



**MINISTERIO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR METALÚRGICO
Dr. Antonio Núñez Jiménez**

**Facultad Metalurgia y Electromecánica
Especialidad Metalurgia**

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Comportamiento del carbono en el mineral con la utilización de petróleo aditivo en el proceso de reducción de los hornos de hogares múltiples de la Empresa “Cmdt. René Ramos Latour” de Nicaro.

Autor: Salvador García Espinosa.

Tutora: Ing. Georgina Tavío González.

Moa, 2010

Dedicatoria

Dedico este modesto trabajo a nuestra querida revolución que ha permitido que parte mis sueños se conviertan en realidad al llevar a vías de hecho un posible anhelo;

Al 57 aniversario del asalto a los cuarteles Moncada en Santiago de Cuba y Carlos Manuel de Céspedes de Bayamo;

A mis padres y mi esposa por el apoyo moral brindado durante los largos años de estudios;

A los profesores que durante todo el tiempo de mis estudios fueron capaces de inculcarme la necesidad de la preparación y superación para servir al desarrollo de nuestra sociedad socialista.

Agradecimientos

Agradezco la ayuda brindada, por mi tutora la Ingeniera Georgina Tavío González y a la Ingeniera Yunaydi Paumier Castañeda, en la realización de este trabajo, así mismo al compañero Julio Quiala Céspedes trabajador del Centro de investigaciones de la Industria del Níquel (CEINNIQ) por toda la ayuda brindada y demás compañeros que de una forma u otra colaboraron conmigo para la culminación de esta tarea.

Pensamiento

“La pasión de saber hace que el hombre aprenda más rápidamente y aprenda en menos tiempo; la pasión de saber, la conciencia de la necesidad de saber, hace que los conocimientos se adquieran más rápidamente y, sobre todo, la vida, el trabajo práctico, los problemas diarios, constantemente nos estarán enseñando la necesidad de cada conocimiento.”

Discurso pronunciado por el Comandante de la revolución Fidel Castro Rúz, en la concentración para celebrar el IV aniversario de la integración del Movimiento Juvenil Cubano, Ciudad Escolar “Abel Santamaría”, Santa Clara, 21 de octubre de 1964.

Resumen

Este trabajo esta encaminado a obtener una valoración analítica del comportamiento del carbono que participa en el proceso de reducción de Nicaro a partir de los parámetros de entrada y salida a la planta con lo que se pretende proveer a los tecnólogos de la empresa de datos que puedan servir como base de estudios mas profundos, que conlleven a una elevación de la eficiencia del proceso de reducción con ahorro de combustible (fuel oil) de alto costo en el mercado.

También en este trabajo se hace una valoración económica a partir de la nueva tecnología empleada para el suministro de petróleo aditivo a los hornos mediante lanzas automáticas.

Se pretende confirmar los resultados obtenidos en cuanto a extractable y consumo de combustible con la utilización de petróleo aditivo para la reducción directamente en el horno analizando el comportamiento del carbono en el proceso de reducción y así proponer posibles vías para el empleo óptimo de uno de nuestros principales portadores energéticos. Se evaluó la operación del horno1 durante los días que se efectuó el muestreo, tomando información del mismo evaluando su eficiencia actual con la utilización del mineral con petróleo aditivo.

Fueron tomadas y analizadas muestras del mineral crudo y del mineral reducido y mediante las Pruebas QT se realizó el cálculo de los extractable de níquel y cobalto a la salida del enfriador, además se realizaron análisis de gases en cámaras y en el Hogar10 los resultados de ellos están expresados en las tablas 9 y 10 de los anexos.

Summary

This work is guided to obtain an analytic valuation of the behavior of the carbon that participates in the process of reduction of Nicaro starting from the receipt and discharge parameters to the plant with what is sought to provide the technologists of the company of data that can serve like base of studies but deep that with they take to an elevation of the efficiency of the reduction process with the traditional saving of fuel (fuel oil) of high cost in the market.

Also in this work an economic valuation is made starting from the new technology used for the supply of petroleum preservative to the ovens by means of automatic lances.

It is sought directly to confirm the obtained results as for extractable and consumption of fuel with the use of petroleum preservative for the reduction in the oven analyzing the behavior of the carbon in the reduction process and this way to propose possible roads for the good employment of one of our main energy payees. The operation of the horno¹ was evaluated during the days that the sampling was made, taking information of the same one evaluating its current efficiency with the use of the mineral with petroleum preservative.

They were taken and analyzed samples of the raw mineral and of the reduced mineral and by means of the Tests QT you calculates the nickel extractable and cobalt to the exit of the cooler, they were also carried out analysis of gases in cameras and in the Hogar¹⁰ the results of them are expressed in the charts 9 and 10 of the annex.

INDICE

PÁGINAS

Resumen

Introducción-----1

Capítulo 1

Antecedentes y Marco teórico _____ 3

1.1. Algunos antecedentes de trabajos realizados con la utilización de petróleo aditivo en la planta de Hornos de Reducción de la Empresa Cmdt. "René Ramos Latour". -----4

1.1.1 Dosificación de petróleo, eficiencia operativa de las lanzas. _____ 6

1.2. Algunos antecedentes de la planta de Hornos de Reducción de la Empresa Cmte. "René Ramos La tour" Y Particularidades del proceso de reducción.----- 7

1.2.1. Factores que influyen en la reducción. _____ 11

1.2.1.1 Influencia de la temperatura. _____ 11

1.2.1.2. Influencia de la granulometría. _____ 11

1.2.1.3. Composición de la materia prima. _____ 12

1.2.1.4. Concentración de gases. _____ 12

1.2.1.5. Número de hogares. _____ 12

1.2.1.6. Estabilidad en la alimentación. _____ 13

1.2.1.7. Tiempo de retención. _____ 13

1.3. Datos importantes de los Hornos Herreshof. _____ 14

Capítulo 2

Materiales y métodos. _____ 16

2.1. Método de análisis y muestreo. _____ 17

2.1.1. Parámetros a controlar. _____ 17

2.1.2. Valoración de los errores posibles. _____ 17

2.1.3. Características del petróleo utilizado. _____ 17

2.1.4. Muestreo y análisis de los gases. _____ 18

| | |
|--|----|
| 2.1.5. Muestreo y análisis del mineral. _____ | 19 |
| 2.2. Características técnicas del horno 1. _____ | 21 |
| 2.3. Características técnicas y funcionamiento de las lanzas automáticas.----- | 22 |
| Capítulo 3. | |
| Análisis de los resultados. _____ | 24 |
| 3.1. Desarrollo de la actividad. _____ | 25 |
| 3.1.1 Operación del Horno. _____ | 27 |
| 3.2. Análisis de los resultados obtenidos. _____ | 30 |
| 3.2.1 Perfiles de mineral reducido en el horno. _____ | 31 |
| 3.3. Valoración ambiental. _____ | 37 |
| 3.4. Valoración económica. _____ | 38 |
| Conclusiones y Recomendaciones. _____ | 40 |
| Bibliografía. _____ | 42 |
| Anexos.----- | 43 |

Introducción

Uno de los llamados que nos hace la revolución en estos momentos consiste en la necesidad de consolidar nuestra economía manteniendo una tenaz lucha para lograr el desarrollo de nuestra industria en general, tratando de obtener valores mayores de eficiencia y productividad con el menor de los costos, para lo cual es de vital importancia el correcto aprovechamiento de todos los recursos que disponemos.

Un ejemplo de ello lo constituye la Empresa Metalúrgica René Ramos Latour que se encuentra situada al noroeste de la provincia de Holguín. En ella son tratados los minerales oxidados de níquel a partir de un proceso carbonato amoniacal ideado por el Ingeniero W. H. Carón, obteniendo como producto final óxidos y sinter de níquel y cobalto.

Esta empresa surge en el año 1943 por iniciativa del gobierno norteamericano fecha en que el mundo era escenario de la II Guerra Mundial debido a la importancia del níquel para la Industria Bélica y el desarrollo científico-técnico.

En el año 1960 cuando la empresa es nacionalizada con la llegada de la revolución y pasa a manos de sus verdaderos dueños, la clase obrera, la cual logra con su conciencia de trabajo dar soluciones a todos los problemas que como consecuencia de la reacción imperialista se presentaron constituyendo un baluarte inexpugnable de la clase obrera cubana donde cada trabajador se esfuerza por elevar la productividad del trabajo y se lucha diariamente por la obtención de mayores y mejores resultados lo que ha dado lugar a la formación de nuevos trabajadores destacados y que la ha mantenido laborando por 66 años consecutivos.

El níquel es de suma importancia para nuestra economía pues constituye en estos momentos nuestro principal renglón económico y una de las fuentes más importantes para el ingreso de divisa al país.

Teniendo en consideración los precios en el mercado mundial en la actualidad y la imperiosa necesidad de producir más con menos, como nos ha llamado nuestro presidente del Consejo de Estado y de Ministros el General de Ejército Raúl Castro Ruz, valorando la actual crisis mundial que enfrentamos y los precios actuales del petróleo y fundamentalmente el desarrollo y consolidación de la industria cubana del níquel, se hace necesario realizar los estudios sobre el comportamiento del carbono en el mineral de los hornos de reducción, de la Empresa "Cmtd. René Ramos Latour" de Nicaro, con la utilización del petróleo aditivo.

Por lo que nuestra **Situación problemática** es: Insuficiente conocimiento del comportamiento del carbono en el mineral de los Hornos de Reducción de la Empresa “Cmdt. René Ramos Latour”, con la utilización de petróleo aditivo, que permita determinar posibles vías de ahorro de uno de los principales portadores energéticos y obtener mejores extracciones de níquel y cobalto, permitiendo a su vez que el trabajo sirva como punto de partida para nuevos estudios sobre esta problemática.

Objetivo general: Evaluar el comportamiento del carbono en el perfil del mineral de los Hornos de Reducción de la Empresa “Cmdt. René Ramos Latour”, con la utilización de petróleo aditivo.

Hipótesis: Si se estudia cómo se comporta el carbono en el perfil del mineral de los Hornos de Reducción de la Empresa “Cmdt. René Ramos Latour”, con la utilización de petróleo aditivo, se podrán obtener mejores extracciones de níquel y cobalto, además de posibles vías de ahorro de uno de los principales portadores energéticos.

Campo de acción: Taller de Hornos de Reducción de la Empresa “Cmdt. René Ramos Latour”, así como otras empresas que utilicen hornos de hogares múltiples en el proceso de reducción del mineral con la utilización de petróleo aditivo como agente reductor.

Tareas de trabajo:

- 1- Evaluar el comportamiento del carbono en el perfil del mineral en el proceso de reducción que ocurre en los hornos de hogares múltiples de la Empresa “Cmdt. René Ramos Latour”,
- 2- Recomendar posibles vías de ahorro del petróleo que constituye nuestro principal portador energético.
- 3- Evaluar las afectaciones al medio ambiente que ha provocado el cambio de la tecnología y recomendar posibles vías de solución.

Capítulo 1: Antecedentes y Marco teórico

Durante 66 años de explotación de la Empresa “Cmtd. René Ramos Latour” se han ejecutado investigaciones para mejorar los valores de eficiencia principalmente en la etapa de reducción que constituye el corazón principal del proceso carbonato amoniacal, esta etapa es la primera acción de índole química que sufre la materia prima y de ella depende en gran medida la eficiencia técnico-económica del proceso integral.

Una reducción eficiente garantiza que la mayor parte de los metales (níquel y cobalto, fundamentalmente) pasen a solución en el licor lixiviar y de esta forma ser extraídos.

Desde el año 1995 que por decisión coyuntural producto del mal estado técnico de la planta de gas pobre existente en aquellos momentos, se cambió la tecnología y se comenzó a utilizar el petróleo aditivo como agente reductor en los hornos de reducción y aunque ya se habían realizado investigaciones sobre la utilización del petróleo aditivo como agente reductor del mineral ninguno de estos trabajos plantea el contenido real del carbono que actúa en la reducción.

Es por eso se pretende que este trabajo permita conocer el contenido de carbono que se origina en el proceso de reducción con la utilización de petróleo aditivo y además lograr mejores valores de eficiencia con menor consumo del principal portador energético que utilizamos en el proceso de reducción.

1.1. Algunos antecedentes de trabajos realizados con la utilización de petróleo aditivo en la planta de Hornos de Reducción de la Empresa “Cmtd. René Ramos Latour”.

La experiencia del uso de petróleo aditivo durante casi dos décadas en Nicaro, muestra que su problema fundamental reside en que se desconoce el contenido de carbono en el mineral con su utilización lo que requiere una atención mayor que los otros métodos por la multiplicidad de los puntos de adición.

Se conoce además que el uso de ciertos aditivos en el proceso de reducción mejora las características del mineral reducido y aumenta la eficiencia del proceso. De la misma manera los aditivos pueden servir en algunos casos como fuente suplementaria de energía para la obtención de la temperatura necesaria y las reacciones endotérmicas de reducción.

En julio de 1968 se realizó una prueba tentativa introduciendo petróleo por el Hogar 9 del horno 21 además del gas reductor normalmente empleado. La lanza utilizada era un tubo de acero aleado al Ni y Cr que tenía en su extremo una boquilla de quemador de petróleo de los secaderos, esta lanza se introdujo al horno por uno de los orificios para situar termopares.

Este experimento se realizó del 9 al 18 de julio y sentó las bases para futuras investigaciones de adición de petróleo con lanzas. Durante las pruebas oficiales se introdujo petróleo por el Hogar 9 con lanzas de 2 boquillas y se llegó a las conclusiones preliminares siguientes:

La adición de petróleo en el rango de 1% del peso del mineral seco mejora la reducción de los compuestos oxidados de níquel.

- El % de azufre y carbono en la descarga del horno experimenta un ligero aumento.
- Formación de gas reductor dentro de la masa de mineral
- Mejora el contacto gas – sólido.
- Aumenta la concentración de reductores.
- Disminuye poco la velocidad de lixiviación del níquel
- Aumenta el grado de reducción del hierro y el contenido de C cambia de 0,6% a 2% contenido en el mineral reducido
- Aumenta la temperatura en los licores de lixiviación, sobre todo en 1era etapa
- No afecta la velocidad de sedimentación de la pulpa

La extracción de níquel en el licor se muestra al mismo nivel en ambas Plantas (80,8 y 80,6%, respectivamente) la extracción de cobalto disminuye.

Del 9 al 30 de octubre de 1970, se realizó en la Planta de Hornos, en los hornos 17 y 18, una prueba de reducción del mineral utilizando petróleo exclusivamente. El petróleo se añadió en el rango de 1,1 a 1,7%. En el hogar 11 se añadió aproximadamente el 35% del petróleo total y el resto en el Hogar 7. Los resultados se compararon con los hornos 19 y 20 que operaron normalmente.

Tabla # 1 muestra los resultados de esta prueba:

| | Reducción con petróleo | Reducción con gas |
|----------------------------|------------------------|--------------------|
| Extracción | 80,3% | 81,2% |
| Velocidad de Sedimentación | 1,24 m/h | 1,01m/h |
| CO en chimenea | 1,63% | 2,10% |
| Temperatura enfriadores | 178 ⁰ C | 170 ⁰ C |

Esta prueba preliminar justificó la continuidad de estos trabajos, con mejores condiciones.

Los años más representativos de la utilización de petróleo aditivo fueron 1974 y 1975 donde se logró reducir el consumo de gas a 70 m³ por tonelada de mineral, con un consumo de petróleo en cámaras de 56,3 Kg/t; se consumieron 6,1 Kg/t de mineral como aditivo. Con esto se logró un extractable de 80,93% para una ley de Ni de 1,264% y una ley de Fe de 39,02%.

Una cuestión importante en la adición de petróleo es realizar una buena mezcla del mineral con el petróleo antes de la reducción para garantizar alta efectividad y rendimiento elevado del proceso por lo tanto cuando la homogenización del petróleo y el mineral no es la idónea se requiere altos

consumos de reductor y el mineral reducido contiene cantidades apreciables de carbón. La calidad del mineral reducido puede afectar los índices tecnológicos del proceso posterior. Una parte del petróleo aditivo se volatiliza y descompone durante el atomizado, requiriéndose altos consumos de reductor para alcanzar recuperaciones similares de níquel a las que se alcanzan cuando se mezcla previamente.

A partir de 1976 el uso de petróleo aditivo fue abandonándose debido al interés del país de ahorrar este portador energético suministrado por la URSS, reservándose el uso del petróleo para bajar carga y resolver las alteraciones de planta de gas. Por estas razones el petróleo aditivo se utilizó en los años de 1968 a 1986 conjuntamente con el gas reductor como reactivo.

A partir del año 1998 se reinician las investigaciones con la utilización de petróleo aditivo en la planta de Secaderos en la correa caliente.

El Centro de Investigaciones del Níquel (CEINNIQ) comienza las investigaciones en el año 1998 en el horno 13 y 21 realiza las primeras pruebas de petróleo aditivo con utilización de lanzas automatizadas en la planta nueva de los hornos.

Demostrando en la práctica que se obtienen resultados de extractables altos y estables y con supresión total del gas reductor, trabajos realizados antes de la implementación definitiva del petróleo aditivo en secaderos, además de las pruebas industriales realizadas en los últimos años 1991 en el horno 1 con la lanza ubicada en el hogar 7 y en los años 1998-2000 en los hornos 13 y 21, también ubicadas en el hogar 7.

1.1.1 Dosificación de petróleo, eficiencia operativa de las lanzas.

G. Tavío abril 2004(6), realiza una investigación donde hace una valoración de la dosificación y eficiencia operativa de las lanzas montadas en el hogar 7, demostrando que la dosificación de petróleo por la lanza se realizó eficientemente a partir del 18 de marzo del 2004 al sustituirse las boquillas suministradas por la inversión inicialmente por otras que no poseen balín y están soldadas y no roscadas al tubo de menor diámetro de la lanza y son muy parecidas a las usadas en las investigaciones previas realizadas.

También a partir de esta fecha se eliminaron los cheques en la línea de petróleo de la lanza para lograr una menor caída de presión en la línea y mejorar la característica de operación de la válvula automática, pero no se resolvió totalmente el problema y los parámetros del lazo automático no puede ajustarse óptimamente para actuar con la rapidez que se necesita, pues comienza a oscilar el flujo de petróleo.

El valor del % de petróleo se fijó en 2,5% y solo se disminuyó en pocas ocasiones cuando la temperatura de los gases que salen hacia el electrofiltro se incrementaba por encima de 280°C

Héctor Alepuz, 1993, realizó un resumen de las variantes estudiadas para la adición de petróleo, en el que refirió: se introdujo petróleo en el Hogar 9 usando un atomizador o dado, basándose en el criterio de introducir el reductor en la zona en que ocurre un desprendimiento de agua de composición, que es oxidante. Por problemas del régimen de temperatura, se trasladó al Hogar 7. Se tomó como objetivo añadir el petróleo como forma de elevar el extractable con buenos resultados, pero provocando la sobre reducción del mineral, alterando así su comportamiento en la lixiviación, se evaluó, en periodos alternativos de procesamiento con y sin petróleo aditivo, la operación con lanzas, alcanzándose mejores resultados en todos los índices de reducción y sedimentación.

Luego de varias pruebas y demostrada su eficiencia se aprobó el montaje de las lanzas automatizadas a escala industrial en la planta nueva en el año 2004 con el empleo primero en el hogar 7, luego en el hogar 1 y por último en el sinfín M11.

1.2. Algunos antecedentes de la planta de Hornos de Reducción de la Empresa “Cmte. René Ramos Latour” y particularidades del proceso de reducción.

Estos hornos originalmente fueron construidos por la firma HERRESHOFF inicialmente eran 21 hornos luego se incorporó otro llegando hasta 22 en total pero entre 1995 y 1997 se sustituyeron todas las cámaras por cámaras PRIOR y se disminuyeron los hornos a 11. Cada horno está constituido por 17 hogares que van desde el cero hasta el 16.

Son hornos de hogares múltiples con un eje central con 4 brazos en cada hogar los que disponen de dientes o raspadores para remover el mineral y aumentar el contacto gas- sólido, también van impulsando el mineral de un hogar a otro.

El mineral desciende en los hogares pares por la periferia y en los impares por el centro con el objetivo de incrementar el tiempo de residencia evitando los cortocircuitos y con ello incrementar dicho contacto.

Las cámaras de combustión se encuentran en los hogares 6, 8, 10, 12 y 15, una en el lado norte y otra en el lado sur en cada uno de estos hogares. En los hornos 1, 3, 5, 9, 13, 15, 17 y 21 se trasladó una de las cámaras del Hogar 15 para el Hogar 14 con el fin de mejorar el perfil térmico en el Horno, esta modificación tecnológica se hará en todos los hornos.

Por el hogar 4 se introduce aire con el objetivo de quemar el monóxido de carbono y aprovechar su contenido calórico a la vez que evita que lleguen al electro filtro gases con alto contenido del mismo.

El horno opera con una presión positiva ligera para evitar que entre aire atmosférico lo que provocaría la re oxidación del mineral.

Para aportar los reductores necesarios para las reacciones de reducción que deben tener lugar en el horno, por el sinfín M11 de cada horno y mediante lanzas automatizadas se dosifica el petróleo aditivo con una relación establecida con el tonelaje alimentado por las romanas.

El mineral reducido que descarga por el hogar 16 va a un transportador de aletas conocido por JACOBY y de aquí descarga a un tambor rotatorio (enfriador de mineral) introducido parcialmente en una piscina de agua con flujo continuo, el objetivo es bajar la temperatura del mineral hasta valores de 260 °C en Planta Vieja y 180°C en Planta Nueva (estos tienen mayor área de transferencia de calor) de forma tal que entre un mineral con menor temperatura a los tanques de contactos.

El mineral seco y molido enviado por la planta de Secaderos y Molinos tiene las siguientes características:

| | |
|------------------|---------------|
| Ni | 1.10 a 1.20 % |
| Fe | 38 a 43 % |
| SiO ₂ | < 15 % |
| MgO | < 10 % |
| Malla +100 mesh | < 7 % |
| Malla +200 mesh | > 83 % |
| Humedad | 4 a 5 % |

El mineral reducido tiene la siguiente composición:

| | |
|----|---------------|
| Ni | 1.20 - 1.30 % |
| Fe | 42 - 50 % |

Estos valores dependen de la ley de níquel y hierro de entrada.

Cada una de las 10 cámaras del horno esta equipada con un quemador PRIOR SSB-7 (Pequeño) ó SSB –10 (Grande), que combustionan el petróleo de forma incompleta para lograr la temperatura y los gases reductores necesarios para la reducción. El petróleo es bombeado y calentado en una estación dispuesta para este fin.

El proceso de reducción esta encaminado a lograr una selectividad tal que permita máximas extracciones de níquel y mínima de hierro teniendo en cuenta que la fracción magnética es la que más favorece la lixiviación amoniacal.

Este proceso bastante complejo, es heterogéneo y ocurre fundamentalmente entre la línea divisoria entre las fases sólida y gaseosa, y la velocidad de reacción va a estar determinada principalmente por la difusión del gas al interior de las partículas, por la concentración de reductores y la velocidad con que se han desalojado los productos de la reacción. El mineral que se procesa, denominado limonítico y serpentínico tiene su diferencia en cuanto a su composición química, por tal motivo el tratamiento que se le da durante la operación de reducción también tiene sus diferencias.

El mineral limonítico caracterizado por su mayor contenido de hierro esta formado por una serie de óxidos de hierro como son: Hematita: Fe_2O_3 , Goethita: $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$, Magnetita: FeOFe_2O_3 , Limonita: $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$, Cromita: FeOCrO_3 .

En estos minerales se encuentra presente el níquel y su reducción es bastante sencilla, una excelente reducción se puede lograr a menores temperaturas. Además en estos minerales se alcanza una alta fineza, lo cual ayuda positivamente al proceso al proporcionar una mayor superficie activa del mineral.

Sin embargo, el mineral serpentínico esta formado principalmente por silicatos hidratados, como son:

1. Gentita: $2\text{NiO} \cdot 2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
2. Garnierita: $(\text{NiMg})\text{OSiO}_2\text{H}_2\text{O}$
3. Nepoutita: $3(\text{NiMg}) \text{O}_2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Se ha demostrado que las extracciones a partir del mineral limonítico son mayores que las que pueden ser obtenidas con las serpentinas, pero la recuperación que pueden brindarnos la mezcla de serpentina y limonita es superior a la obtenida con serpentina sola, siendo la misma de un rango tecnológico aceptable.

Se observa que la limonita se reduce hasta un 90%, sin embargo, la serpentina no pasa de un 75%. Se observa también que la mezcla de ambos da una buena extracción, por lo que en la práctica se trabaja con una relación de 3:1, o sea tres partes de limonita por una de serpentina. Bajo esta combinación se pueden obtener extracciones de hasta un 84%.

El calentamiento con mineral serpentínico es de suma importancia, ya que se ha verificado una correlación entre la velocidad de calentamiento durante la reducción y la liberación de agua combinada con el mineral, lo cual explica satisfactoriamente la razón del por qué cuando la velocidad de calentamiento es alta la recuperación es pobre.

Las moléculas de los silicatos complejos deben ir perdiendo el agua paulatinamente hasta el momento de su liberación total, que es cuando puede ser reducido el óxido de níquel (NiO) presente en ellos.

Si en este momento la concentración de reductores no es suficiente, los óxidos componentes se reagrupan nuevamente formando silicatos esta vez deshidratados que requieren condiciones mas severas de temperaturas que en nuestro caso no son posibles de efectuar para su reducción.

1.2.1. Factores que influyen en la reducción.

1. Temperatura
2. Granulometría.
3. Composición química de la materia prima.
4. Concentración de gases.
5. Número de hogares.
6. Estabilidad en la alimentación.
7. Tiempo de retención.

1.2.1.1 Influencia de la temperatura.

Este es un parámetro fundamental en todo proceso pirometalúrgico, ya que la temperatura facilita el cambio de estado o el debilitamiento de la estructura cristalina.

El perfil de temperatura se mantiene mediante la utilización de quemadores de petróleo PRIOR que se encuentran en la cámara de combustión. En estas se trata de mantener una relación aire petróleo que garantice la combustión incompleta, a la vez ayuda a enriquecer la atmósfera reductora dentro del horno, además en los hogares 4 y 6 se introduce aire secundario, proveniente

del sistema de enfriamiento del eje central a través de un ventilador de pos-combustión, que lo inyecta en los hogares anteriormente señalados, para quemar el monóxido de carbono residual. Debido a esta reacción exotérmica se produce una cantidad de calor adicional que contribuye al calentamiento del mineral y a mantener el perfil térmico del horno.

Durante la operación se debe mantener un perfil de temperatura aumentado de abajo hacia arriba que garantice un calentamiento gradual para que la pérdida de agua de los silicatos no sea brusca y no se afecte la extracción del mismo.

1.2.1.2. Influencia de la granulometría.

Por ser un proceso heterogéneo la granulometría influye determinantemente en los buenos resultados de la reducción. Las reacciones ocurren fundamentalmente en la línea divisoria de las fases y la velocidad de la reacción esta determinada por la penetración del gas al interior de la partícula. Si estas son pequeñas, aumentara la superficie activa del mineral, será mayor el contacto entre las fases, lo que incide directamente en la conversión de la reacción.

En la práctica se trabaja con un 83-85% de fracción 0,074mm, con lo que se puede lograr extracciones aceptables para este proceso sin que el arrastre de polvo sea incrementado sustancialmente.

1.2.1.3. Composición de la materia prima.

La composición química de la materia prima influye directamente en los resultados de la reducción. Atendiendo a esta se fijan las temperaturas en el horno y el régimen de calentamiento de mineral así por ejemplo, cuando el mineral es serpentinoso o sea que su contenido de hierro es bajo, el régimen de temperatura debe ser más alto, así como la concentración de reductores debe ser elevada para reducir el níquel en el momento de debilitamiento de los cristales por la expulsión de agua cristalina.

Para el mineral limonítico las condiciones de reducción pueden ser menos severas ya que estos minerales se reducen a menores temperaturas.

1.2.1.4. Concentración de gases.

La reducción se lleva a cabo mediante el contacto de los gases reductores con el mineral. Ambas fases se ponen en contacto en la cama de mineral y las caídas de un hogar a otro.

Al encontrarse el petróleo aditivo en los hogares con temperaturas superiores a 350⁰C, comienza la descomposición del mismo, formándose el monóxido de carbono y el hidrógeno una vez

reaccionado el carbono activo en la primera etapa de la cadena de reacción química, además la atmósfera reductora es enriquecida por el gas producto de la combustión incompleta en los quemadores de petróleo. La concentración de los gases influye directamente en la conversión del níquel.

1.2.1.5. Numero de hogares

Este ha sido un factor de importancia en el desarrollo de los hornos modernos, ya que fue detectado que el número de caídas de un hogar a otro influía directamente en los resultados de la reducción debido a que en el momento de las caídas ocurre mayor contacto entre las fases, y las partículas son bañadas completamente por el gas, calentándolas a la temperatura indicada y reduciendo el níquel. La reducción en la cama del mineral lleva el peso de la reducción alrededor de un 70% de la misma, gracias al petróleo aditivo.

1.2.1.6. Estabilidad en la alimentación.

La inestabilidad en la alimentación al horno afecta seriamente el perfil de temperatura, y por ende la operación del mismo, ya que todas las condiciones son fijadas para el tonelaje a procesar, y si en este tiempo al horno se le suministra más mineral que el fijado, las temperaturas comenzarán a bajar y si ocurre lo contrario las temperaturas aumentan y ambas situaciones no son conveniente para el proceso ni para una buena estabilidad en la operación.

1.2.1.7. Tiempo de retención.

En este equipo este es un factor que de acuerdo a los principios teóricos de la tecnología incide en los resultados de la reducción por el grado de terminación de la reacción. Valor fijado a 70 minutos cuando el tonelaje es de 22 toneladas puesto que el valor del tiempo de retención para una velocidad de rotación del eje central fija depende del tonelaje que procese el horno.

1.3. Datos importantes de los Hornos Herreshof.

Los hornos Herreshoff de Nicaro, operan actualmente por encima de su capacidad de diseño, con diferentes tipos de minerales, después de una serie de modificaciones, los hornos operan hasta 22 Tm. /h brutas y se ha investigado la posibilidad de hacerlo hasta 25 Tm. /h:

Tabla # 2 Datos importantes de los hornos Herreshoff de Nicaro

| | |
|--|-------------------------|
| Productividad del Horno Tm/hora. | 22 |
| Tiempo de residencia, minutos | 70 |
| Consumo de petróleo en combustión, kg./t | 50-60 |
| Consumo de petróleo aditivo, kg./t | 25-27 |
| Número de cámaras de combustión | 8-10 |
| Ley del mineral alimentado: | |
| Fe | Desde 33 hasta 45 % |
| Ni | Desde 1,10 hasta 1,45 % |
| SiO ₂ | Desde 8 hasta 12 % |
| MgO | Desde 4 hasta 7 % |

En este capítulo se ha expuesto un resumen de las características mas importantes del proceso de reducción de Nicaro, además de antecedentes de investigaciones realizadas con el uso petróleo aditivo conjuntamente con el gas pobre como agente reductor, junto a los elementos a los cuales haremos referencia en lo adelante han dado motivos para considerar la optimización de portadores energéticos como uno de los temas de mayor relevancia en este tipo de proceso industrial.

De igual manera como ninguna de las investigaciones anteriormente señaladas determina el contenido de carbono que interviene en el proceso de reducción con la utilización de petróleo aditivo, ni exponen vías para una utilización óptima de uno de nuestros principales portadores energéticos nos dejan definido el planteamiento del problema que nos hemos propuesto resolver en el presente trabajo.

En el próximo capítulo se expone los materiales y métodos utilizados como solución al problema que ha quedado planteado.

Capítulo 2: Materiales y métodos.

En la Planta de Hornos se implementó el uso de petróleo aditivo en todos sus hornos, para esto se aprobó el Proyecto de Innovación Tecnológica de Generalización de la misma propuesto por los compañeros del CEINNIQ en Abril del 2004 quienes conjuntamente con los compañeros del Grupo Eros de SERCONI, que fueron los encargados de elaborar el diseño y construcción de la romana capaz de ejecutar el lazo de control previsto para el mejor funcionamiento de la atomización de petróleo aditivo a través de las lanza automatizada.

Es por ello que pretendemos evaluar el comportamiento del carbono en el proceso de reducción y así proponer posibles vías de ahorro del principal portador energético que utilizamos en este proceso teniendo siempre presente los altos precios que tiene el petróleo en el mercado mundial.

En el presente capítulo exponemos todos los materiales y métodos que utilizamos para la realización de este trabajo así como exponemos el principio de funcionamiento y características principales de ellos.

2.1. Método de análisis y muestreo.

El método utilizado para el muestreo fue puntual, es decir, durante días alternos tomando las muestras de mineral necesarias en todos los puntos establecidos en el horno para determinar los perfiles necesarios.

2.1.1. Parámetros a controlar.

- 1- Cantidad de níquel que se alimenta.
- 2- Cantidad de cobalto que se alimenta.
- 3- Cantidad de hierro que se alimenta.
- 4- Contenido de óxido ferroso que se reduce
- 5- Cantidad de níquel, cobalto y hierro reducidos
- 6- Contenido de carbono en el mineral que se reduce
- 7- contenido de azufre en el mineral reducido.

2.1.2. Valoración de los errores posibles.

Los parámetros anteriormente señalados, lo que ha sido objeto de control, puede que alguno sufra variaciones incongruentes producto de una reoxidación de las muestras tomadas en algunos de los hogares anteriormente señalados por lo que habría que tomar nuevamente la muestra reoxidada.

2.1.3. Características del petróleo utilizado.

Uno de los portadores energéticos que se hace referencia y cuya incidencia es significativa en la consecución eficiente del proceso de reducción de mineral es el petróleo tecnológico o Fuel oil que se suministra a los hornos desde el tanque # 4 a una temperatura de 90 a 100°C tomándose muestras diariamente y llevándose al laboratorio para su posterior análisis y determinar las características del petróleo utilizado.

Este se utiliza con 3 objetivos específicos:

1. Mezcla con el mineral como agente aditivo.
2. Generar gases reductores mediante la combustión incompleta.
3. Garantizar el perfil térmico en los hornos por medio de quemadores de alta presión.

Los objetivos 2 y 3 se logran por medio de la combustión incompleta que se produce en las diferentes cámaras que poseen los hornos.

Tabla # 3 Características del petróleo.

| Fecha | Viscosidad en cs | | H2O % | A.P.I. | Densidad g/cm ³ | Cont. azufre % | Consumo de petróleo en la planta | |
|--------|------------------|-------|-------|--------|----------------------------|----------------|----------------------------------|--------------|
| | 50°C | 100°C | | | | | Cámaras Kg/h | Aditivo Kg/h |
| 13-may | 349,8 | 37,8 | 1,0 | 15,7 | 0,9613 | 2,16 | 51,51 | 29,90 |
| 20-may | 539,8 | 43,2 | 1,3 | 15,4 | 0,9632 | 2,16 | 56,24 | 32,62 |
| 27-may | 484,4 | 41,5 | 1,5 | 15,3 | 0,9639 | 2,14 | 58,02 | 29,78 |
| 03-jun | 532,3 | 41,0 | 1,2 | 15,5 | 0,9626 | 2,14 | 57,33 | 31,15 |
| 07-jun | 537,3 | 41,5 | 1,5 | 15,4 | 0,9632 | 2,14 | 58,59 | 31,18 |

Como se puede apreciar en tabla anterior los consumos de petróleo se corresponden con las características del petróleo utilizado además debemos señalar que la comparación se hace con los consumos de los turnos correspondientes ya que no se pudo calcular los consumos del horno 1 los días muestreados por la falta del equipamiento idóneo para tomar los valores de entrada y salida del referido horno.

2.1.4. Muestreo y análisis de los gases.

Para determinar la composición de los gases presentes se utilizó el analizador tipo ORSAT, mediante el cual pudimos determinar la concentración dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O₂) presentes en la reducción en las diferentes cámaras y en el hogar 10, por lo cual describimos el principio de funcionamiento del analizador ORSAT figura # 2 de los anexos.

Analizador ORSAT

La botella C que contiene agua se comunica con la bureta B por un tubo de caucho, levantando o bajando la botella se hace que el agua entre en la bureta o salga de ella.

Para analizar se desaloja primero el aire de la bureta y de los conductos a pasos anexos empujándolos con el agua de C, luego se introduce en la bureta B una muestra del gas analizar, durante estas operaciones preliminares las válvulas de aguja que establecen la comunicación con los recipientes de las disoluciones de D, E, F, G Y H han sido cerradas. Después con la válvula N₁ abierta se obliga a la muestra de gas de la bureta B entrar en el recipiente D levantando la botella

C. En D hay una solución de hidróxido de potasio que absorbe el anhídrido carbónico de los gases, dejando pasar sin alterarlos a otros constituyentes.

El gas restante se retorna a la bureta B bajando la botella C y se anota la pérdida del volumen del gas. En forma sucesiva se obliga al gas a entrar en los recipientes E, F Y G en el primero hay una solución la cual absorbe el oxígeno (pirogálico), en F una disolución de cloruro cuproso en amoníaco la cual retendrá el monóxido de carbono y en G una solución acuosa para analizar el hidrógeno por lo que se hace pasar a esta bureta cierta cantidad de aire, tomamos la mitad del gas de los análisis anteriores y los hacemos pasar lentamente a la bureta G la cual posee en su interior un filamento que ha sido previamente encendido al conectar al circuito de corriente eléctrica el transformador A. Esta operación de dejar entrar y salir la mezcla de gases de la bureta G se repite dos o tres veces, siempre lentamente para quemar todo el hidrógeno contenida en la misma, luego desconectamos la corriente y dejamos enfriar los gases que quedan en la bureta G haciéndolos pasar después de fríos a la bureta B, la cual indicara la pérdida de volumen o lo que llamamos "contracción".

Al analizar el hidrógeno puede formarse dióxido de carbono, para analizar el mismo se hace pasar, el gas que nos queda, varias veces por la solución de potasio, la pérdida de volumen en la bureta B nos dice la cantidad de dióxido de carbono.

2.1.5. Muestreo y análisis del mineral.

Mineral alimentado

_A esta muestra se le denomina R-10 y se toma en la parte inferior de las romanas mediante un pequeño sinfín, en una hora determinada se toma una muestra la cual se envía al Laboratorio para analizar el contenido de carbono, el porcentaje de níquel, hierro y azufre que se alimenta constituyendo una muestra compósito del turno.

Mineral reducido.

Esta muestra al igual que la R-10 se tomo a una hora determinada para el se utilizó un sinfín manual situado a un lateral de los hogares 7, 13, 15, 16 y en la descarga del enfriador 1, enviándose al laboratorio para su posterior análisis.

La muestra seca spot de la salida del enfriador se lixivia con el Procedimiento QT en el Laboratorio del Centro de Investigaciones de las Industrias del Níquel (CEINNIQ) para la determinación de las

extracciones de níquel y cobalto además de realizar los análisis correspondientes al mineral reducido tomado en los hogares.

Descripción de la actividad de QT

Tomar un Kitasato con capacidad de 300-400 gramos de mineral reducido (puede ser de los coolers u hogares del horno). Este recipiente tiene que estar provisto de un tapón de goma lo suficientemente ajustado y de un pedazo de manguera en el tubo lateral con una presilla ajustada de forma tal que no haya posibilidad alguna de entrada de aire para evitar la reoxidación del mineral.

Purgar con gas inerte el interior del Kitasato, mediante una corriente que se hará fluir a través del tubo lateral, extrayendo este momento el tapón de goma de la boca del Kitasato y colocándolo cuando se haya evacuado todo el aire, quedando el recipiente cargado de gas inerte.

Tomar la muestra y manipular con sumo cuidado para evitar la reoxidación del mineral.

Los parámetros para la realización de la prueba son:

Relación líquido/sólido: 14/1

Tiempo de retención: 2 horas 45 minutos

Aire: 0.64 m³/gramos de mineral

Concentración de amoníaco en el licor fresco entre 100-120 g/l.

Concentración de CO₂ de 60-70 g/l.

La parte práctica operacional se realiza mediante el siguiente procedimiento.

Medir en un Becker 400 mL de licor fresco y se tara en una balanza analítica. Con sumo cuidado, por el tubo lateral del Kitasato se introduce una pequeña corriente de gas inerte, aflojando la pinza de forma tal que exista una presión positiva dentro del mismo. Se saca el tapón de la boca de este y se coloca un sinfín preparado para tal efecto y el otro tramo de manguera de gas inerte se coloca en una entrada que posee el sinfín.

El Becker que contiene el licor, y que ha sido previamente tarado, se coloca en la balanza y mediante el sinfín se pesa 100 g del mineral reducido que contiene el kitasato. Los 1000 ml restantes de licor fresco, medidos en una probeta de boca ancha, se van mezclando con el contenido del Becker y se depositan en el turbo de banco enjuagándose de tal forma que no

quede mineral en el recipiente. Se ajusta el agitador a la mazorca del motor, se tapa y se pone en agitación durante 2 horas y 45 minutos.

El aire se introduce mediante un burbujeador lateral que posee el turbo, y que consiste en un tramo de tubo que descarga en el fondo de este, el aire se mide mediante un rotámetro colocado en la línea de flujo de aire regulando mediante este, la cantidad de aire por gramos de mineral reducido.

Pasado el tiempo de retención fijado, mediante un sifón acoplado a un elermeyer se extrae 300 ml de pulpa, se filtra, se lava la torta con agua amoniacal de 30 g/l dos o - tres veces, asegurándose que quede bien lavado, sacando todo el licor embebido que fue arrastrado por la pulpa. Cuando el licor de lavado salga completamente claro, debe añadirse otra cantidad pequeña como medio de seguridad de la pureza de la torta.

Terminado el filtrado se extrae la torta del embudo y se coloca en un vidrio reloj y se pone a secar en la estufa. Una vez seca la torta se tritura en un mortero de porcelana, se vierte en un sobre, se identifica con el número de orden correspondiente y se envía al laboratorio analítico para su posterior análisis.

El operador debe tener en cuenta a la hora de pesar la muestra de la QT, tomar una muestra del mineral reducido para su análisis como muestra cabeza, y otra para hierro metálico en un elermeyer con sulfato de cobre tomado previamente. Este es indispensable para los cálculos del extractable posterior al lixiviado del mineral.

La muestra cabeza se toma en un pomo pequeño, el cual se tapa y se envía al laboratorio para ser analizados los contenidos de Ni, Co, Fe, Fe⁺⁺ en el mineral reducido.

Para los cálculos del extractable del horno así como para determinar este valor de forma teórica se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Ext. Horno1} = [1 - (\text{Ni}_{\text{Qt}} * \text{Fe}_{\text{red}} / \text{Ni}_{\text{red}} * \text{Fe}_{\text{Qt}})] * 100$$

$$\text{Ext. Teórico} = \text{Exp} (4.423344 + 0.05124) * \text{LN} (\# \text{ de mineral procesado})$$

Teniendo presente que el número de mineral se calcula por la siguiente formula:

$$\# \text{ De mineral} = \% \text{Ni} * \% \text{Fe} / \% \text{SiO}_2 * \% \text{MgO}.$$

2.2. Características técnicas del horno 1.

Para realizar este trabajo y obtener los datos necesarios para el análisis del contenido de carbono en el mineral con la utilización de petróleo aditivo se utilizó el horno 1 de planta vieja, por poseer una cierta estabilidad en su productividad así como en su funcionamiento y tener habilitados los muestreadores en los diferentes hogares.

El horno 1, figura # 1 (anexos) Chequeo del estado técnico.

Al realizar el chequeo del estado técnico del Horno 1 se detectó:

- Tiene ocho cámaras de combustión en operación, 6N, 8N, 10N, 10S, 12N, 12S, 14S y 15N.
- Seis cámaras con termopares tipo B, 10N, 10S, 12N, 12S, 14S, 15N.
- Transportador “jacoby” en buenas condiciones técnicas y el enfriador se encontraba trabajando con temperaturas de descarga fuera de los rangos establecidos.
- Completo de brazos y dientes en todos los hogares.

2.3. Características técnicas y funcionamiento de las lanzas automáticas.



Figura # 3 muestra de un sistema de instalación de la lanza automática.

La lanza automatizada consta de los siguientes equipos: Romana inteligente con controlador, válvula automática, contador de flujo de petróleo con señal eléctrica de salida entre 4 – 20 MA, electro válvulas y trampa para la línea de vapor y petróleo con sus correspondientes bypass para casos de trabajo con operación manual y una presión de suministro de 280 KPa como mínimo.

La romana fue diseñada para este trabajo por los compañeros del Grupo de Automatización de SERCONI radicados en Nicaro por la solicitud y sugerencia de los compañeros del CEINNIQ.

Durante las pruebas realizadas en 1998 se corroboró la funcionabilidad de la lanza automatizada para diferentes situaciones de variaciones en el horno, respondiendo adecuadamente.

También se concluyó que la lanza automatizada puede sustituir la dosificación de petróleo en las correas calientes, siempre que se alcance la presión necesaria en la línea de petróleo. Los perfiles altos de temperatura en cámara y hogar, además de una dosificación adecuada de petróleo aditivo entre 2,5 – 3%, este último valor para minerales de bajo contenido de hierro garantiza el cumplimiento del extractable teórico.

En el capítulo 2 se ha descrito los materiales y métodos empleados para la caracterización del comportamiento del carbono en el mineral con la utilización de petróleo aditivo que constituye el objetivo general del problema que nos hemos propuesto resolver con este trabajo.

También se hace un estudio de los métodos y equipos que fueron utilizados para el muestreo de los gases y el mineral, una valoración de los posibles errores que pueden ocurrir, valoramos las características del petróleo utilizado durante los días de muestreo, así como los parámetros que se determinaron en el proceso de muestreo y un análisis de las características técnicas de las lanzas automáticas y del horno 1 que son los principales equipos que utilizamos para la ejecución del trabajo.

Por lo tanto se determinó que dicho horno y el sistema de lanzas automáticas estaban en buenas condiciones para la realización exitosa del trabajo por eso se decidió comenzar el análisis del comportamiento del carbono en el mineral con la utilización de petróleo aditivo como agente reductor.

En el presente capítulo se describirá la actividad realizada, se realiza la valoración de los resultados, valoración ambiental y económica del trabajo.

Capítulo 3. Análisis de los resultados.

En este capítulo se presentan los diferentes análisis realizados con el conjunto de datos seleccionados valorando los resultados de uno y otros valores. Estos resultados ponen de manifiesto la posibilidad de obtener mejores resultados en el proceso de reducción que enfrentamos.

En una primera parte se describe la actividad realizada, seguidamente se describen los resultados obtenidos y se hace una valoración de ellos y finalmente se describe como obtener mejores resultados en los parámetros de eficiencia y control de uno de los principales portadores energéticos que utilizamos en nuestro proceso de reducción además de una valoración de la parte medio ambiental y económica

3.1. Desarrollo del trabajo.

Se comenzó el muestreo del horno 1 el día 13 mayo del 2010, en el turno D que se encontraba de día. El horno con 8 cámaras en operación y 6 termopares y las características técnicas relacionadas en el apéndice anterior.

La dosis de petróleo aditivo igual a 2.3% y 22 ton/h. El horno disponía del perfil de temperaturas y de gases a utilizar. Se utilizo en todo el período petróleo regular o fuel oil.

Se comenzó realizando muestreo de mineral reducido en los hogares, así como análisis químicos y de gases, para determinar el contenido de carbono hogar por hogar para evaluar su comportamiento dentro del horno.

El próximo muestreo se realizó el día 20 de mayo con el turno D nuevamente en operación y como algo a señalar es que este día el horno se mantenía con 8 cámaras pero tenía 4 termopares ubicados en las cámaras 10S, 12N, 12S, 15N. La dosis de petróleo se mantuvo en 2.3% y 22 ton/h, el día 27 de mayo con el turno A en operación que es cuando se toma la próxima muestra el horno operaba normalmente con las 8 cámaras y solo con dos termopares ubicados en las cámaras 10S y 15N el petróleo aditivo se mantuvo en el mismo valor y se operaba a 21 ton/h.

El día 3 de junio se tomo otra muestra con el turno A trabajando, pero las condiciones técnicas del horno habían cambiado pues tenia 7 cámaras en operación y un solo termopar ubicado en la cámara 15N aquí se vario la dosis de petróleo aditivo y se puso en 2.5% y trabajaba a 20ton/h, con esa misma dosis de petróleo aditivo y 20,5 ton/h se realizo la muestra del día 7 de junio con el turno C laborando, pero las características técnicas del horno seguían disminuyendo pues ese día tenia solo 6 cámaras en operación y un solo termopar ubicado en la misma cámara relacionada anteriormente.

Debemos señalar que durante todo el periodo de muestreo el nivel de inventario en silos fue totalmente insuficiente lo que trajo consigo que en ocasiones se trabajara con mineral de reciclado cuyo contenido de carbono oscila entre 6 y 9% además de que es un mineral parcialmente reducido y luego oxidado y su reducción es muy baja, la tabla # 4 muestra el inventario existente esos días anteriormente relacionados.

Tabla # 4 Inventario en silos

| Días | inventario silos planta vieja |
|-------------|-------------------------------|
| 13 de mayo | 000 ton |
| 20 de mayo | 40 ton |
| 27 de mayo | 1003 ton |
| 03 de junio | 168 ton |
| 07 de junio | 124 ton |

Los días 13 y 27 de mayo del 2010, aunque el inventario era insuficiente, el bombeo de mineral desde secadero se comporto de una forma estable no siendo así el resto de los días que se realizó el muestreo.

El muestreo del enfriador se realizo también de forma puntual al culminar el muestreo en los hogares.

Los análisis de gases se realizaron en todas las cámaras y en el hogar 10. Los valores se pueden encontrar en la Tabla N° 10 del anexo.

3.1.1. Operación del Horno.

Parámetros de operación del horno a controlar.

-Perfiles de los hogares:

| Hogares | Bajos | Altos |
|---------|-------|-------|
| H-4 | 650 | 750 |
| H-6 | 650 | 750 |
| H-9 | 660 | 690 |
| H-11 | 690 | 710 |
| H-13 | 710 | 730 |
| H-15 | 730 | 750 |

-Perfiles de cámaras

| Cámaras | Bajo | Alto |
|---------|------|------|
| H6-H8 | 1350 | 1380 |
| H10-H15 | 1320 | 1350 |

-Temperatura de descarga del enfriador menor de 280⁰C

-Presión en el hogar 0 de 10-12 mmH₂O y presión en el hogar 16 de 1,5-2,5 mmH₂O

-Tonelaje menor o igual a 22 Ton/horas

-Consumo específico de petróleo aditivo 25-27 Kg/h

-Consumo específico de petróleo en cámaras de 54-56 Kg/h

-% de monóxido de carbono en cámaras 15% y en el hogar 10 una relación CO₂/CO menor o igual 1,20

El horno operó a 22 toneladas/hora los días 13 y 20 de mayo, el día 27 operó a 21 toneladas/hora, el día 03 de junio con 20 toneladas/hora y el día 07 de junio con 20,5 ton /hora un promedio de 21,1 t/h para los 5 turnos monitoreados y muestreados.

Los valores de los parámetros de operación que se tomó el valor medio una hora antes de efectuar el muestreo se presentan en la Tabla N°5

.Tabla N° 5 Parámetros de operación

| Fecha | Turno | TH4 | TH6 | TH9 | TH11 | TH13 | TH15 | TDESC | PH0 | PH16 | %PET ADIT | T/H |
|----------|-------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-----------|------|
| 13-mayo | D-D | 767 | 687 | 671 | 706 | 720 | 734 | 332 | 8,27 | 9,42 | 2,30 | 22,0 |
| 20-mayo | D-D | 674 | 737 | 679 | 715 | 704 | 744 | 299 | 5,81 | 3,26 | 2,30 | 22,0 |
| 27-mayo | A-D | 682 | 660 | 655 | 700 | 683 | 738 | 345 | 10,82 | 5,88 | 2,30 | 21,0 |
| 03-junio | A-D | 715 | 732 | 705 | 717 | 702 | 737 | 350 | 11,70 | 11,51 | 2,50 | 20,0 |
| 07-junio | C-D | 781 | 742 | 667 | 701 | 685 | 732 | 332 | 10,30 | 8,78 | 2,50 | 20,5 |

Como se puede observar los parámetros de operación de los hogares se comportaron con valores generalmente dentro de los parámetros controlados, no así la temperatura de descarga del enfriador que todo el tiempo se mantuvo con valores muy por encima del rango establecido y la presión de los hogares 0 y 16 con valores mayormente parejos y por encima del rango establecido principalmente la presión del hogar 16, los demás parámetros o sea el tonelaje y el porcentaje de petróleo aditivo se mantuvieron dentro de los valores prefijados.

Los resultados de las extracciones de níquel y cobalto en el muestreo efectuado, el extractable teórico además de las diferencias entre el Extractable Teórico y el real durante este período aparecen en la Tabla N° 6

Tabla N° 6 Contenido extractable de níquel, cobalto y diferencia respecto al extractable teórico

| Fecha | Turno | Ext. Enfriador1 | | Ext. | Dif |
|----------|-------|-----------------|------|---------|----------|
| | | Ni | Co | Teórico | Teo-Real |
| 13-mayo | D-D | 79,1 | 54,3 | 83,5 | 4,4 |
| 20-mayo | D-D | 77,3 | 62,0 | 80,5 | 3,2 |
| 27-mayo | A-D | 84,0 | 58,4 | 86,5 | 2,5 |
| 03-junio | A-D | 62,5 | 45,6 | 85,8 | 23,3 |
| 07-junio | C-D | 76,5 | 55,7 | 85,2 | 8,7 |
| Promedio | | 75,9 | 55,2 | 83,8 | 7,9 |
| Máximo | | 84,0 | 62,0 | 86,5 | 2,5 |
| Mínimo | | 62,5 | 45,6 | 80,5 | 18,0 |

Como se puede apreciar la diferencia mayor es el día 03 de junio producto de inestabilidad en la planta de secaderos coincidiendo con niveles sumamente bajos en el inventario existente en los silos por lo que el horno opero con mineral de recicló que es en mineral parcialmente reducido y oxidado y como se ha referido es difícil volver a recuperar los metales del mismo.

En muestreo seco realizado tanto a la salida del enfriador como en los hogares. En algunos hogares no se tomó la cantidad de muestra necesaria para todas las determinaciones (Análisis químicos del mineral reducido, Prueba QT), resultó muy difícil por lo engorroso de la tarea al existir altas temperaturas y contaminación casi constante de gases y polvos además de por la poca cantidad de mineral reducido que echaban algunos muestreadores, no obstante siempre pudo realizarse los análisis de azufre y carbono., en el hogar 9 no se pudo tomar muestra porque existe un objeto en interior del horno que imposibilita la entrada del muestreador y el hogar 11 no se pudo muestrear porque el muestreador quedo deteriorado en la camisa fabricada para el montaje de los mismos, además el análisis de gases de los hogares no se pudo realizar porque los tomas muestras están en malas condiciones y se tupian constantemente, únicamente se pudo realizar en el hogar 10.

3.2. Análisis de los resultados obtenidos.

A continuación los valores promedios, máximos y mínimos resultados del muestreo del mineral alimentado y reducido del horno 1 se muestran en las Tablas N° 7 y 8

Tabla # 7 Valores promedios, máximos y mínimos del mineral alimentado al horno1

| | Mineral Alimentado Horno 1 | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-------------|------------|----------|----------|
| | Análisis químicos % | | | | | | |
| | Ni | Co | Fe | SiO2 | MgO | C | S |
| Promedio | 1,00 | 0,110 | 42,9 | 8,8 | 4,8 | 0,43 | 0,214 |
| Máximo | 1,04 | 0,133 | 44,7 | 13,1 | 7,2 | 1,21 | 0,260 |
| Mínimo | 0,88 | 0,092 | 41,1 | 7,1 | 3,3 | 0,17 | 0,120 |
| N° de datos | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Tabla N° 8 Valores promedios, máximos y mínimos del mineral reducido del Cooler 1

| | MINERAL REDUCIDO Cooler1 | | | | | | | Ext. | |
|--------------------|---------------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------------------|----------|----------|-----------------|-----------|
| | Análisis químicos % | | | | | | | Cooler 1 | |
| | Ni | Co | Fe | Fe⁺⁺ | Fe^o | C | S | Ni | Co |
| Promedio | 1,15 | 0,139 | 49,5 | 21,6 | 2,78 | 2,33 | 0,49 | 75,9 | 55,2 |
| Máximo | 1,17 | 0,161 | 51,3 | 24,5 | 3,28 | 2,77 | 0,52 | 84,0 | 62,0 |
| Mínimo | 1,06 | 0,115 | 47,7 | 16,2 | 2,31 | 1,72 | 0,42 | 62,5 | 45,6 |
| N° de datos | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Se aprecia la baja reducción del mineral donde aparecen valores bajos del hierro ferroso y del metálico para minerales con contenidos de hierro alimentado entre 44,7% - 41,1 % y como promedio 43,0%.

Este resultado es producto del mineral de recicló, con las características señaladas en el epígrafe anterior, que operó el horno por niveles sumamente bajos de inventario en los silos.

El valor promedio del contenido de Carbón de 2.33 % es bueno para los hornos industriales. Además esos valores pueden resultar mayores pero al procesar el mineral de recicló que contiene entre un 6-9% de carbono y es un mineral parcialmente reducido y luego oxidado con bajo peso volumétrico, alimentado al horno sin mezclar con el proviene de la planta de preparación de mineral que es como esta orientado pero muchas veces se incumple por niveles sumamente bajos de inventario, provoca inestabilidad en la operación y de hecho todos los parámetros anteriormente señalados sufren cambios.

3.2.1 Perfiles de mineral reducido en el horno.

Los resultados aparecen en la Tabla N° 9 del Anexo. De los perfiles de reducción realizados el más demostrativos es el día 27 de mayo donde los valores de carbono se muestran en forma ascendente de hogar en hogar y fue el día que los silos tuvieron el mayor inventario por lo que la operación fue la correcta y los perfiles de temperatura se mantuvieron estables manifestándose en las extracciones de níquel y cobalto de ese día y el mas bajo fue el del día 03 de junio con 168 toneladas de inventario en los silos y la planta de secaderos con grandes niveles de inestabilidad además fue el día de mas bajo porcentaje de ferroso, hierro metálico y carbono en el mineral reducido lo que da muestra de falta de reductores en el mineral procesado producto de la inestabilidad anteriormente relacionada.

Las figuras siguientes muestran fácilmente el porcentaje de carbono y el comportamiento del ferroso en los diferentes hogares, el extractable del níquel y el cobalto y el comportamiento del hierro metálico todos los días muestreados.

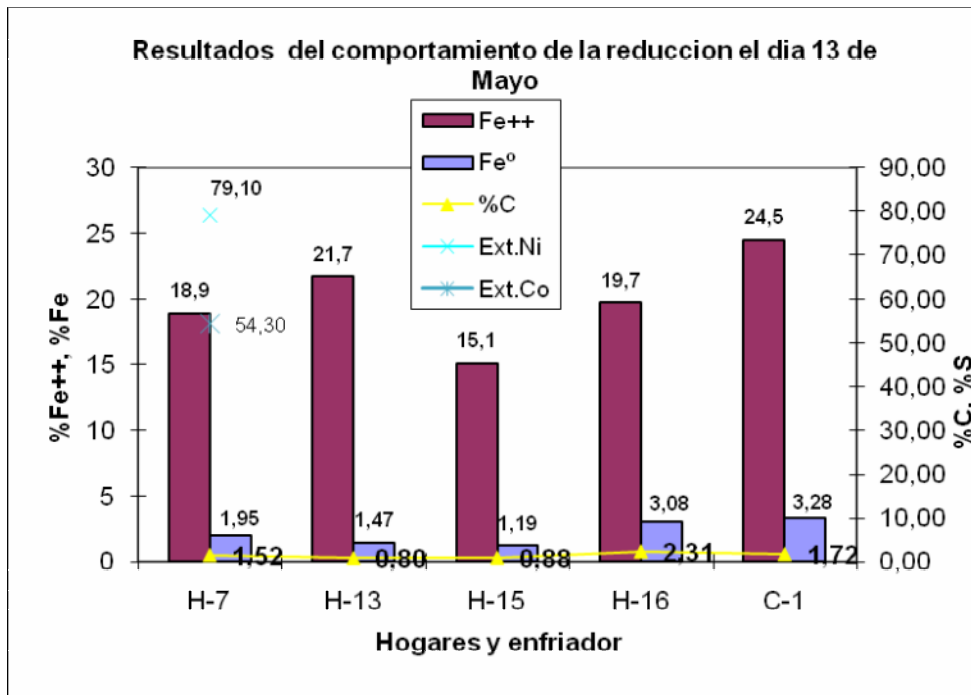


Figura # 4 Muestra el porcentaje de carbono, ferroso, hierro metálico y los valores del extractable del níquel y el cobalto el día 13 de mayo.

Como se puede observar existe una disminución del porcentaje de carbono y el hierro metálico en los hogares 13 y 15 que puede ser producto de una reoxidación de la muestra tomada, en el hogar 15 también se observa una disminución del ferroso aunque los valores del extractable del níquel y el cobalto están acordes a los resultados expuestos, podemos asegurar que la reducción continúa hasta el enfriador pues los valores de los parámetros analizados así lo describen.

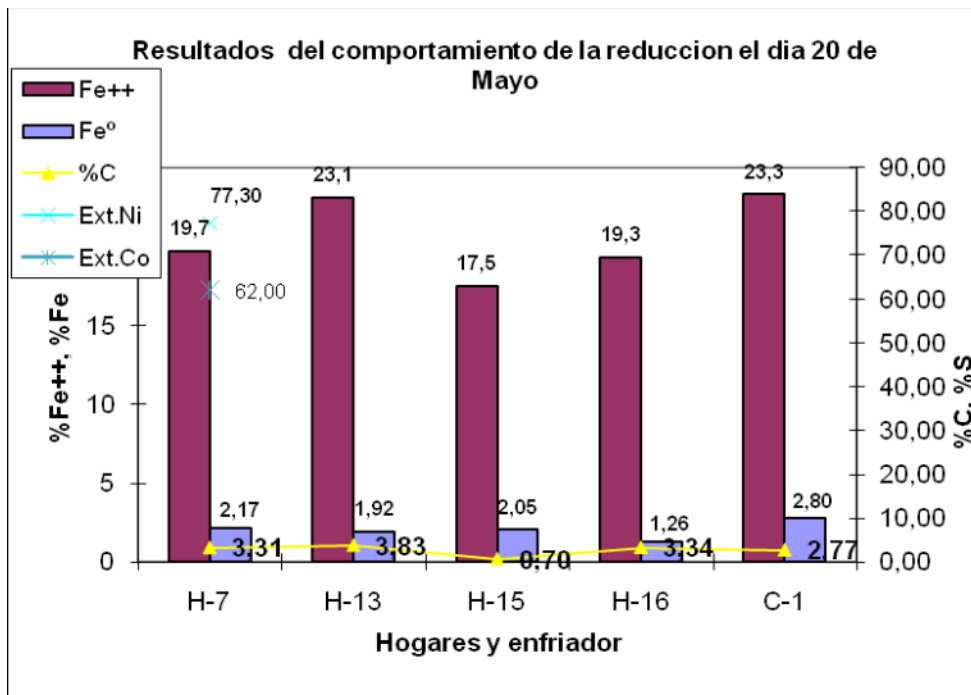


Figura # 5 Muestra el porcentaje de carbono, ferroso, hierro metálico y los valores del extractable del níquel y el cobalto el día 20 de mayo.

Este día se observa una disminución del porcentaje de carbono y del ferroso en el hogar 15 que sucede porque en el momento del muestreo de ese hogar el operador B de plantas metalúrgica se encontraba limpiando el quemador situado en la cámara H-15 norte, los valores del extractable de níquel disminuyen teniendo en consideración que la operación se realizaba con mineral de reciclo que es un mineral reducido y parcialmente oxidado y que es muy difícil volver a recuperar los metales del mismo.

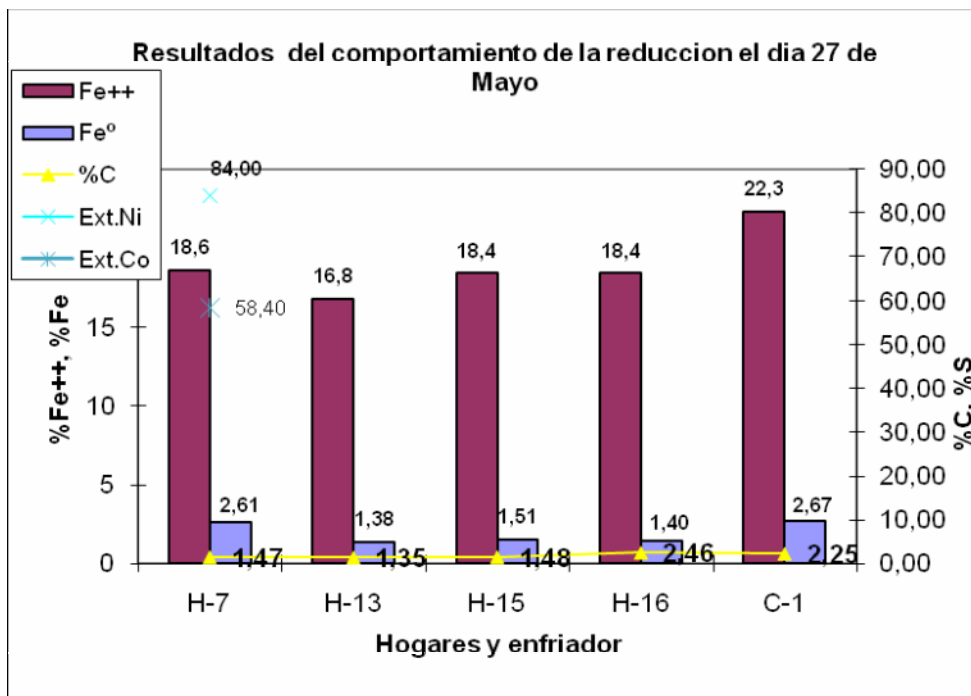


Figura # 6 Muestra el porcentaje de carbono, ferroso, hierro metálico y los valores del extractable del níquel y el cobalto el día 27 de mayo.

Se aprecia que este día los resultados del extractable fueron mayores los parámetros antes señalados se comportaron con estabilidad coincidiendo que fue cuando el inventario de los silos fue mayor, hubo estabilidad en la operación y el mineral de reciclaje se operó mezclado con el que envía la planta de beneficio de minerales.

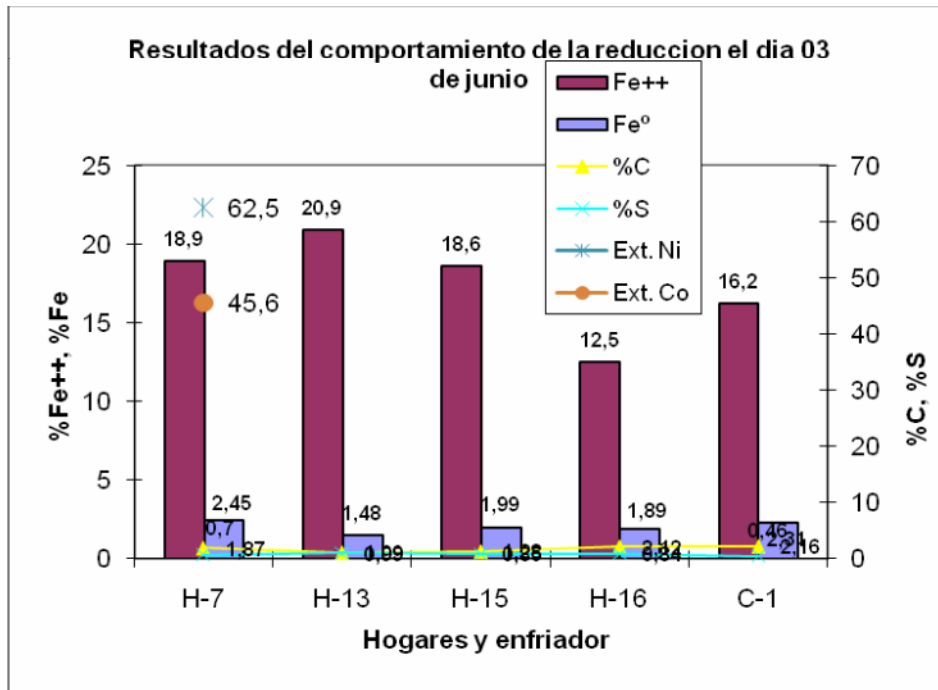


Figura # 7 Muestra el porcentaje de carbono, ferroso, hierro metálico y los valores del extractable del níquel y el cobalto el día 03 de junio.

El día 03 de junio los resultados fueron malos los valores de porcentaje de carbono, ferroso y hierro metálico en el mineral reducido fueron los más bajos coincidiendo con poco inventario de mineral y presencia de mineral de bajo peso volumétrico con las condiciones señaladas anteriormente, además se puede observar que fue este día el valor más bajo de los extractables de níquel y cobalto lo cual se adjudica a la utilización de un mineral con las condiciones señaladas anteriormente y la operación ser totalmente inestable.

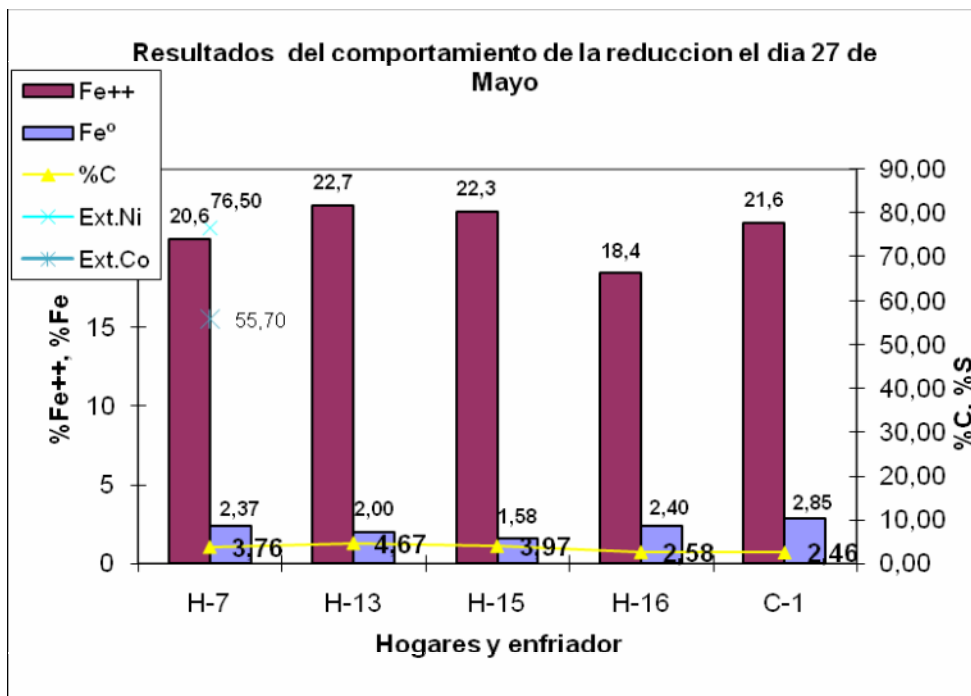


Figura # 8 Muestra el porcentaje de carbono, ferroso, hierro metálico y los valores del extractable del níquel y el cobalto el día 07 de junio.

Aquí aunque los valores del porcentaje de carbono dieron valores fuera de lo normal y el hierro metálico y el ferroso tienen valores aceptables sin embargo los porcentajes de extractable aunque fueron superiores que el día anterior, aún tienen valores por debajo de los deseados, los valores de carbono se producen por la utilización de mineral de bajo peso volumétrico, con las características antes expuestas, cuyo contenido de carbono oscila entre 6-9% pero es un mineral muy difícil de volver a reducir puesto que es un mineral reducido y parcialmente oxidado.

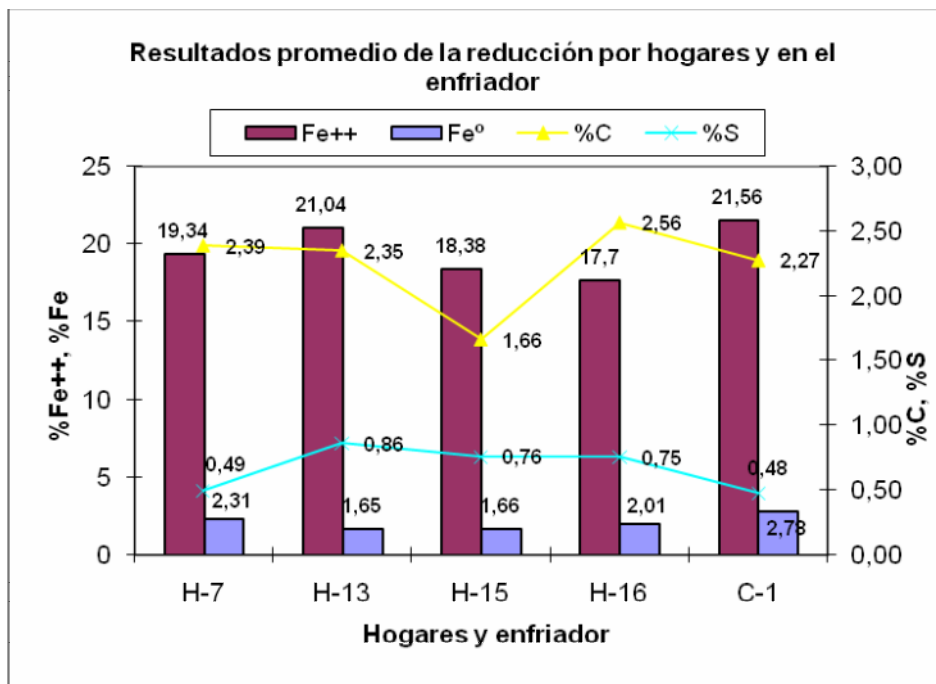


Figura # 9 valoración de los resultados promedios de la reducción por hogares y en el enfriador donde se observa de una forma mucho mas exacta todo lo anteriormente relacionado.

Por lo que se puede observar que la reducción continúa hasta el enfriador puesto que los valores de azufre que en los primeros hogares tiene valores altos se observa como en el mineral reducido ha bajado a niveles permisibles para estos procesos en todos los perfiles realizados y aunque el carbono se comporta de manera ascendente señalamos que existe un porcentaje del petróleo que no combustiona y por tanto imposibilita en alguna medida el contacto gas-sólido y por lo que afecta las extracciones esto se podría evitar aumentando las temperaturas en las cámaras de combustión para lograr que la mayoría del petróleo que entra al horno combustione y se obtenga un contenido de carbono mayor e igual 1,8% y menor o igual a 2,8% y así mejorar el contacto gas-sólido que constituye otra característica importante en la obtención de buenos resultados y permitiría obtener valores de consumo de petróleo adecuados.

3.3. Valoración ambiental.

Para hacer una valoración ambiental de la utilización del petróleo aditivo como agente reductor suministrado a los hornos por el sinfín M11 y determinar la influencia que tiene el contenido de carbono con el mineral con la utilización de este portador energético, comenzaría por los cambios que provocó en la tecnología el empleo del referido agente reductor entre las que se encuentran las siguientes:

- La temperatura del hogar 0 tubo aumentó aproximadamente de 100-200°C
- La temperatura de descarga de los enfriadores tuvieron un aumento de alrededor de 80°C.
- El porcentaje de monóxido de carbono en los gases de salida hacia el electrofiltro también se incrementaron ligeramente así como la temperatura de entrada y salida del referido electrofiltro.

Esto ha provocado emanaciones por las chimeneas de los ventiladores de succión (M-2) al aumentar la temperatura del hogar 0 y con ello aumenta la temperatura de los gases de salida en la referida chimenea provocando emanaciones de polvo y gases de estas, al aumentar la temperatura de descarga de los enfriadores de mineral estos también contaminan el medio ambiente al tener emanaciones por la chimenea de estos y provocan desprendimientos de gases al reaccionar mineral con temperaturas superiores a las establecidas con los licores amoniacales que circulan por las canales de contactos, el porcentaje de monóxido de carbono aumenta en los gases de salida hacia el electrofiltro y las temperaturas de entrada y salida sufren cambios bruscos se saca de proceso el filtro y se comienza a contaminar el medio ambiente en ocasiones por tiempos prolongados, por tanto se recomienda se evalúe nuevamente el cambio de posición de las lanzas automáticas y sean ubicadas nuevamente en el hogar 7

En estos momentos se hacen estudios por parte de los compañeros del departamento técnico juntos a los especialistas de medio ambiente para buscar soluciones prácticas a esta problemática por lo que se espera que este trabajo colabore en las soluciones que propongan estos compañeros sobre todo porque quedó demostrado que una parte importante del petróleo que adicionamos no combustiona y puede en cierta medida estar provocando las alteraciones ya referidas y afectando gravemente el medio existente.

3.4. Valoración económica.

Para hacer una estimación económica de los resultados obtenidos partiendo del concepto de lo que significa el cambio de la tecnología y el empleo óptimo de las lanzas automáticas para suministrar el petróleo adicionado y que actúa como agente reductor dentro del horno por lo que podemos decir que.

En estos momentos la lanza se muestra como el método más ventajoso por:

1. Las pérdidas de petróleo tienden a disminuir, ya que los volátiles no se pierden pues son aprovechados como calor al quemarlos en el hogar 4 y serían menores si se utilizara en el hogar 7
2. El costo de la inversión y mantenimiento es bajo.
3. Existe una larga experiencia de su uso en Nicaro como complemento con el gas reductor.
4. Las pruebas experimentales realizadas con la lanza automatizada son efectivas.

La utilización de la lanza automatizada mejoró la contabilidad metalúrgica, en la cual se han tenido que realizar correcciones del tonelaje, ley de Ni y Fe, humedad, etc., debido a la presencia del petróleo en el mineral. Erradicó las dificultades que provocaba la dosificación de petróleo en las correas calientes, proporciona una ganancia como mínimo de 3 millones de dólares anuales al incrementarse la productividad de los molinos en un 10%.

Además si se tiene en cuenta que existe un porcentaje de petróleo que no combustiona y que los consumo específico de petróleo aditivo y en cámara están dando valores superiores a los establecidos en 2 Kg/h, valorando también que el precio del petróleo utilizado (Fuel oil) en el mercado mundial esta en los valores de 429,8 dólares la tonelada se podría decir que sin afectaciones a las extracciones se podría disminuir el porcentaje de petróleo aditivo en un 0,2 % y al completar los termopares de las cámaras y trabajar estas en los valores establecidos disminuiría el consumo en las cámaras hasta los valores deseados teniendo como referencia que el porcentaje de carbono en el mineral reducido dio valores promedios de 2,33 % y valorando que el trabajo se realizó con la utilización de mineral de reciclaje que posee las características relacionadas anteriormente, la planta lograría trabajar con mas eficiencia y mantendría el porcentaje de carbono en el mineral reducido en los valores deseados (1,8-2,8%). Por lo que las extracciones de níquel y cobalto se mantendrían o serían mayores, todo esto teniendo presente y valorando el tonelaje procesado por los hornos.

En este capítulo se hace un análisis de los diferentes parámetros que nos permiten conocer los valores del contenido de carbono en el mineral con la utilización de petróleo aditivo, además hacemos una descripción de la actividad realizada y se hace una valoración de los resultados obtenidos que permite resolver en parte el objetivo planteado, producto de la inestabilidad existente en la planta por el bajo inventario de mineral existente esos días y la inestabilidad de la planta de secaderos y molinos que posibilitó la utilización del mineral de recicló que es un mineral de bajo peso volumétrico, reducido y parcialmente oxidado y que por sus características es muy difícil volver a reducir los metales que contiene.

Se hace una valoración ambiental y económica que permite valorar el daño causado al medio ambiente existente y recomendar posibles soluciones para resolverlo, en la valoración económica se hace un estudio de las ganancias obtenidas con la aplicación de la nueva tecnología aplicada con la utilización lanzas automáticas para adicionar el petróleo que interviene como agente reductor en el proceso, además se describe las posibles causas que pueden afectar el contenido de carbono en el mineral con la utilización de petróleo aditivo.

Conclusiones.

1. La falta de un período de estabilidad en la operación de la planta imposibilitó una valoración más exacta del objetivo propuesto.
2. El horno 1 con 8 cámaras en operación y 6 termopares tipo B en cámaras, que al concluir el muestreo solo tenía 1 termopar y 6 cámaras, esto impide una valoración en las mismas condiciones del objetivo planteado.
3. El horno operó entre 20 y 22 toneladas/hora, con un promedio de 21,1 t/h para los 5 turnos monitoreados y muestreados que resultan insuficientes para llegar a conclusiones definitivas.
4. Ocurrió una baja reducción del mineral donde aparecen valores bajos del hierro ferroso y del metálico para mineral con contenidos de hierro en el mineral alimentado entre 41,1% - 44,7 % y como promedio 43,0%. Este resultado es producto de la utilización de mineral de reciclado durante el 60% de los turnos muestreados, mineral que es muy difícil de volver a reducir.
5. El valor promedio del contenido de Carbono de 2.33 % es bueno para los hornos industriales. Además esos valores pueden resultar mayores pero al procesar el mineral de reciclado que contiene entre un 6-9% de carbono y es un mineral parcialmente reducido y oxidado que fue alimentado al horno sin mezclar con el proviene de la planta de preparación de mineral que es como esta orientado pero muchas veces se incumple por niveles sumamente bajos de inventario
6. Se aprecia que la reducción continúa hasta el enfriador en todos los perfiles realizados y el contenido de azufre es menor que en los hogares porque continua combinándose.
7. Se aprecia que existe un porcentaje de petróleo que no combustiona por lo que no se descompone provocando un insuficiente contacto gas - sólido.
8. Los contenidos de carbono en el mineral reducido a la salida del enfriador deben estar en valores entre 1,8 - 2,8%.

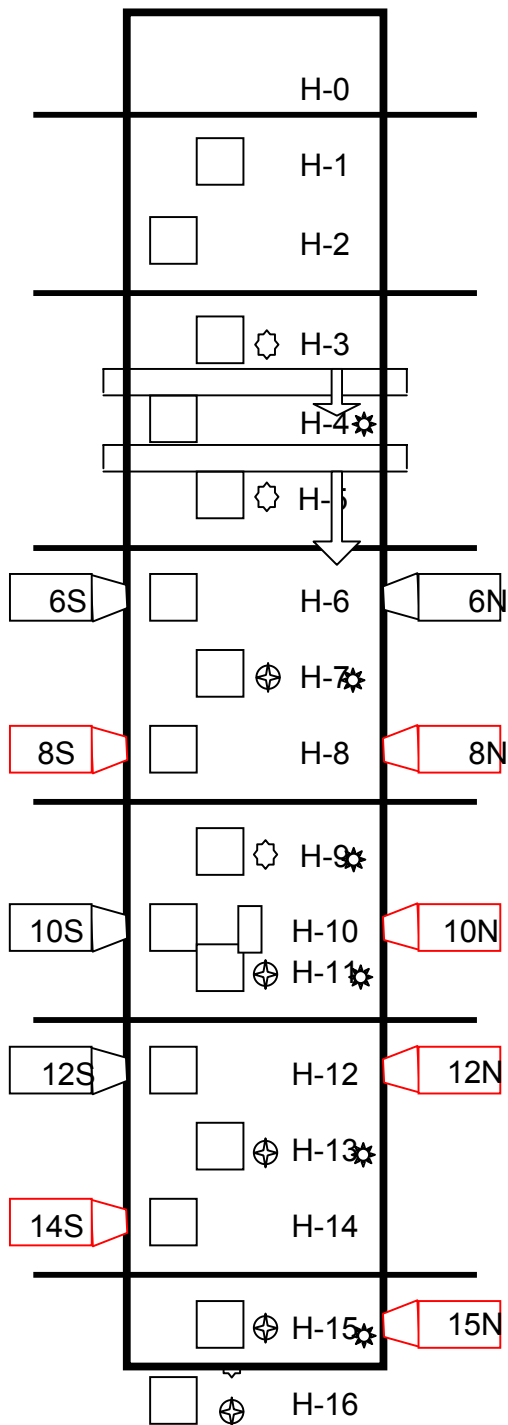
Recomendaciones.

1. Completar las 10 cámaras y los 10 termopares de las respectivas cámaras en operación en los hornos para garantizar valores de temperaturas que posibilite la descomposición del petróleo que actúa como agente reductor y lograr valores de consumo de petróleo adecuados.
2. Completar toda la instrumentación necesaria que permita un chequeo más exacto de todos los parámetros de la operación y así poder calcular los consumos de petróleo por planta y por horno.
3. Se evalué nuevamente el cambio de posición de las lanzas automáticas y la determinación de su ubicación óptima (hogar 1, sinfín M11, hogar 7 o combinaciones de las mismas).
4. Incrementar el número de muestras spot tomadas, por lo menos durante 4 horas de trabajo para cada prueba tomando muestras cada media hora, existiendo un período de tiempo estable en la operación de la planta.
5. Valorar la disminución de un 0,2 por ciento del petróleo adicionado al horno por el sinfín M11, teniendo presente que permitiría la descomposición de una parte del petróleo que no lo hace y favorecería el insuficiente contacto gas-sólido, valorando en todo momento el tonelaje procesado por ellos.

Bibliografía.

1. MINBAS Empresa Cmte. René Ramos Latour. Manual de Dirección de la Producción. 2001
2. Fernández Periche Francisco. Tesis Doctoral Aproximación funcional mediante redes de funciones de base radial, una alternativa para la predicción en el proceso de reducción de mineral de la tecnología Carón de producción de Níquel. enero 2008
3. Paz del Valle M. Informe Etapa 01 del Proyecto de Generalización de las lanzas automatizadas. Febrero 2004
4. Pineda Alex y León Esperanza. Trabajo de diploma "Recuperación del Calor en Hornos de Reducción y Planta Eléctrica. 1980
5. Tavío González G. Proyecto de Generalización del empleo de las lanzas automatizadas en la Planta de Hornos de Reducción. Septiembre 2003
6. Tavío González G. Informe Etapa 02 del proyecto de Generalización de las lanzas automatizadas. Marzo 2004
7. Tavío González G. Operación de la Línea 1 de Hornos de Reducción con petróleo aditivo para evaluar el efecto de la supresión del gas reductor sobre la temperatura descarga del mineral. 1995
8. Tavío González G. Operación de la línea 15 de Hornos de reducción para optimizar la operación combinada petróleo-gas y la operación con petróleo aditivo solamente. 1994
9. Tavío González G. Optimización de la Reducción de níquel en los Hornos equipados con Cámaras Prior 1996-1999
10. Tavío González G. Utilización de lanza automatizada para el suministro de petróleo aditivo a los Hornos de Reducción 1998-1999
11. Rodríguez G. José y Castillo Días Ariel Trabajo de Diploma. Determinación de la eficiencia del Carbono en el proceso de reducción de los hornos de hogares múltiples de Nicaro con la utilización de gas pobre como agente reductor. Curso 1980-1981.

ANEXOS



Leyenda







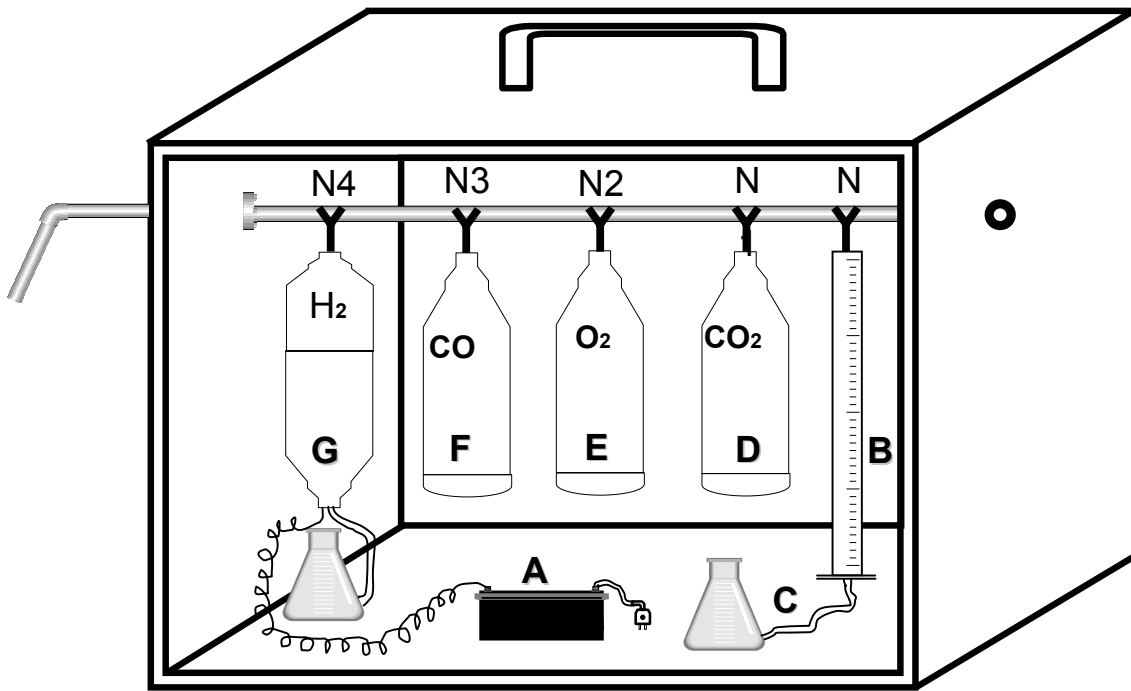
-  Compuertas
-  Mocheta
-  Termopar
-  Cámara en operación
-  Cámara fuera de operación
-  Tomamuestra de mineral

Figura # 1 Esquema del horno 1.



ANALIZADOR "ORSAT"

Fig. No. 2

Tabla # 9 Perfiles de mineral reducido Horno 1

| Fecha | Turno | Muestras | Bitácora | F -- 1 PV Perfil | | | | | | Extr MA Horno 1 | Ext. MR Enfriador 1 | | Ext. L. Central | | Ext. teórico | Dif. Teo.-Real | Hogares | Perfiles | Desviación Típica | SiO ₂ | MgO | | |
|--------|-------|----------|----------|------------------|-------|------|------|------|------|-----------------|---------------------|---------|-----------------|---------|--------------|----------------|---------|----------|-------------------|------------------|-------|---------|--|
| | | | | Ni | Co | Fe | Fe++ | Fe° | C | | S | Extr NI | Extr Co | Extr NI | | | | | | | | Extr Co | |
| 13-may | D-D | H-7 | 813 | 1,20 | 0,150 | 51,7 | 18,9 | 1,95 | 1,52 | 0,37 | | | | | | | H0 | 324 | 1.79 | | | | |
| | | H-13 | 814 | 1,24 | 0,150 | 53,0 | 21,7 | 1,47 | 0,80 | 0,73 | | | | | | | H4 | 767 | 6.45 | | | | |
| | | H-15 | 815 | 1,23 | 0,141 | 52,4 | 15,1 | 1,19 | 0,88 | 0,52 | | | | | | | H6 | 687 | 0.68 | | | | |
| | | H-16 | 816 | 1,21 | 0,160 | 51,4 | 19,7 | 3,08 | 2,31 | 0,54 | | | | | | | H9 | 671 | 2.67 | | | | |
| | | M-R | 812 | 1,16 | 0,160 | 49,8 | 24,5 | 3,28 | 1,72 | 0,42 | | | | | | | H11 | 706 | 5.84 | | | | |
| | | Q-T | 17,0 | 0,24 | 0,070 | 49,4 | | | | | | 79,3 | 79,1 | 54,3 | 76,7 | 34,2 | 83,5 | 4,4 | H13 | 720 | 3.60 | | |
| | | M-A | 830 | 1,02 | 0,092 | 43,5 | | | | | | | | | | | | H15 | 734 | 2.36 | 8.3 | 5.8 | |
| 20-may | D-D | H-7 | 858 | 1,20 | 0,160 | 50,7 | 19,7 | 2,17 | 3,31 | 0,15 | | | | | | | H0 | 313 | 12.31 | | | | |
| | | H-13 | 859 | 1,21 | 0,160 | 50,8 | 23,1 | 1,92 | 3,83 | 0,77 | | | | | | | H4 | 674 | 6.04 | | | | |
| | | H-15 | 860 | 1,23 | 0,160 | 52,3 | 17,5 | 2,05 | 0,70 | 0,52 | | | | | | | H6 | 737 | 7.07 | | | | |
| | | H-16 | 861 | 1,23 | 0,160 | 50,9 | 19,3 | 1,26 | 3,34 | 0,76 | | | | | | | H9 | 679 | 9.77 | | | | |
| | | M-R | 857 | 1,19 | 0,150 | 47,7 | 23,3 | 2,8 | 2,77 | 0,52 | | | | | | | H11 | 715 | 11.87 | | | | |
| | | Q-T | 862 | 0,27 | 0,060 | 47,6 | | | | | | 77,6 | 77,3 | 62,0 | 71,6 | 33,0 | 80,5 | 3,2 | H13 | 704 | 13.65 | | |
| | | M-A | 863 | 1,04 | 0,130 | 41,1 | | | 0,26 | 0,26 | | | | | | | | H15 | 744 | 8.07 | 13.1 | 7.2 | |
| 27-may | A-D | H-7 | 910 | 1,17 | 0,130 | 51,6 | 18,6 | 2,61 | 1,47 | 0,95 | | | | | | | H0 | 272 | 10.78 | | | | |
| | | H-13 | 911 | 1,20 | 0,130 | 52,3 | 16,8 | 1,38 | 1,35 | 1,18 | | | | | | | H4 | 682 | 27.89 | | | | |
| | | H-15 | 912 | 1,24 | 0,130 | 52,7 | 18,4 | 1,51 | 1,48 | 1,12 | | | | | | | H6 | 660 | 1.21 | | | | |
| | | H-16 | 913 | 1,24 | 0,130 | 52,6 | 18,4 | 1,40 | 2,46 | 0,86 | | | | | | | H9 | 655 | 3.68 | | | | |
| | | M-R | 909 | 1,06 | 0,120 | 50,3 | 22,3 | 2,67 | 2,25 | 0,51 | | | | | | | H11 | 700 | 4.46 | | | | |
| | | Q-T | 914 | 0,17 | 0,050 | 50,5 | 10,3 | | | | | 83,4 | 84,0 | 58,4 | 76,1 | 21,7 | 86,5 | 2,5 | H13 | 683 | 2.78 | | |
| | | M-A | 915 | 0,88 | 0,093 | 43,3 | | | 0,17 | 0,21 | | | | | | | | H15 | 738 | 2.22 | 7.1 | 3.3 | |
| 03-jun | A-D | H-7 | 941 | 1,19 | 0,133 | 51,9 | 18,9 | 2,45 | 1,87 | 0,70 | | | | | | | H0 | 285 | 4.65 | | | | |
| | | H-13 | 942 | 1,20 | 0,132 | 53,7 | 20,9 | 1,48 | 1,09 | 0,99 | | | | | | | H4 | 715 | 3.19 | | | | |
| | | H-15 | 943 | 1,23 | 0,137 | 54,0 | 18,6 | 1,99 | 1,28 | 0,85 | | | | | | | H6 | 732 | 26.42 | | | | |
| | | H-16 | 944 | 1,22 | 0,142 | 51,6 | 12,5 | 1,89 | 2,12 | 0,84 | | | | | | | H9 | 705 | 8.29 | | | | |
| | | M-R | 940 | 1,17 | 0,132 | 51,3 | 16,2 | 2,31 | 2,16 | 0,46 | | | | | | | H11 | 717 | 2.56 | | | | |
| | | Q-T | 945 | 0,44 | 0,072 | 51,4 | | | | | | 61,7 | 62,5 | 45,6 | - | - | 85,8 | 23,3 | H13 | 702 | 3.76 | | |
| | | M-A | 946 | 1,00 | 0,118 | 44,7 | | | 1,21 | 0,24 | | | | | | | | H15 | 737 | 2.85 | 7.6 | 3.8 | |
| 07-jun | C-D | H-7 | 955 | 1,20 | 0,140 | 49,9 | 20,6 | 2,37 | 3,76 | 0,58 | | | | | | | H0 | 295 | 3.96 | | | | |
| | | H-13 | 956 | 1,24 | 0,140 | 50,5 | 22,7 | 2,00 | 4,67 | 1,02 | | | | | | | H4 | 781 | 30.36 | | | | |
| | | H-15 | 957 | 1,22 | 0,130 | 50,2 | 22,3 | 1,58 | 3,97 | 1,05 | | | | | | | H6 | 742 | 4.71 | | | | |
| | | H-16 | 958 | 1,25 | 0,140 | 50,2 | 18,4 | 2,4 | 2,58 | 0,77 | | | | | | | H9 | 667 | 7.32 | | | | |
| | | M-R | 954 | 1,17 | 0,130 | 48,3 | 21,6 | 2,85 | 2,46 | 0,47 | | | | | | | H11 | 701 | 3.73 | | | | |
| | | Q-T | 959 | 0,28 | 0,060 | 49,2 | | | | | | 76,9 | 76,5 | 55,7 | 79,8 | 42,8 | 85,2 | 8,7 | H13 | 685 | 1.45 | | |
| | | M-A | 960 | 1,04 | 0,114 | 42,3 | | | 0,23 | 0,12 | | | | | | | | H15 | 732 | 2.71 | 8.1 | 4.1 | |

Tabla # 10 Resultados de perfiles gaseosos realizados al horno

| Fecha | Hora | Cámara | CO | CO2 | Cámara | CO | CO2 | Cámara | CO | CO2 | Cámara | CO | CO2 | Cámara | CO | CO2 | Hogar | CO | CO2 | % Adit | TON |
|--------|---------|------------|-----|------|------------|-----|------|------------|-----|------|------------|-----|------|------------|-----|------|------------|------|------|--------|------|
| 13-may | 12,00m | 10S | 7,6 | 15 | 12N | 8,0 | 16,0 | 12S | 7,0 | 14,0 | 14S | 5,0 | 17,0 | 15N | 6,0 | 16,0 | H10 | 10,2 | 12,0 | 2,3 | 22,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20-may | 1,00pm | 10S | 8,2 | 14,4 | 12N | 7,6 | 15,0 | 12S | 8,6 | 13,8 | 14S | 8,2 | 13,6 | 15N | 8,0 | 14,2 | H10 | 10,8 | 12,2 | 2,3 | 22,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27-may | 12,00m | 10S | 7,4 | 14,8 | 12N | 8,2 | 13,6 | 12S | 7,2 | 13,8 | 14S | 8,0 | 14,4 | 15N | 8,4 | 13,8 | H10 | 11,0 | 12,8 | 2,3 | 21,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03-jun | 10,30am | 10S | 8,0 | 13,6 | 12N | 7,8 | 13,8 | 12S | 8,2 | 14,4 | 14S | 7,8 | 13,6 | 15N | 8,0 | 13,6 | H10 | 11,4 | 12,2 | 2,5 | 20,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07-jun | 10,30am | 10S | 7,6 | 14,0 | 12N | 8,6 | 14,2 | 12S | 8,8 | 13,2 | 14S | 7,2 | 14,8 | 15N | 8,4 | 13,0 | H10 | 10,8 | 12,4 | 2,5 | 20,5 |