia de FeO y MnO impide el transporte de radiación infrarroja convirtiendo el mecanismo de conducción como el principal responsable del transporte de energía en la escoria. $K_e = K_c$. Empíricamente se puede señalar que:

$$K_e = \frac{1.80 * 10^{-5}}{V} \dots\dots\dots(8)$$

Donde V es el volumen molar de la escoria expresado en m^3/mol .

2.12 METODOS DE NIVELES DE ACERO Y ESCORIA DEL HOT – HEEL (MNAEHH)

Este metodo esta en una fase primaria pues su objetivo inicial es el de comprobar que calculos sencillos de volumenes y densidades permitiran encontrar un valor estimado muy cercano al real de masa de escoria y acero.

Esta basado en la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho * V \dots \dots \dots (9)$$

la densidad de la escoria en función del óxido de hierro para el minuto cero de horno conectado como veremos tambien en la figura 32.

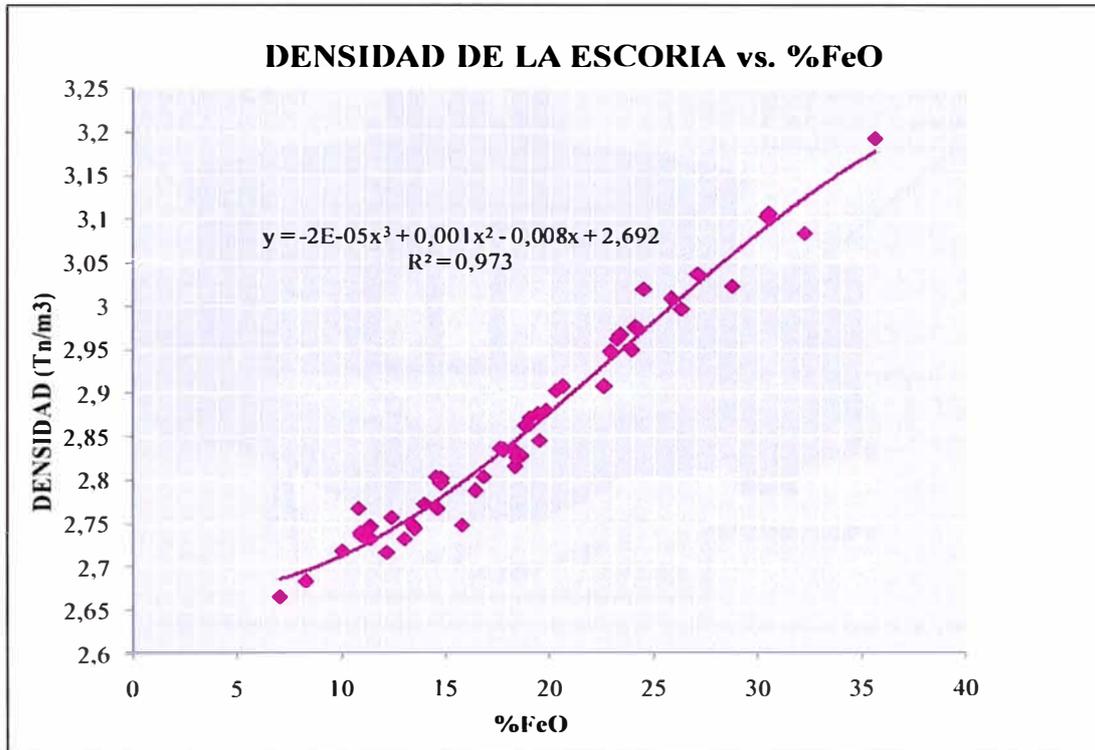


Figura N°24: Densidad de la escoria en función del porcentaje de FeO.

De la cual obtenemos la siguiente ecuación:

$$\rho = 2 * 10^{-5}(\%FeO)^3 + 0.0013(\%FeO)^2 + 0.0088(\%FeO) + 2.692.....(10)$$

Con esto ya podríamos estimar una densidad de escoria teniendo en cuenta el %FeO, como sabemos también la densidad del acero líquido es de aproximadamente 7 Tn/m³; entonces solo tendríamos que calcular algunos volúmenes por este motivo utilizamos la siguiente lógica:

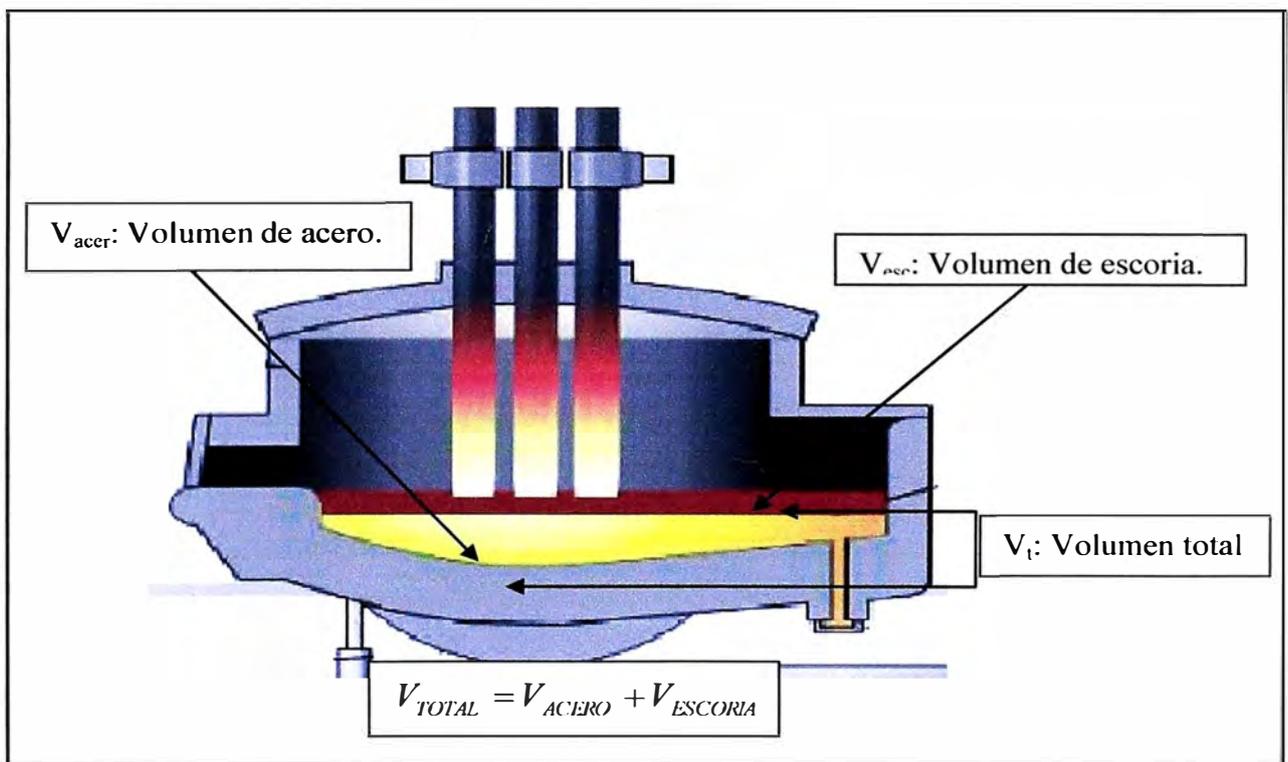


Figura N°25: Esquema de análisis para el cálculo de volúmenes.

Ya que la geometría del volumen total y el volumen del acero son formas que se adaptan a la capacidad del recipiente y son formas similares podríamos calcular el

volumen de la escoria mediante la diferencia de los dos volúmenes mencionados anteriormente.

$$V_{escoria} = V_{total} - V_{acero} \dots \dots \dots (11)$$

Viendo estas condiciones es que se realizó un diseño (en autocad) de la capacidad de la cuba hasta el nivel del banquete en tres dimensiones en base a los planos de la cuba; para luego ser calculado el volumen de dicho sólido mediante el software de diseño utilizado.

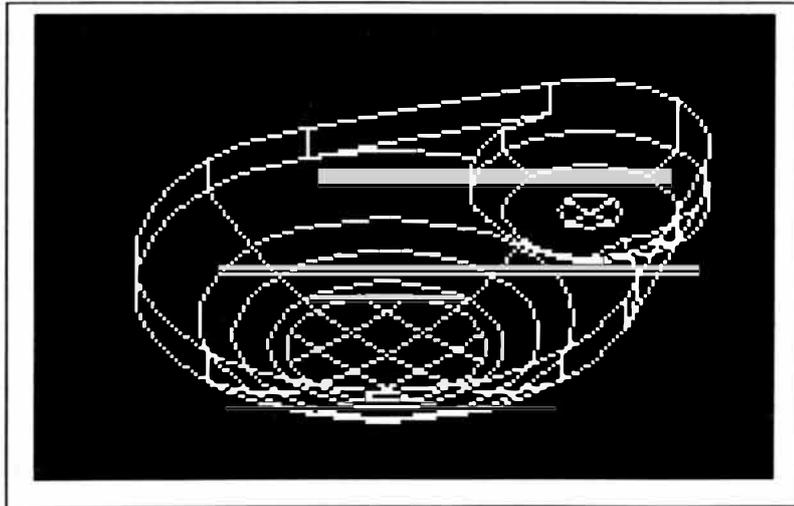


Figura N°26:Cuba en 3D hasta el nivel del banquete.

Paso siguiente se busco conocer como es que varia la capacidad (volumen) en función de la profundidad tomando como nivel cero el nivel del banquete del horno y llamando profundidad a la distancia vertical que existia desde este nivel cero hacia algun punto dentro de la cuba a cierta profundidad (FiguraN°3).

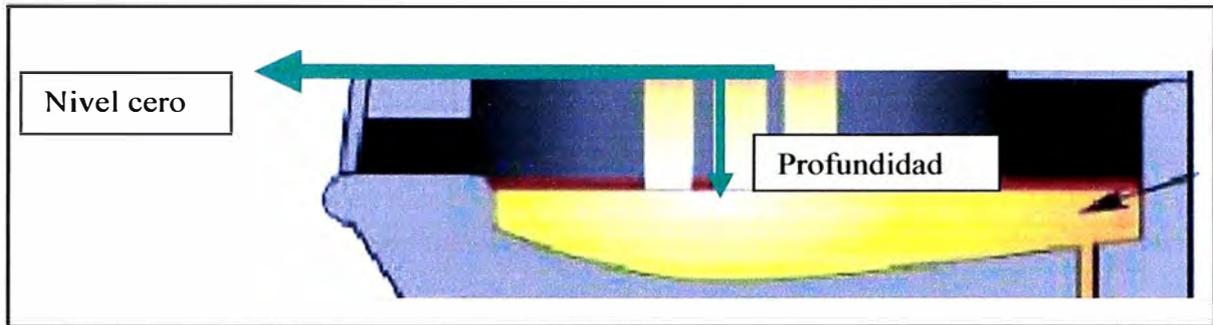


Figura N°27: Nivel cero y Profundidad.

Teniendo esta idea clara se empezó a generar y medir volúmenes en autocad que eran producto de un cortar el solido generado mediante un plano paralelo a la vista de planta cada 10cm. bajo el nivel cero.Obteniendose de tal forma una gráfica Volumen vs Profundidad como se muestra a continuación.

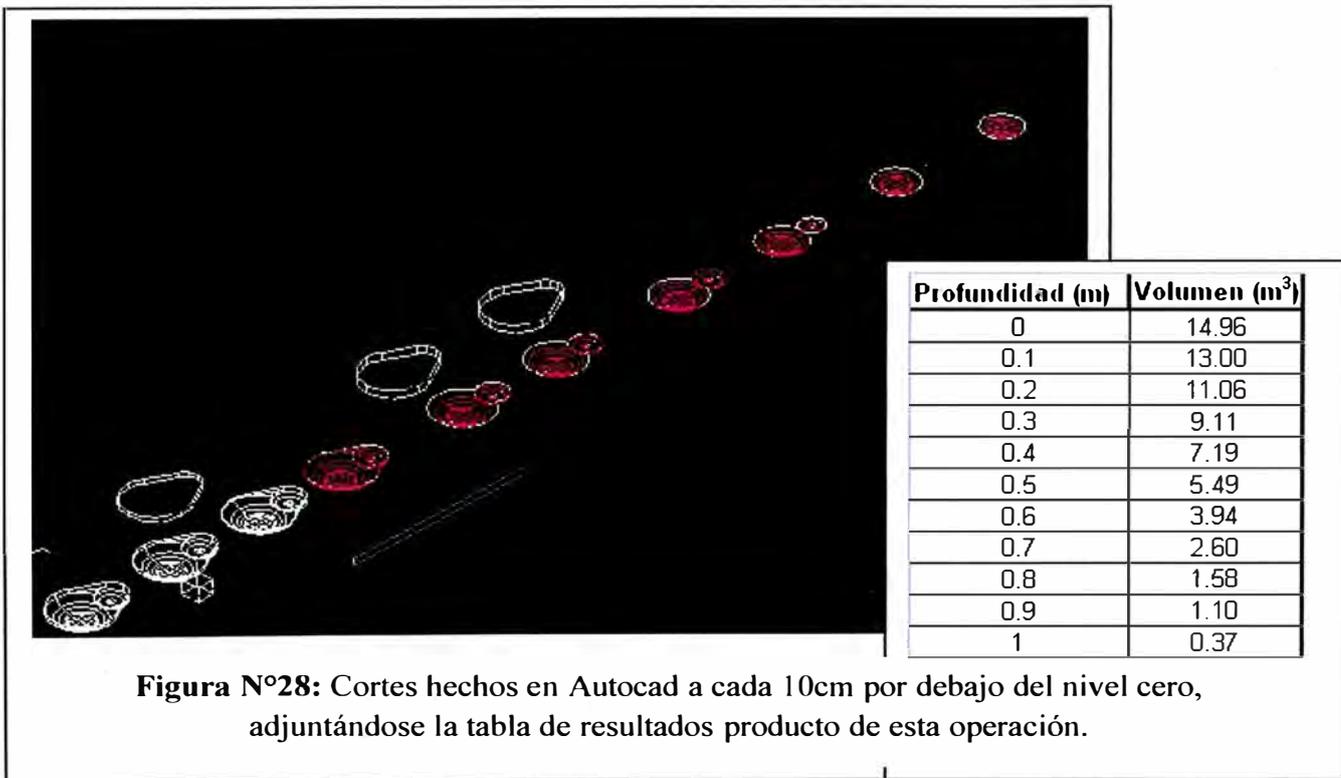


Figura N°28: Cortes hechos en Autocad a cada 10cm por debajo del nivel cero, adjuntándose la tabla de resultados producto de esta operación.

De la Tabla que se adjunta en la Figura N°28 obtenemos la siguiente tendencia :

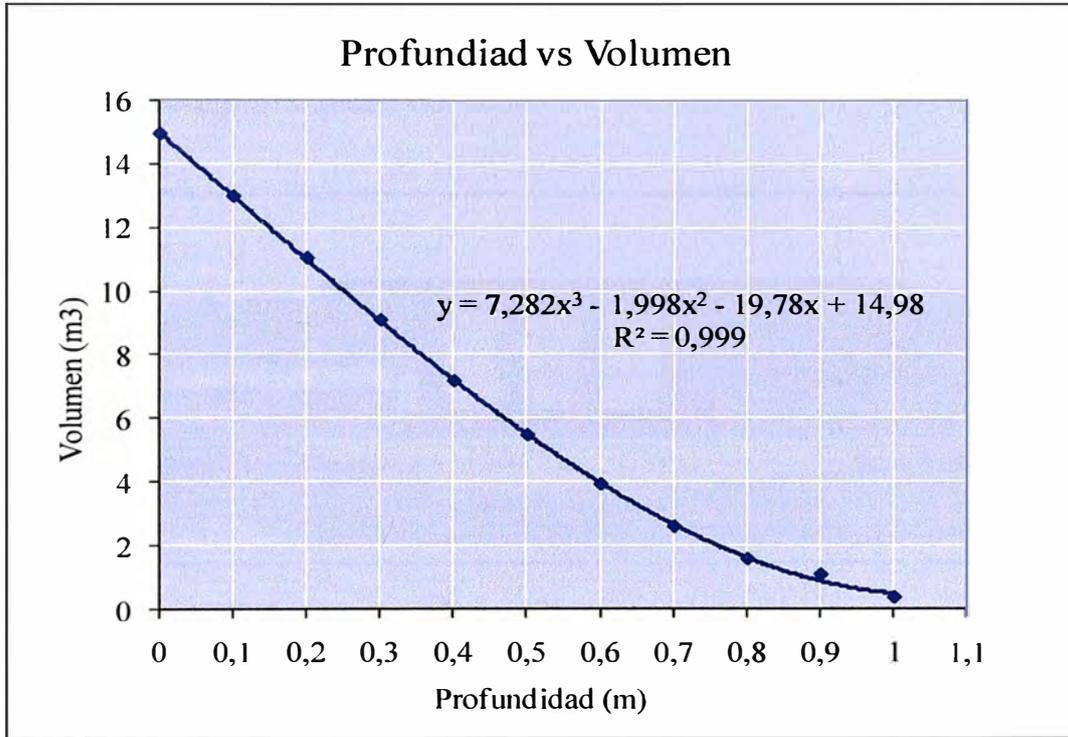


Figura N°29: Grafica obtenida profundidad vs. Volumen

De esta manera podemos plantear:

$$V = 7.2824H^3 - 1.9983H^2 - 19.873H + 14.988.....(10)$$

Donde V es el volumen y H es la profundidad; Ya que tenemos tanto la densidad de la escoria en función del %FeO y los Volúmenes en función de la profundidad, podríamos conocer entonces tanto la masa de la escoria como la masa de acero. Solo quedaría diseñar un instrumento que pueda medir la profundidad del volumen total y la profundidad del volumen del acero.

Esta herramienta la llamaremos “Escorímetro” la cual fue diseñada en forma de “L” para que sea introducida por el banquete de la forma que se indica en la *figura*

Nº5 para medir el nivel de escoria que será un claro indicador de la profundidad a la que se encuentra la superficie del volumen total mientras que la parte que entra en contacto con el acero líquido (de color amarillo) será disuelta y hasta donde quede disuelta será nuestra profundidad del acero

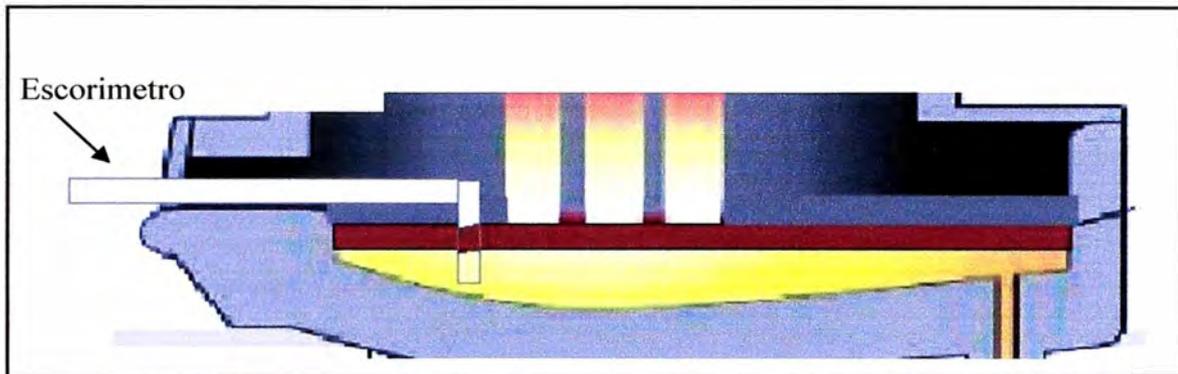


Figura N°30: Esquema de la utilización del escorimetro.

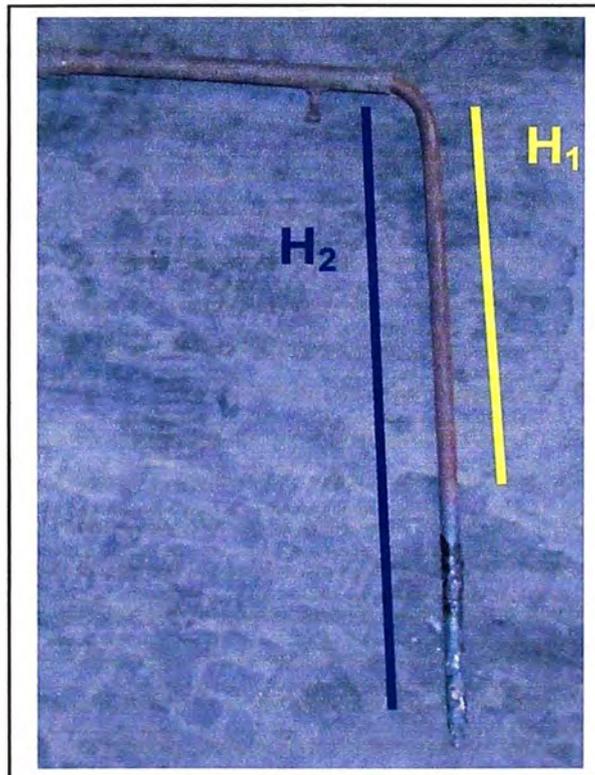


Figura N°31: Muestras de las marcas dejadas luego de la aplicación del método MNAEHH que indica a H_1 como la profundidad del volumen total y a H_2 como la profundidad del volumen de acero.

Con H_2 y H_1 datos reemplazados en la ecuación (10) individualmente estaríamos consiguiendo entonces el volumen total y también el volumen de acero; cuya diferencia nos daría el volumen de escoria. Luego esto ya contamos con datos como densidad de acero, volumen de acero, densidad de escoria, volumen de escoria; entonces ya podremos calcular la masa de acero y la masa de escoria en el hot heel.

Capítulo III

EXPERIENCIAS EN HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA E ÍNDICE DE BASICIDAD BINARIA

A continuación la data obtenida de la toma de muestras de escoria al minuto cero, minuto 20 y minuto 36 de horno conectado de los reportes del análisis por vía húmeda que serán la base con la que haremos nuestras estimaciones.

Tabla N°5: Composición química de la escoria
minute cero de horno conectado.

	%Fe	%FeO	%CaO	%SiO₂	IB
	7.3	16	26.1	30.0	0.9
	1.8	16	30.3	34.5	0.9
	1.7	14	29.3	30.7	1.0
	0.3	25	22.4	18.9	1.2
	5.5	18	30.5	26.1	1.2
	12.7	11	36.6	26.6	1.4
	3.15	15	29.2	29.5	1.0
	4.5	18	29	29.5	1.0
	20.1	23	26.2	20.8	1.3
	23.6	27	23.5	19.8	1.2
	6.8	36	18.1	18.3	1.0
	21.8	29	19.0	24.0	0.9
	0.4	31	25.0	16.9	1.5
	4.9	24	27.3	20.4	1.3
	11.6	20	30.7	27.4	1.1
	22.1	32	25.4	20.1	1.3
	24.7	23	25.1	21.4	1.2
	29.4	19	28.8	24.5	1.2
	1.5	18	30.0	25.6	1.2
	10.8	26	25.7	20.0	1.2
	5.8	23	24.5	26.0	0.9
	10.1	13	29.9	29.9	1.0
	1.8	15	32.8	23.9	1.4
	13.0	10	35.4	27.3	1.3
	21.8	19	32.4	27.9	1.2
	4.9	12	28.4	31.9	0.9
	3.1	11	29.5	22.0	0.9
	0.6	18	26.2	28.5	0.9
	29.6	14.8	28.1	25.5	1.1
	6.0	13.0	24.2	30.7	0.8
	6.3	11.4	29.1	28.2	1.0
	7.6	12.4	34.4	26.5	1.3
	22.6	22.9	27.9	21.4	1.3
	12.7	10.9	34.5	26.0	1.3
	12.7	10.9	34.5	26.0	1.3
	18.7	19.8	26.5	24.6	1.1
	5.4	11	32.4	26.2	1.2
	24.7	19	26.8	24.3	1.1
	7.4	20	24.9	23.3	1.1
	21.3	21	26.8	22.8	1.2
	5.3	14	34.0	27.3	1.2
	3.1	15	34.3	25.3	1.4
	21.6	26	22.7	22.6	1.0
	38.2	30	22.4	18.3	1.2
	21.7	24	24.3	21.7	1.1
	7.7	24	24.8	23.5	1.1
	23.8	19	29.0	23.8	1.2
	14.0	17	29.6	28.4	1.0
	1.3	7	30.6	28.9	1.1
	4.8	8	29.1	28.7	1.0
	1.0	18	27.1	27.6	1.0
V. MIN.	0.3	7.0	18.1	16.9	0.8
V. MAX.	38.2	35.6	36.6	34.5	1.5

Tabla N°6: Composición química de la escoria
minute 20 de horno conectado.

	%Fe	%FeO	%CaO	%SiO2	IB
	40.5	36.2	21.5	16.2	2.2
	12.2	32.2	18.6	12.5	1.5
	3.2	36.1	17.1	12.8	1.3
	30.2	48.3	10.7	11.9	0.9
	35.0	55.4	11.7	10.4	1.1
	21.8	61.4	8.3	10.6	0.8
	3.2	36.1	17.1	12.8	1.3
	5.8	57.5	9.4	7.3	1.3
	12.7	67.1	8.3	6.2	1.3
	4.6	47.8	17.1	13.5	1.3
	18.1	30.6	23.6	19.6	1.2
	22.4	59.7	8.5	9.0	0.9
	57.2	67.4	6.0	8.1	0.7
	30.6	41.5	21.3	14.0	1.5
	22.9	39.2	18.9	13.5	1.4
	5.8	57.5	9.4	7.3	1.3
	40.5	36.2	21.5	16.2	2.2
	23.8	35.7	22.8	16.5	1.4
	1.3	55.5	10.0	11.2	0.9
	0.7	38.0	20.6	15.5	1.3
	13.6	31.7	29.7	14.7	2.0
	10.6	25.8	24.1	27.4	0.9
	27.1	34.7	25.2	16.1	1.6
	9.1	25.0	29.9	19.2	1.6
	13.6	23.1	36.7	15.6	2.4
	6.4	21.4	21.4	17.9	1.2
	24	22.2	23.8	23.6	1.0
	14.2	31.2	26.0	15.5	1.7
	43.1	17.0	34.2	27.6	1.2
	21.8	18.6	32.4	27.9	1.2
	6.5	24.7	29	21.3	1.4
	8.3	21.6	27.5	22.7	1.2
	16.1	19.9	36.8	19.3	1.9
	11.4	37.4	25.4	17.6	1.4
V. MIN.	0.7	17.0	6.0	6.2	0.7
V. MAX	57.2	67.4	36.8	27.9	2.4

Tabla N°7: Composición química de la escoria
minute 36 de horno conectado.

	%Fe	%FeO	%CaO	%SiO2	IB
	1.9	32.1	20.8	20.8	1.0
	2.4	27.7	23.5	19.9	1.2
	6.8	20.2	28.1	27.0	1.0
	15.4	19.9	31.7	25.0	1.3
	17.2	21.0	28.2	27.0	1.0
	5.3	22.2	22.4	22.3	1.0
	23.9	24.4	29.3	23.3	1.3
	6.8	26.5	30.9	28.3	1.1
	11.8	18.1	31.9	25.3	1.3
	28.2	30.6	24.4	17.2	1.4
	13.8	36.8	22.5	17.1	1.3
	36.8	34.5	24.1	19.2	1.3
	1.1	29.6	23.7	19.5	1.2
	27.7	29.0	26.5	20.0	1.3
	6.8	26.0	26.5	22.5	1.2
	5.3	23.7	23.7	21.3	1.1
	5.5	29.4	22.4	20.6	1.1
	14.4	26.9	25.2	19.7	1.3
	47.8	25.7	29.4	21.6	1.4
	37.7	20.8	32.1	21.9	1.5
	21.7	18.5	30.0	29.8	1.0
	5.1	20.6	26.2	23.0	1.1
	6.0	20.4	26.9	25.5	1.1
	2.9	30.9	24.0	21.1	1.1
	1.7	31.8	22.1	19.4	1.1
	2.7	28.8	25.9	19.2	1.3
	3.2	24.2	23.4	17.2	1.4
	26.7	26.2	29.5	17.8	1.7
	4.7	19.1	27.2	28.5	1.0
	16.7	21.5	25.1	28.0	0.9
V. MIN.	1.1	18.1	20.8	17.1	0.9
V. MAX	47.8	36.8	32.1	29.8	1.7

3.2 DENSIDAD DE LA ESCORIA

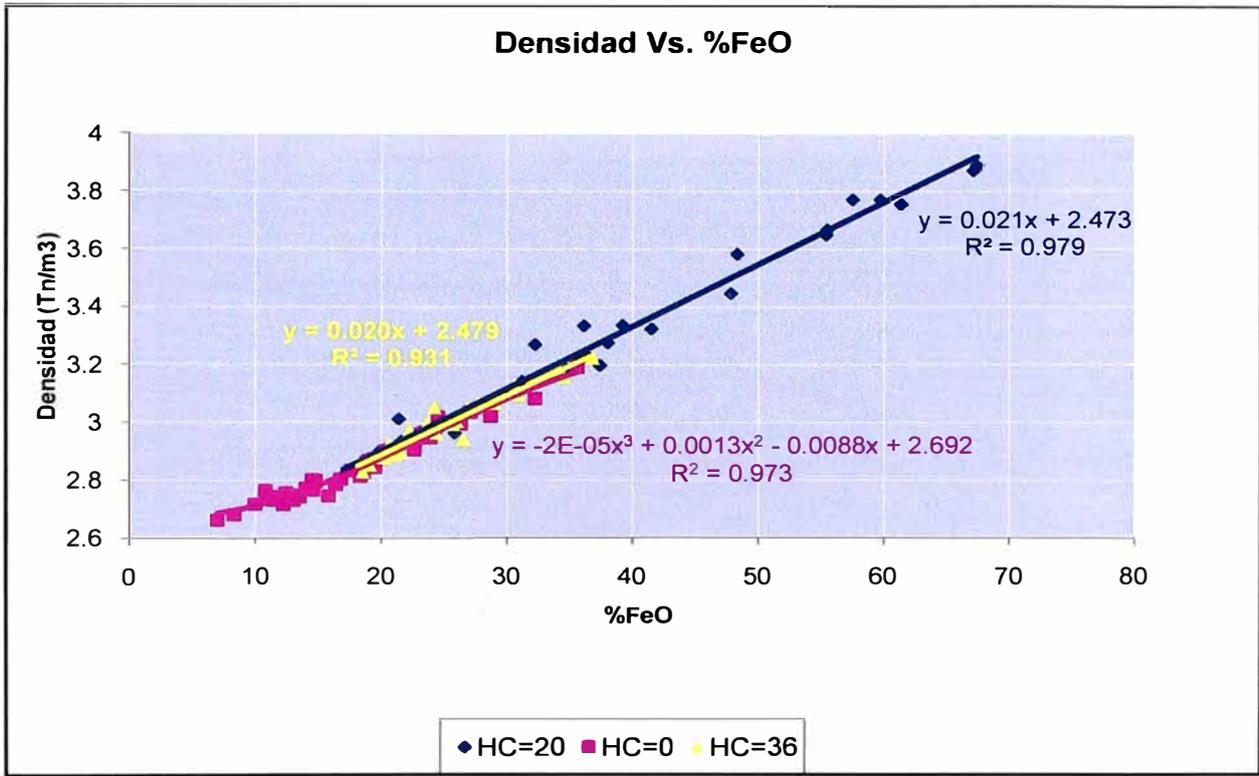


Figura N°32: Variación de la densidad de la escoria en función del oxido de hierro y del tiempo de horno conectado.

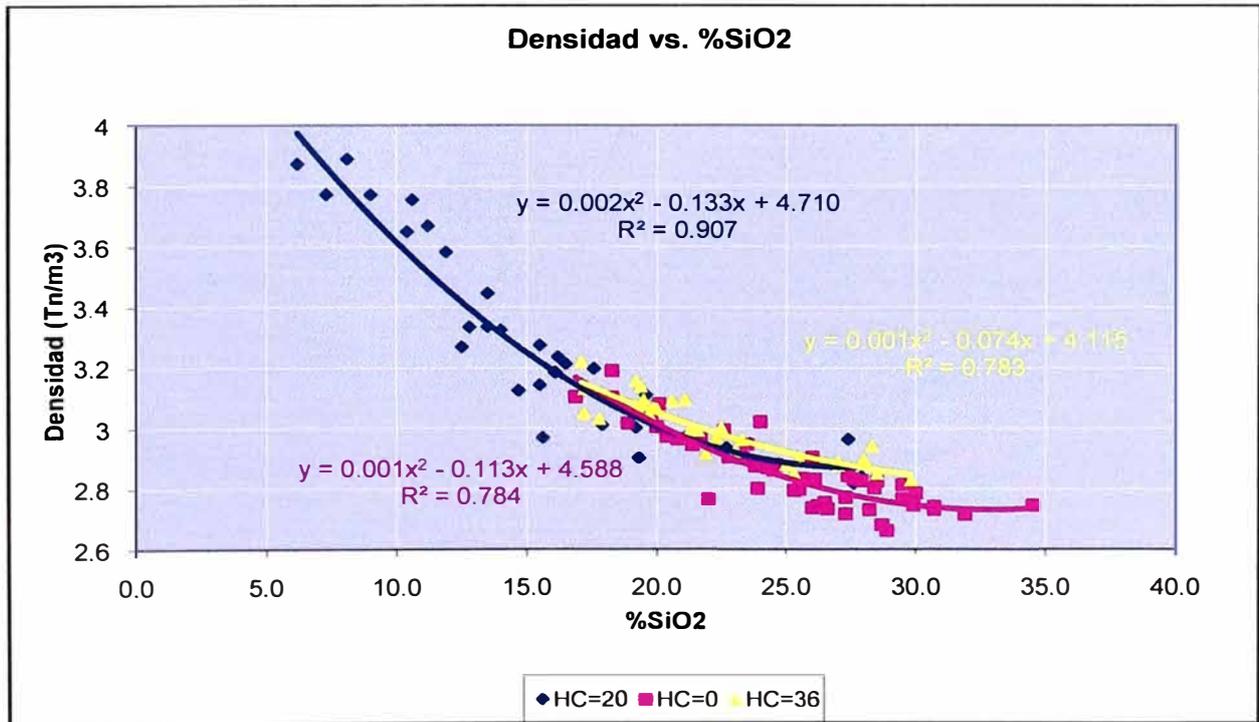
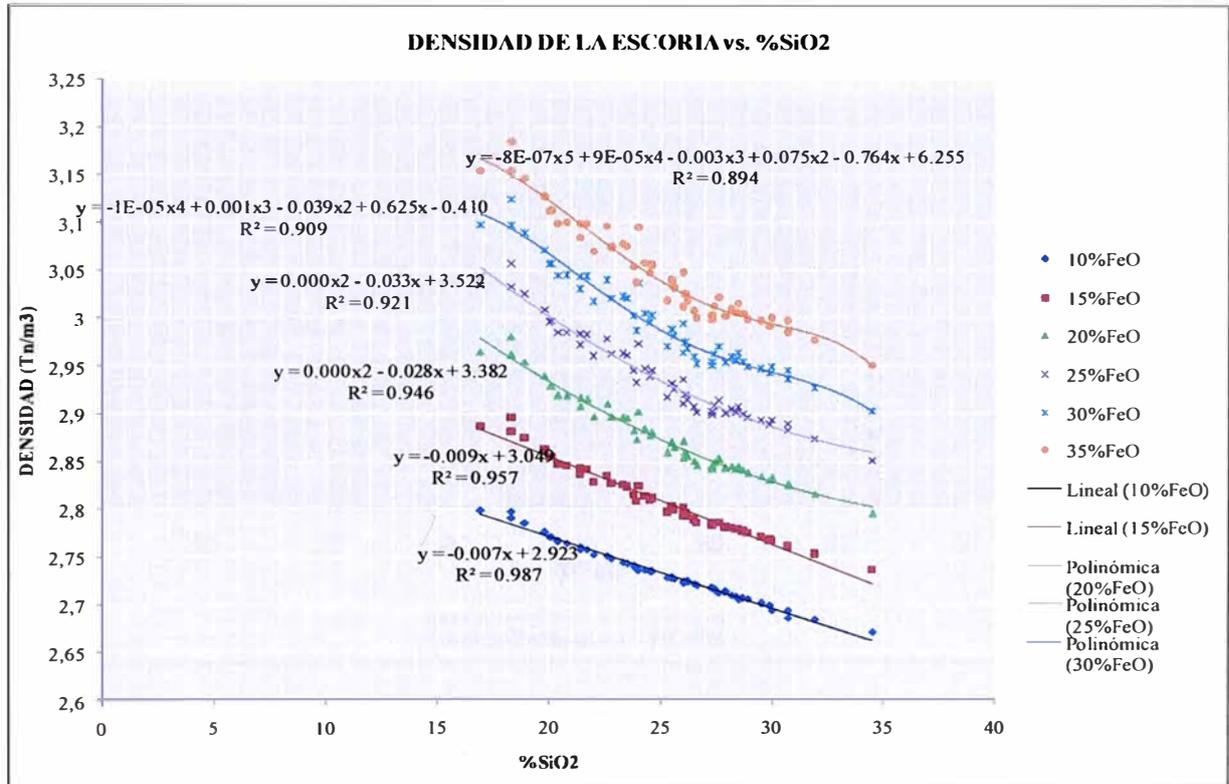


Figura N°33: Variación de la densidad de la escoria en función de la sílice y del tiempo de horno conectado.

Figura N°34: Variación de la densidad de la escoria en función de la sílice y con %FeO constante al minuto cero de horno conectado.



3.3 TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA ESCORIA

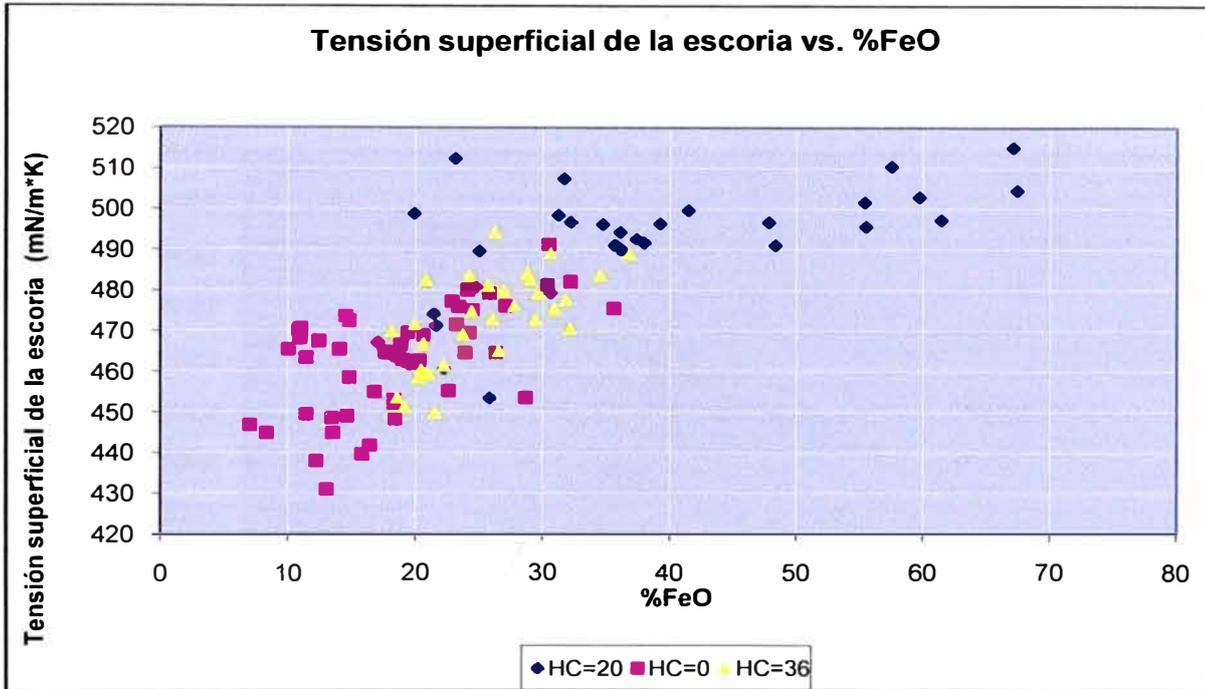


Figura N°35: Variación de la tensión superficial de la escoria en función del óxido de hierro y del tiempo de horno conectado.

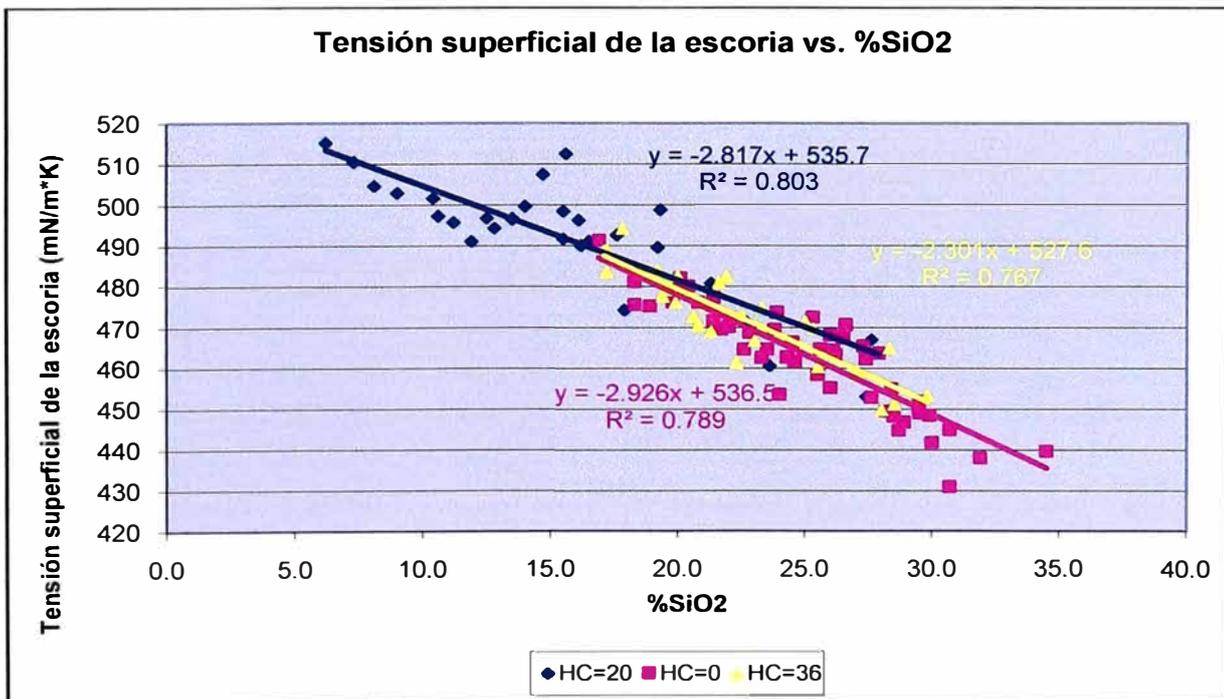


Figura N°36: Variación de la tensión superficial de la escoria en función del óxido de calcio y del tiempo de horno conectado

3.4 CAPACIDAD CALORIFICA DE LA ESCORIA

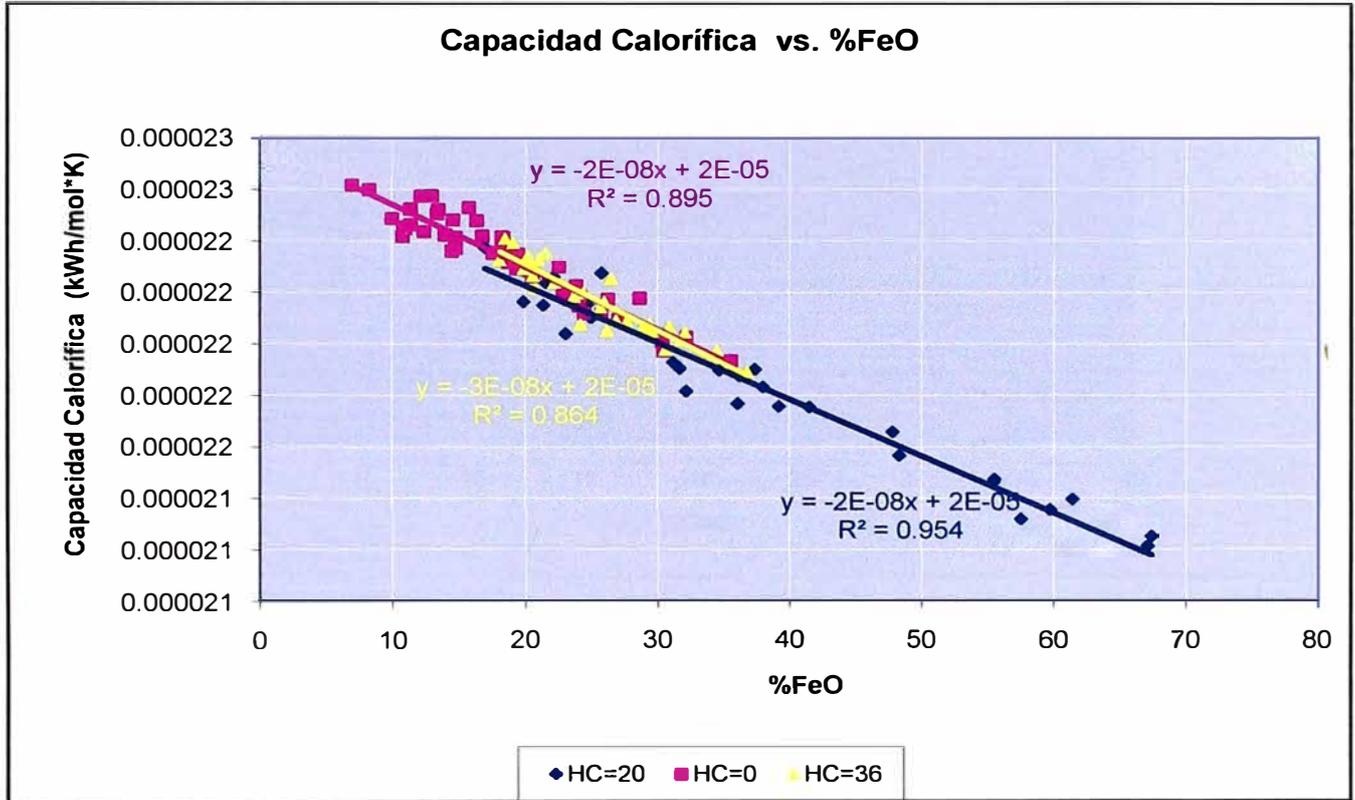


Figura N°37: Variación de la capacidad calorífica de la escoria en función del óxido de Hierro y del tiempo de horno conectado.

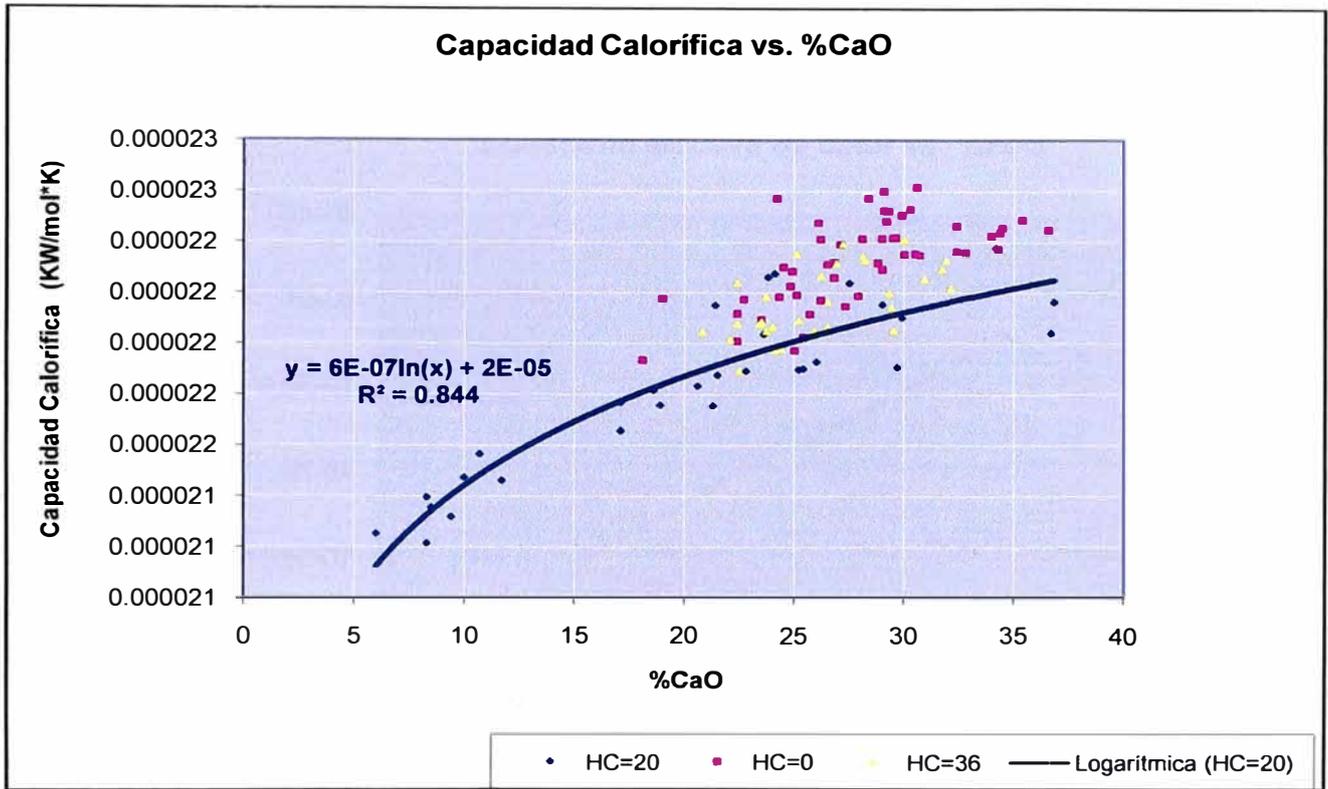


Figura N°38: Variación de la capacidad calorífica de la escoria en función del óxido de calcio y del tiempo de horno conectado.

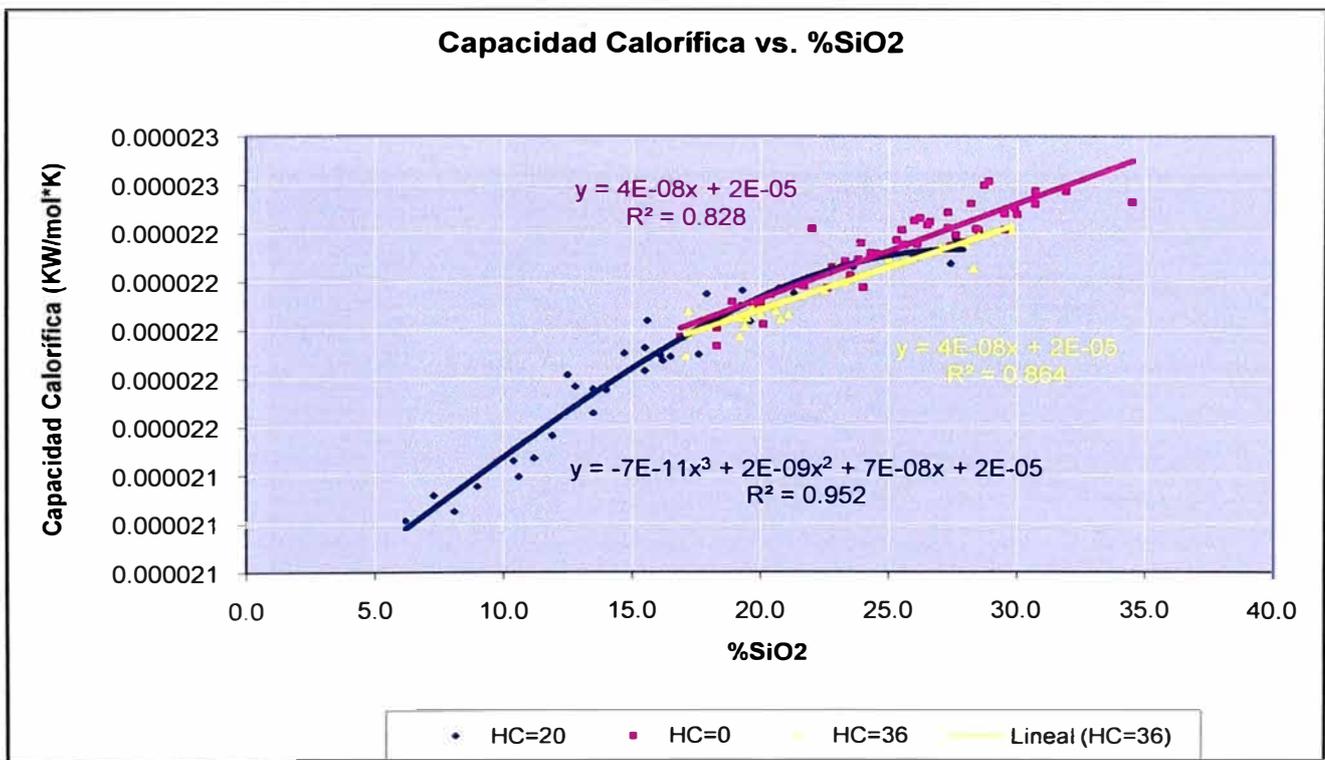


Figura N°39: Variación de la capacidad calorífica de la escoria en función de la silice y del tiempo de horno conectado.

3.5 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA ESCORIA

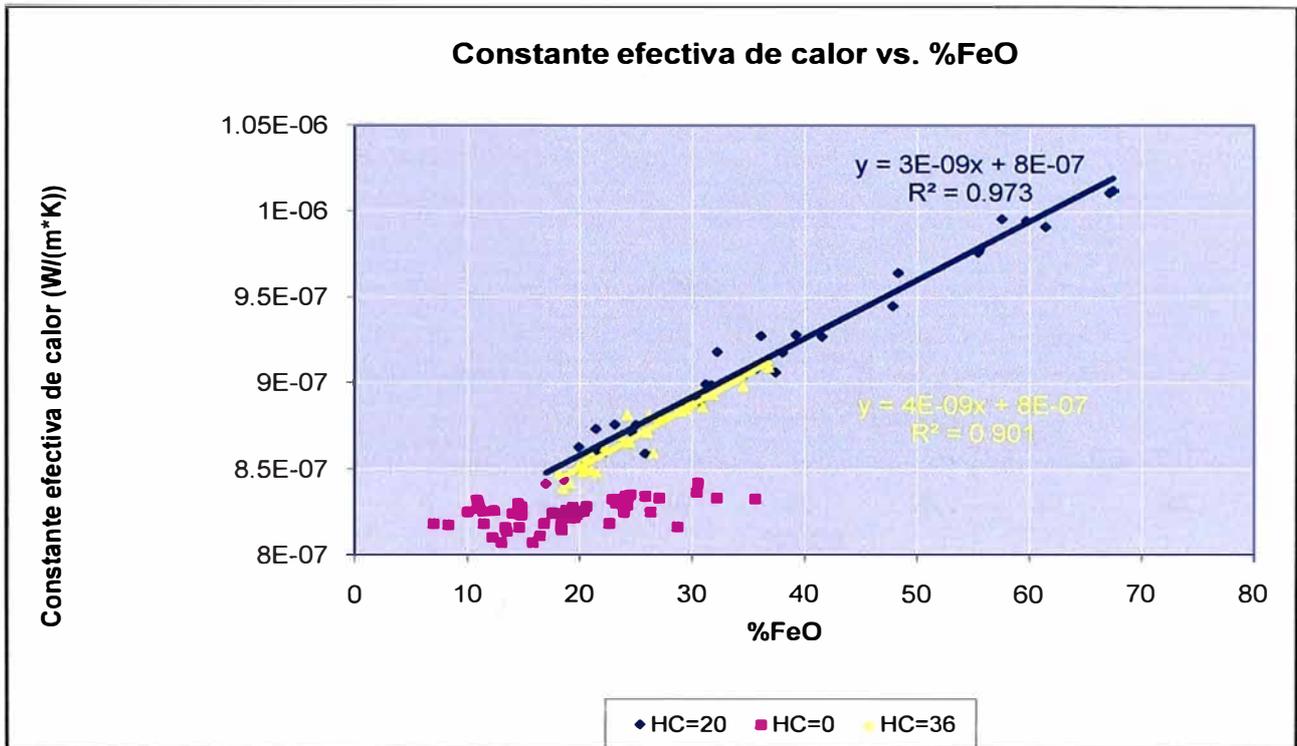


Figura N°40: Variación de la constante efectiva de calor de la escoria en función del oxido de hierro y del tiempo de horno conectado.

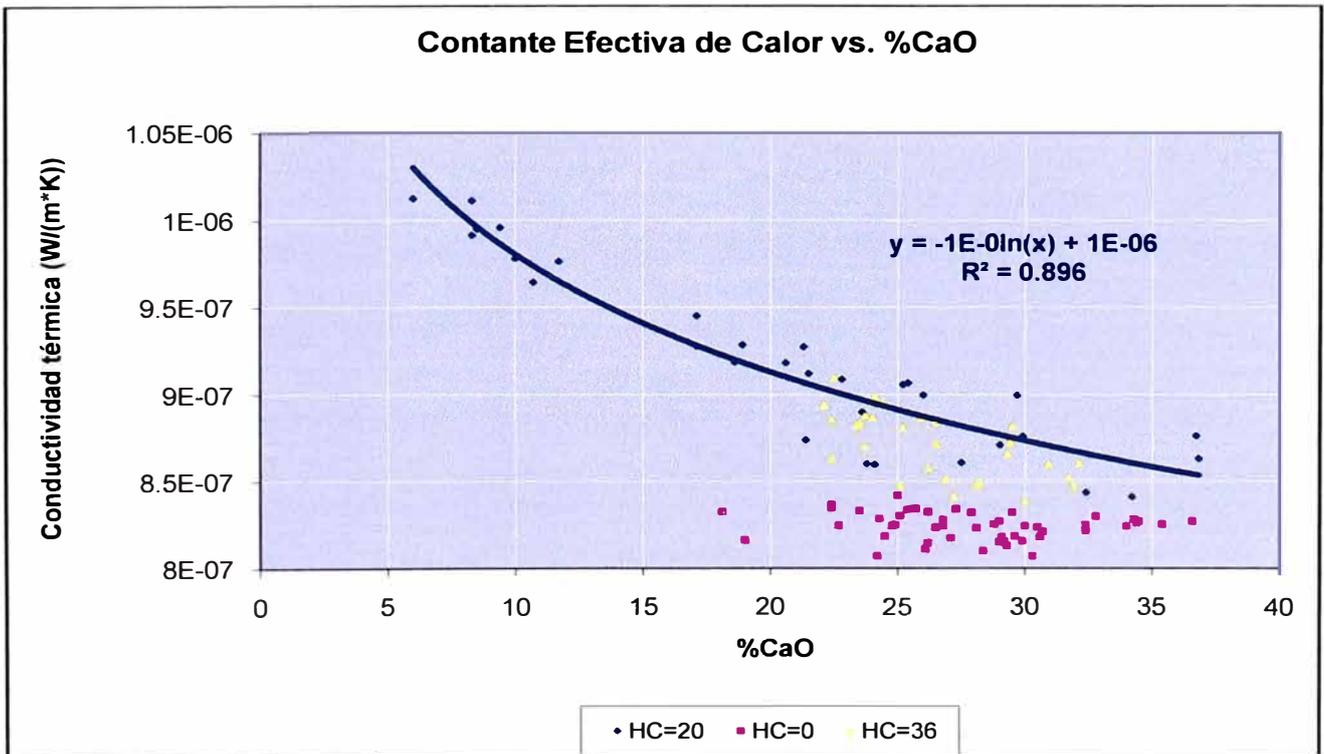


Figura N°41: Variación de la constante efectiva de calor de la escoria en función del oxido de calcio y del tiempo de horno conectado.

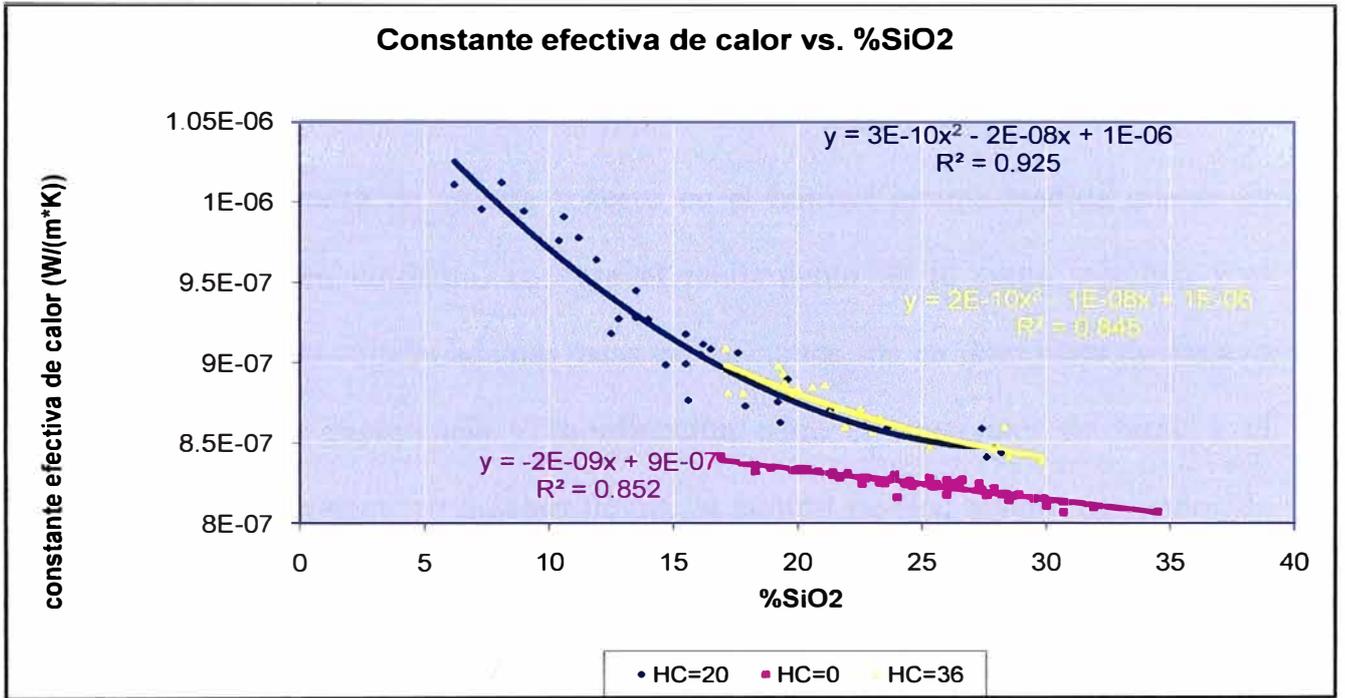


Figura N°42: Variación de la constante efectiva de calor de la escoria en función de la silicey del tiempo de horno conectado.

3.6 MEDICIÓN DE LA MASA DE ESCORIA Y ACERO EN EL HOT-HELL

La estimación de masa de escoria y acero en el hotheel es una medida que se ha estado estimando en conjunto, en base al rendimiento de la carga metálica y al seguimiento de cada colada; además estas estimaciones son en gran parte de manera visual debido a la experiencia y coordinación entre el supervisor de turno y el operador del horno eléctrico quienes llevan un control de los niveles sangrados de acero y de la chatarra cargada en colada; para al final de la producción del día; es decir la última colada, poder cargar un tonelaje adecuado de carga metálica que no provoque un exceso de acero sangrado en la cuchara que traería problemas para el ajuste con riesgos como el de perforar la cuchara, dejar acero en el horno o en todo caso tonelajes mínimos que no permitan tener una productividad óptima.

Debido a que estos valores de escoria y acero en hot heel varían colada a colada los balances tanto de energía como de masa no tienen un buen sustento porque estos son basados en materias que entran al horno y en productos que salen del horno, como bien se entiende el hot heel viene a ser uno de los ingresos de materia y de los que aporta energía para la fusión de chatarra.

Viendo esta situación es que se plantea un método basado en cálculos de densidad en función de la composición química y temperatura además de cálculos geométricos de volumen que son ajustados a curvas que permitan estimar los valores de escoria y acero en el hot heel de manera más exacta y para cada una de las coladas. A este método lo llamaremos “Método de Niveles de Acero y Escoria del Hot Heel (MNAEHH).

3.6.1 Validación del Método:

Para comprobar este método el unico momento apropiado era segundos antes que se cargue la ultima colada, ya que al final de esta colada podriamos saber realmente cuanto acero quedó en el Hot Heel al momento del sangrado, debido a que; según el plano de la cuba a nivel de profundidad de 22cm es la capacidad máxima para 80 toneladas de acero (11.4m^3 de volumen si tomamos una densidad de 7 para el acero) se hizo un ajuste comparandolo con cuanto daba como volumen a ese nivel muestra ecuación (10) dandonos con la sorpresa que a ese nivel existia una diferencia de 0.8m^3 que serian sumados al volumen del acero, debido a este nuevo valor contariamos con un rango de valores delimitado por un límite inferior (masa según el volumen que se calcula en la ecuación (10) y un límite superior (masa según el valor de volumen que se calcula con el ajuste).

RESULTADOS

Tabla N°8:Tabla de resultados de las muestras *tomadas*.

Muestra	H ₁ (m)	H ₂ (m)	%FeO	D _{esc} (Tn/m ³)	V _{esc} (m ³)	M _{esc} (Tn)	Vacer s/aj (m ³)	Vacer c/aj (m ³)	Media V _{acer} (m ³)	M _{acer} s/aj (Tn)	M _{acer} c/aj (Tn)	Media M _{acer} (Tn)	M _{acer} Real (Tn)	M _{acer} Real-M _{acer} s/aj	M _{acer} Real-M _{acer} c/aj	Nro de Colada (Cuba)	%Error
14	0.43	0.90	14.00	3.08	5.82	17.93	0.87	1.67	1.27	6.11	11.71	8.90	8.10	-1.99	3.61	183.00	10.06
13	0.26	0.69	13.00	2.98	7.06	21.03	2.78	3.58	3.18	19.45	25.05	22.30	18.20	1.25	6.85	157.00	22.26
12	0.40	0.60	15.00	3.18	3.25	10.33	3.97	4.77	4.37	27.80	33.40	30.60	28.00	-0.2	5.40	132.00	9.30
11	0.30	0.66	15.00	3.18	5.92	18.81	3.15	3.95	3.55	22.08	27.68	24.90	18.00	4.08	9.68	79.00	38.23
10	0.23	0.47	13.00	2.98	4.42	13.16	6.00	6.80	6.40	42.03	47.63	44.80	42.62	-0.59	5.01	50.00	5.19
9	0.57	0.73	12.00	2.88	2.10	6.04	2.30	3.10	2.71	16.20	21.80	19.00	24.00	-7.80	-2.20	22.00	20.83
8	0.28	0.47	14.00	3.08	3.45	10.62	6.00	6.80	6.40	42.03	47.63	44.80	35.00	7.03	12.63	505.00	28.09
7	0.32	0.66	12.00	2.88	5.54	15.95	3.15	3.95	3.55	22.08	27.68	24.90	37.44	-15.36	-9.76	485.00	33.54
6	0.21	0.57	15.00	3.18	6.40	20.36	4.41	5.21	4.81	30.88	36.48	33.70	32.20	-1.32	4.28	462.00	4.59
5	0.49	0.70	13.00	2.98	3.35	9.97	2.66	3.46	3.06	18.61	24.21	21.40	33.00	-14.39	-8.79	363.00	35.12
4	0.39	0.76	13.00	2.98	5.41	16.11	2.00	2.80	2.40	13.97	19.57	16.80	23.00	-9.03	-3.43	342.00	27.09
3	0.26	0.50	14.00	3.08	4.33	13.34	5.51	6.31	5.91	38.55	44.15	41.40	39.00	-0.45	5.15	319.00	6.03
2	0.51	0.69	13.00	2.98	2.57	7.65	2.78	3.58	3.18	19.45	25.05	22.30	27.00	-7.55	-1.95	237.00	17.59
1	0.26	0.56	14.00	3.08	5.28	16.25	4.56	5.36	4.96	31.93	37.53	34.70	33.00	-1.07	4.53	212.00	5.25

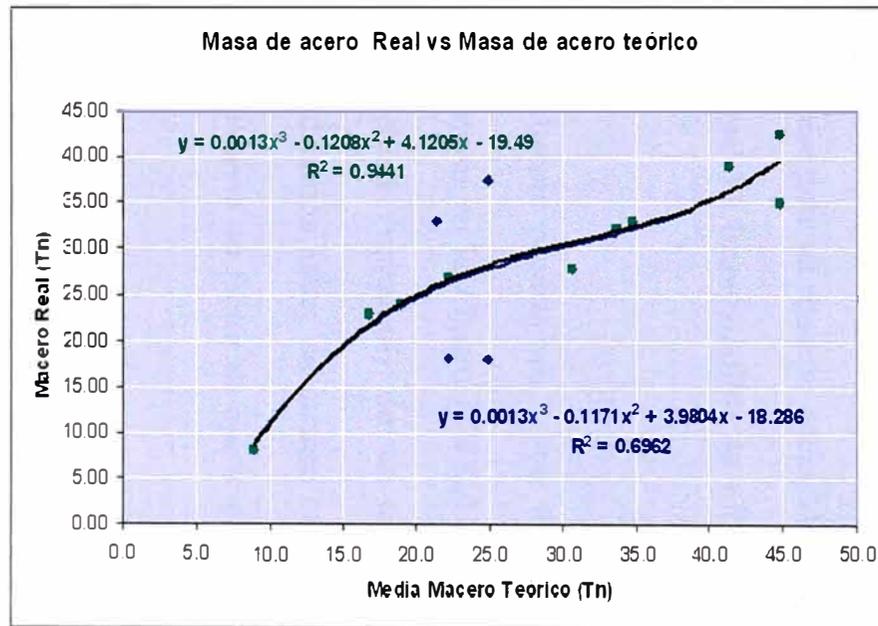


Figura N°43: Los cuatro puntos marcados de azul disminuyen nuestra precisión en nuestro un modelo.

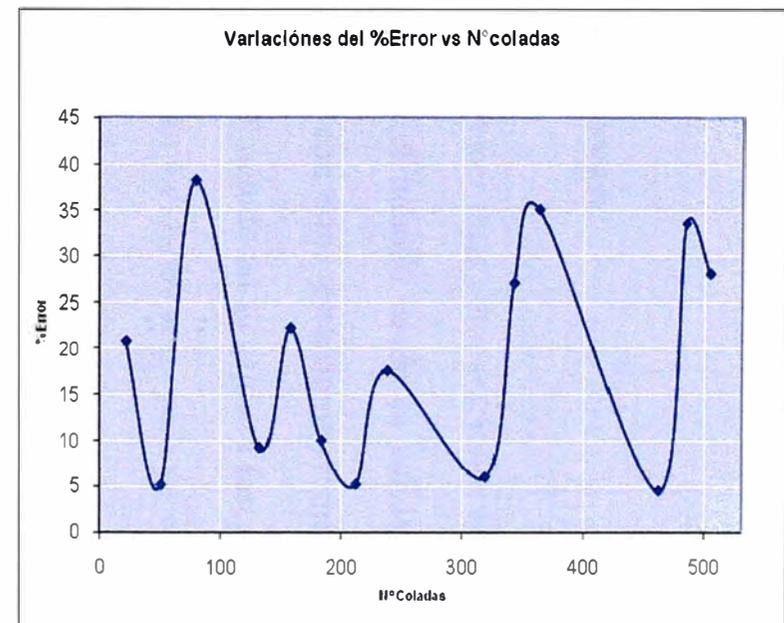


Figura N°44: Relación existente entre el número de coladas y el desgaste de la cuba.

CONCLUSIONES

Luego de un análisis de nuestros resultados y hacer unas comparaciones entre lo real y nuestros calculos vemos claramentente que el método usado es valido al menos para calcular la masa de acero en el Hot heel, con esto, estaríamos cumpliendo con el objetivo planteado para la aplicación de este método en su primera fase; en cuanto a los valores calculados para la escoria no estan validados aur, pero ya se tiene una idea clara de cómo podria hacerce esa validación para la segunda fase de desarrollo de este método que mencionaremos mas adelante.

En la Figura N°43 es interesante ver como es que la elimanición de algunos puntos aumentaría nuestra correlación y permitiría conseguir un modelo adecuado que haga tengan una mayor precisión, razón por la cual es impresindible la toma de mas muestras que permitiran obtener este modelo.

Es interesante ver también que de forma indirecta prodriamos estar midiendo el desgaste de la cuba, pues como se puede observar en la *Figura N°44* el desgaste la cuba implica una fluctuación en la capacidad (volumen) de la misma, que relacionandola con el número de coladas podriamos saber en cuanto es que varía colada a colada dicho volumen, y este tambien sería un factor de ajuste para nuestro modelo.

NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción
H_1	Profundidad del volumen total.
H_2	Profundidad del acero.
%FeO	Porcentaje Óxido de hierro.
D_{esc}	Densidad de la escoria.
V_{esc}	Volumen de la escoria.
M_{esc}	Masa de escoria.
$V_{acer\ s/aj}$	Volumen de acero sin ajuste.
$V_{acer\ c/aj}$	Volumen de acero con ajuste.
Media V_{acer}	Promedio de volumen de acero.
$M_{acer\ s/aj}$	Masa de acero sin ajuste.
$M_{acer\ c/aj}$	Masa de acero con ajuste.
Media M_{acer}	Promedio de Masa de Acero.
$M_{acer\ Real}$	Masa de acero real.
SiO_2	Oxido Silicio
Al_2O_3	Oxido de Aluminio
FeO	Oxido de Hierro
CaO	Oxido de Calcio
MgO	Oxido de Magnesio

BIBLIOGRAFÍA

- **INSTITUTO LATINOAMERICANO DEL FIERRO Y EL ACERO,** Primeras Jornadas Técnicas de escorias Siderúrgicas. Edición 1985, Santiago de Chile. Pág.1-33.
- **ALGARRA L., RIBERA E. Y BILOTTI M. INSTITUTO ARGENTINO DE SIDERÚRGIA,** diagramas de equilibrio de interés metalúrgico y siderúrgico. Edición BGE.021/IV. Argentina. Pag.170-187.
- **BALLESTER A., VERDEJA L. Y SANCHO J.,** Metalúrgia Extractiva. Tomo I. España. Pag. 120-150.
- **ASTIRRAGA URQUIZA y ZORRAQUINO J.,** Hornos de Arco para Fusión de Acero. Edición 1995. España. Pag. 1-44