



**REPUBLICA DE CUBA  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA**

**INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CÁMARAS EN  
OPERACIONES Y CONDICIONES DE OPERACIÓN  
EN HORNO DE REDUCCIÓN DE LA EMPRESA  
RENÉ RAMOS LATOUR**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO METALURGICO**

**Autor: Roberto Peña Barrios**

**MOA  
2013**



**REPUBLICA DE CUBA  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA**

**INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CÁMARAS EN  
OPERACIONES Y CONDICIONES DE OPERACIÓN  
EN HORNO DE REDUCCIÓN DE LA EMPRESA  
RENÉ RAMOS LATOUR**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO METALURGICO**

**Autor: Roberto Peña Barrios**

**Tutores:**

**Prof. Aux. Lic. Carlos Izaguirre Bonilla. DrC.**

**Ing. Georgina Tavío González**

**Ing. Minael Diaz Bernal**

**MOA  
2013**

## *AGRADECIMIENTOS*

*Agradezco la ayuda brindada por mis tutores los ingenieros Georgina Tavío González y Minael Díaz Bernal en la realización de este trabajo, así mismo a la compañera ingeniera Lisset Chapman, trabajadora del Centro de investigaciones de la Industria del Níquel (CEINNIQ), a la profesora ingeniera Ana Roque por toda la ayuda brindada y demás compañeros que de una forma u otra colaboraron conmigo para la culminación de esta tarea. A todas aquellas personas cercanas a mí que influyeron en mi desarrollo profesional, por ayudarme durante toda mi carrera y a los que siempre guardo en mi corazón.*

*Son tantos a los que agradecer, que aunque no los mencione en estas líneas, tengan presente que les estoy agradecido eternamente.*

*A toda mi familia en general.*

## DEDICATORIA

*Dedico mi trabajo de Tesis a nuestra querida **Revolución**, que ha permitido parte de mis sueños se conviertan en realidad al llevar a vías de hecho un posible anhelo.*

*Al 60 aniversario del asalto a los cuarteles **Moncada** en Santiago de Cuba y **Carlos Manuel de Céspedes** de Bayamo.*

*A mi **familia** más cercana por el apoyo moral brindado durante los largos años de estudios.*

*Y muy especial a mi tutora **Georgina Tavío González** por su gran esfuerzo, paciencia y dedicación, a quién le debo en gran medida la realización de este trabajo.*



## **RESUMEN**

En el presente trabajo se muestran los resultados alcanzados en el horno 15 de la Planta Metalúrgica de la Empresa René Ramos Latour, donde se determinó la influencia de los parámetros de operación y el estado técnico del equipamiento, incluye el número de cámaras de combustión en operación, para la obtención de mejores extracciones de níquel y cobalto, además de incremento de las productividades que propicia ahorro de combustible y al aumento directo de la eficiencia metalúrgica y ganancias en el proceso. Se realizó una revisión de los cambios efectuados en la tecnología a raíz de la introducción de las cámaras Prior en el año 1996, así como el estado que presenta la instalación en el año 2012, al cese de sus operaciones como productor de níquel. Se demuestra que la operación con 5 cámaras en el horno quince, es totalmente ineficiente, tanto por la productividad como por las extracciones de níquel alcanzadas. Se concluyó que con la entrada al procesamiento industrial del mineral de Pinares de Mayarí, no se hace necesario la introducción de 10 cámaras de combustión en operación y es posible solo con 8 cámaras alcanzar productividades de hasta 23 toneladas por hora, demostrándose incremento de productividad con el aumento de las cámaras en operación.



## **ABSTRACT**

The results achieved in the operation of the furnace 15 of the Metallurgical Plant are shown in this work, where the influence of the parameter are determined, as well as the technical state of the equipment so as to obtain improved extractions of Ni and Co, besides of an increase in the productivities that will take to a saving of fuel and the direct improvement of the Metallurgical efficiency and the process profits. A survey is made concerning the changes suffered in technology with the introduction of the Prior Chambers in 1996, for what analysis was made to different Works performed, as well as the state in which the facility was in 2012 when the final shutdown as Ni producer occurred. As to conclude we can point out that with the entrance of Pinares de Mayarí ore to the industrial process it is not necessary the introduction of 10 combustion chambers in operation and that it is possible to achieve with only 8 chambers, the productivity that was planned. This was lower than the foreseen and recommended in previous research works. In previous works it was confirmed the possibility of using 8 or more chambers with a notable increase of productivity.



<b>ÍNDICE .....</b>	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
1.1. Generalidades del proceso de reducción .....	8
1.2. Breve descripción del proceso tecnológico del horno.....	10
1.3. Características del proceso de reducción .....	15
1.3.1. Composición química y granulometría del mineral alimentado. ....	15
1.3.2. Influencia de la temperatura en el proceso de Reducción.....	17
1.3.3. Concentración de gases dentro del horno. ....	18
1.3.4. Número de hogares del horno.....	18
1.3.5. Estabilidad en la alimentación.....	18
1.3.6. Tiempo de retención del mineral dentro del horno. ....	19
1.3.7. Presión de los gases dentro del horno. ....	19
1.4. Modificaciones más importantes de los Hornos Herreshoff después del cambio de la tecnología a Cámaras Prior en la empresa René Ramos Latour.....	20
1.5. Prueba en Planta Piloto con el mineral de Pinares de Mayarí. ....	22
1.5.1 Recomendaciones para la operación de hornos de reducción.....	22
1.6. Selección del horno 15 para el estudio. Características técnicas del mismo .....	23
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
2.1 Métodos y materiales.....	25
2.1.1 Muestreo del mineral alimentado al horno 15.....	25
2.1.2 Muestreo del mineral reducido en el enfriador 8 y realización de la lixiviación para la determinación de las extracciones de níquel y cobalto .....	26
2.1.3 Métodos de análisis .....	27
2.2 Desarrollo del trabajo.....	29
2.2.1 Fundamentos y herramientas para el procesamiento de los resultados .....	31



2.2.2 Cálculo de las extracciones .....	32
2.2.3. Cálculo de las toneladas secas netas de mineral alimentado. ....	33
<b>3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
3.1 Análisis de los resultados por Etapa .....	34
3.1.1 Primera Etapa. Antes de la recuperación de cámaras. Periodo entre (2 al 17 de mayo del 2011) .....	35
3.1.2 Segunda etapa. Después de la recuperación de cámaras. (8 cámaras en operaciones). ....	40
3.2 Comparación entre las extracciones de níquel de los enfriadores de la Planta y el enfriador 8 correspondiente al horno 15. ....	48
3.3 Comparación de los resultados entre las dos etapas. (Antes y después de la recuperación de cámaras) .....	49
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>55</b>





## **INTRODUCCIÓN**

El Horno de Reducción de hogares múltiples, es el equipo clave para la obtención de níquel y cobalto a partir del mineral laterítico procesado mediante el proceso Caron. Este es el primer proceso químico-físico, la reducción selectiva de los óxidos de níquel y cobalto a sus correspondientes formas metálicas, que los pone en condiciones para la lixiviación carbonato-amoniaca posterior.

Esta tecnología resulta adecuada para procesar minerales serpentínicos y limoníticos, pero durante la reducción se producen pérdidas notables debido a la formación de estructuras cristalinas espinelas de hierro, olivinos y piroxenos que atrapan al níquel y cobalto en forma de óxidos y en menor grado en estado metálico, y la aparición de altos contenidos de hierro metálico en el mineral reducido, lo que trae como consecuencia que disminuya la extracción de níquel y cobalto en el proceso de lixiviación. Estas pérdidas se incrementan cuando se viola el perfil de temperatura y/o el perfil gaseoso dentro del horno, por estas razones, la importancia del control de la operación en el mismo.

En el año 1996, se introdujo la tecnología de las cámaras Prior en los hornos de reducción y además se había producido el año anterior el cambio del gas reductor obtenido en los productores de gas, por petróleo aditivo, que se adicionaba directamente en las llamadas correas caliente de la descarga de los secaderos de mineral. Inmediatamente al salir el primer horno equipado con cámaras Prior, que resultó el horno 13, se procedió a la identificación de la operación en el mismo, que disponía en operación 7 de las 10 cámaras propuestas por diseño.



Los resultados de este trabajo fueron satisfactorios, incluso se logró alcanzar extractables de níquel similares al extractable de níquel teórico con tonelajes hasta 23 toneladas métricas brutas por hora, con un porcentaje de petróleo aditivo superior al 2,5, con una supervisión exhaustiva de los parámetros de operación en las cámaras establecidos por el fabricante. Reportes de progreso (Tavío. G. 1997).

Entre los meses de enero a marzo del año 1997, se desarrolló una primera etapa del trabajo de un proyecto orientado a la optimización de la operación con estas cámaras, (Tavío, G 1997). Se ejecutó en el horno 13, con la utilización de 8 cámaras de combustión, donde se comprobó que tonelajes superiores a 24,5 toneladas métricas brutas por hora incrementaban la presión del hogar 16, sobre todo, después de la caída de dientes en el horno.

Se trabajó con las 8 cámaras de combustión, cada una con su quemador al máximo de aire, potenciando el horno e incrementando el tonelaje hasta 27,2 toneladas métricas brutas por horas, pero las presiones aumentaron excesivamente, por lo que se recomendó realizar una segunda etapa de trabajo, que contemplaba abrir una nueva cámara de combustión con su respectivo quemador para suministrar el calor necesario sin tener que operar los quemadores al máximo y fuera más uniforme el calor añadido, y esperar la reparación del horno después de 20 meses de operaciones.

En el transcurso de la reparación del horno se comprobó que en los depósitos encontrados en el interior de las cámaras Prior no apareció mineral, el material encontrado estaba formado por refractario, dada la alta concentración de alúmina en el análisis químico realizado a la muestra tomada, es decir que en este horno no se introdujo nunca mineral dentro de las cámaras, por que las gargantas de cada una de ellas estaban en buen estado técnico. Otro aspecto a señalar es que el revestimiento del eje central estaba en buenas condiciones. (Tavio, G, 1998)

A partir del 22 de Noviembre y hasta el 15 de diciembre de 1997, se ajustaron tonelajes superiores a 24,5 toneladas métricas brutas por hora, para evaluar su



efecto sobre la extracción de níquel, los consumos de combustible y la presión en el hogar 16. Se abrió la otra cámara de combustión llegando a 9 en operaciones. (Tavío, G, 1998). Se comprobó que mayores contenidos de hierro en el mineral favorecen la reducción permitiendo un incremento del tonelaje al horno de reducción, sin ser necesario operar el horno con las 10 cámaras de combustión en operación para poder incrementar el tonelaje por romana por encima de 24 toneladas métricas brutas por hora. (Criterio del autor)

Se concluyó en este proyecto que tonelajes de 25 toneladas métricas brutas por hora son procesadas por los hornos equipados con 9 cámaras de combustión sin afectaciones en la presión del hogar 16, siempre que no se opere con exceso de aire en la combustión de los hogares. (Tavío, G, 1998). Demostrándose que no es necesario la operación de las 10 cámaras de combustión en los Hornos de la Empresa René Ramos Latour. (Criterio del autor)

El tonelaje mínimo para 8 cámaras de combustión en operación de estos hornos con cámaras Prior, es entre 18-20 toneladas métricas brutas determinadas por romanas. Valores menores producen alteraciones en el régimen de temperaturas, y sobre todo en momentos de cambios de operación, para bajar o aumentar tonelaje, esto produce afectaciones en los termopares, también a las cámaras y bóvedas por el cambio térmico que ocurre. (Tavio.G, 1998). Por experiencias de trabajo en la planta del autor de este trabajo al ocurrir cambios bruscos de temperatura puede producir afectaciones en el funcionamiento en el interior del horno como puede ser caídas de bóvedas, brazos, dientes.

Cuando se analizaron las causas que provocaron el deterioro de los termopares, que generalmente estaban asociadas a variaciones grandes de temperaturas en la cámara, causadas por la inestabilidad operativa y fallos en el suministro estable de aire primario y petróleo para la combustión, así como paradas y arrancada de los equipos por baja eficiencia operativa. Se demostró, que se deben tomar las medidas necesarias para estabilizar el suministro de mineral con las características estables de composición química y de petróleo adicionado, y evitar



alteraciones de petróleo y aire utilizado en la combustión, que provocarían consecuencias negativas. (Reporte Técnico.1998)

**Situación problemática:** Las insuficiencias o elementos negativos en el funcionamiento de los hornos que llevaron al estado de deterioro de los mismos en la empresa René Ramos Latour. A continuación se enumeran algunas:

1. Pocas cámaras en operaciones
2. Falta de aditamentos, brazos, dientes.
3. No observancia de perfil de temperatura en el horno.
4. La no observancia de las recomendaciones técnicas emitidas por diferentes trabajos.

**Problema Científico:** Insuficiente conocimiento sobre la influencia de parámetros de operación y número de cámaras del horno 15 en la Empresa René Ramos Latour.

**Objeto de investigación:** El objeto de la investigación es el horno 15 de la Planta de Hornos de Reducción de la Empresa René Ramos Latour.

**Objetivo General:** Analizar los parámetros de operación, estado técnico y el número de cámaras en operaciones del horno 15 de la empresa René Ramos Latour.

**Campo de acción:** Planta de Hornos de Reducción, de la empresa “René Ramos Latour”, específicamente el Horno 15 de la Planta Nueva.

### **Objetivos Específicos.**

1. Seleccionar y caracterizar el mineral de alimentación a la planta de hornos de reducción de la empresa “René Ramos Latour”, que pasa al proceso de reducción.
2. Recopilar datos de operación del horno quince de la planta de Hornos de Reducción proporcionados por el Sistema de Supervisión de procesos Eros,



para determinar los factores que mayor incidencia tienen en la recuperación de níquel y cobalto.

3. Caracterizar mediante lixiviación a escala de laboratorio, con la realización de Prueba QT, (tanque de contacto), al mineral reducido, tomado a la salida del enfriador 8, correspondiente al horno 15, de la planta nueva de hornos de reducción.

**Hipótesis:** si se analizan las condiciones de funcionamiento y el número de cámaras en operaciones del horno 15, será posible incrementar la efectividad del proceso.

### **Metodología para la realización del trabajo.**

1. Revisión bibliográfica
2. Realización de experimentos
3. Aplicación del procesamiento de estadística descriptiva.

### ***Los aportes de la investigación son:***

#### ***En lo Científico:***

Integración de varios factores que contribuyen a la efectividad o la eficiencia en el proceso de reducción del horno quince de la empresa René Ramos Latour.

#### ***En lo Social:***

Este trabajo conlleva a un mejor uso más racional de los recursos minerales al optimizar la reducción y mejorar los efectos negativos al medio ambiente.

#### ***En lo Económico:***

Permite una mejor extracción de níquel y cobalto, se revierte en recursos financieros para el país.



## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Generalidades del proceso de reducción**

El proceso de reducción en la empresa “René Ramos Latour” es heterogéneo y ocurre fundamentalmente entre la línea divisoria entre las fases (sólida y gaseosa) y la velocidad de reacción está determinada por la difusión del gas al interior de la partícula de mineral, por la concentración de reductores y la velocidad con que sean desalojados los productos de la reacción. El mineral procesado es limonítico y serpentínico, se diferencian por su composición química. La limonita tiene mayor contenido de hierro. (Por encima de 35 %). La reducción de níquel en el mineral limonítico es sencilla a bajas temperaturas y se puede llevar a cabo a bajas concentraciones de agentes reductores. (Castellanos, J, 1999)

El mineral alimentado a los hornos de reducción alcanza una alta fineza en la Planta de Preparación de Mineral, lo cual proporciona una mayor superficie activa del mineral y favorece una mejor reducción de este mineral.

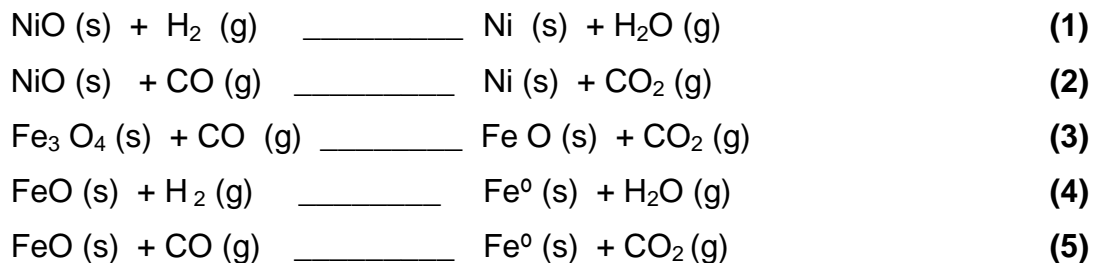
El mineral serpentínico está formado por silicatos hidratados y las extracciones son más pobres, mezclándolo con limonítico las extracciones se incrementan. El calentamiento es importante para este material, se ha demostrado que existe una correlación entre la velocidad de calentamiento durante la reducción y la liberación del agua combinada con el mineral, lo cual explica satisfactoriamente por qué cuando la velocidad del calentamiento es alta, la recuperación es pobre. (Castellanos, J, 1999)



Las moléculas de los silicatos complejos, que forman la serpentina deben ir perdiendo el agua paulatinamente hasta el momento de su liberación total, que es cuando puede ser reducido el óxido de níquel presente en ellos. Si en ese momento la concentración de reductores no es suficiente, los óxidos se reagruparían nuevamente formando silicatos deshidratados muy difíciles de descomponer. (Castellanos, J, 1999)

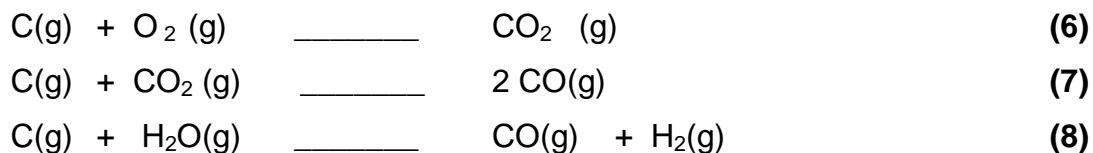
La reducción del óxido de níquel ocurrirá a una mayor velocidad que la reducción de la magnetita a óxido ferroso bajo las condiciones de temperatura y concentración de gases reductores aportados por cámaras de combustión y petróleo aditivo.

Las reacciones de reducción de los óxidos de níquel, cobalto e hierro, se presentan a continuación:



Las primeras 2 reacciones se llevan a cabo también con el cobalto.

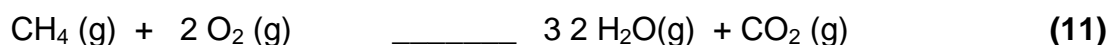
Algunas reacciones llevadas a cabo en la combustión del petróleo en las cámaras son:



La post-combustión de los gases, que ha logrado llegar a la parte superior del horno, tiene lugar en los hogares 4 y 6, donde se alimenta aire caliente entre 150 y 200°C, extraído del eje central por el ventilador de post combustión. Esta inyección



de aire permite aumentar la productividad, disminuir la cantidad de gases combustibles ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{CH}_4$ ), que puedan llegar a combustionarse en los electrofiltros, trayendo destrucciones parciales o totales de la instalación y además ocasiona una disminución del consumo de combustible que alcanzaría valores hasta de 100 Kg/t de no utilizarse este sistema, valor que es el doble del consumo actual y también se minimiza la contaminación ambiental por el monóxido de carbono residual. Las reacciones químicas más importantes en la post-combustión. (Castellanos, J, 1999)



## 1.2. Breve descripción del proceso tecnológico del horno.

Los hornos de hogares múltiples del tipo Herreshoff, tienen una altura de 21,87 metros, diámetro de 6,87 metros y están formados por tres partes fundamentales que son: el eje central, el cuerpo del horno y las cámaras de combustión. Se conoce que el encendido de los primeros hornos de reducción de la empresa Comandante René Ramos Latour se efectuó el 29 de septiembre de 1943, (con 12 hornos en el área de la planta vieja), posteriormente se amplió la planta con 10 hornos más, en el área de planta nueva en el año 1956.

Entre los años 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.

El cuerpo del horno es un cilindro estático vertical de acero, con revestimiento de material refractario, que con el techo y el piso forman los 17 hogares (del H0 al H16) que constituye el horno.



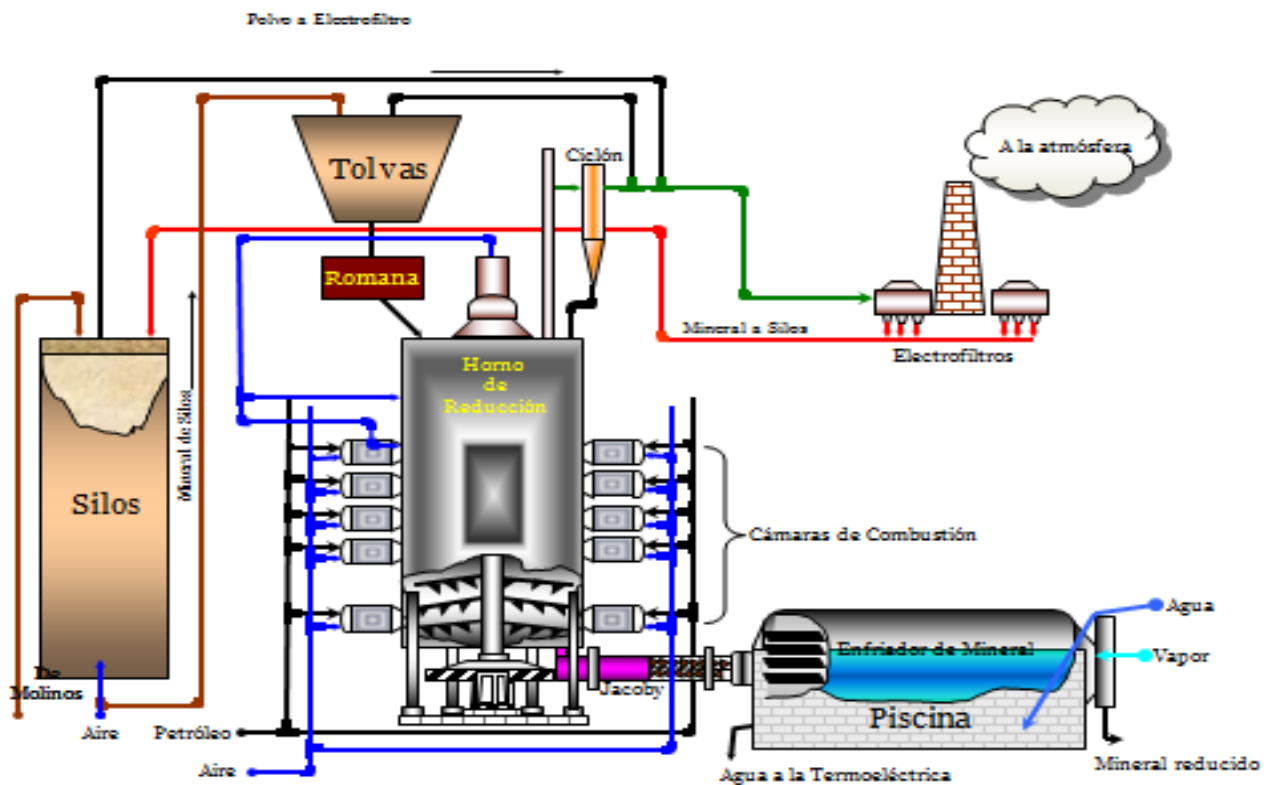


Estas divisiones están construidas de tal forma, para garantizar los hogares pares descarguen por la periferia y los hogares nones por el centro.

El eje central está formado por tramos de acero especial, en su parte inferior está soportado por una chumacera de empuje vertical, y en la parte superior se encuentra alineado por cuatro rodillos situados a  $90^\circ$  entre sí. Está revestido con materiales refractarios y el enfriamiento se realiza por tiro forzado del aire al ser extraído por el ventilador de Post-Combustión.

Cada hogar cuenta con 4 brazos situados a  $90^\circ$ , provisto de dientes que situado de forma conveniente provocan al rotar el eje el movimiento del mineral dentro del horno. (FUENTES, J, 1999)

Un esquema integral del horno y sus equipos periféricos es el siguiente:



**Figura. 1.1** Horno de reducción con sus equipos periféricos.

El mineral reducido es desalojado del hogar 16 (una de las partes en las que se divide el horno en su interior), por el transportador rotatorio, es recogido por las



cucharas de este y trasladado hasta el enfriador rotatorio, donde se descarga entre 180-200°C. La temperatura de salida del mineral del horno oscila entre 650 a 700°C.

Producto de las reacciones químicas que se llevan a cabo entre los gases reductores y el mineral, se produce una corriente gaseosa que asciende por el interior del horno saliendo finalmente por la chimenea de los gases, está constituida por dióxido de carbono, vapor de agua, monóxido de carbono, hidrogeno y metano. Estos gases arrastran mineral que por lo general es la fracción más fina que es devuelta al proceso. (FUENTES, J. 1999)

Al ponerse en explotación la planta hace más de 67 años, funcionaban 12 hornos de hogares múltiples, después debido a la Guerra de los EUA en Corea se ampliaron hasta 21 hornos. Con el triunfo de la Revolución se incrementaron a 22 hornos, distribuidos de la siguiente manera: 12 hornos en la planta vieja y 10 en la planta nueva. Los reductores se lograban de la combustión incompleta del petróleo en las cámaras, mediante el gas reductor producido por los productores de gas, a partir del año 1995, se sustituye por el petróleo aditivo. (FUENTES, J, 1999)

Después de la modernización en el año 1996, se disminuyó el número de hornos a once, quedando en funcionamiento los hornos de la parte sur y descargando cada uno en un enfriador de mineral, donde antes descargaban dos hornos. Estos hornos fueron equipados con 10 cámaras Prior y las productividades aumentaron al incrementarse la capacidad de las cámaras y de los quemadores en comparación a los anteriormente usados. Los hornos en funcionamiento son los siguientes:

**Hornos de Planta Vieja** N° 1, 3, 5, 7, 9 y 11

**Hornos de Planta Nueva** N° 13, 15, 17, 19 y 21

Cada horno cuenta con una romana, diseñada y desarrollada por el Grupo Eros de SERCONI, con capacidad máxima de 34 toneladas métricas brutas por hora para cada horno independiente. El mineral es suministrado al embudo de pesaje por medio del alimentador de estrella M-13, cuando se completa y verifica por medio



de repesaje el peso cargado, el mineral se descarga al transportador M-11, este se encarga de llevar el mineral a la parte superior del horno.

El suministro de petróleo aditivo comenzó en el año 1995, adicionándose en las denominadas "Correas calientes," a la salida de los secaderos de mineral, pero en el año 2004, fue cambiada la romana por una nueva romana inteligente *EROS*, diseñada y construida por SERCONI, para el control de la adición de petróleo en función del tonelaje procesado y se comenzó a adicionar mediante lanzas automatizadas en el Hogar 7, de cada horno de la Planta Nueva, en el 2005 se generalizó en todos los hornos de la Planta de Hornos de Reducción de la Empresa René Ramos Latour (incluyendo los de la planta vieja) añadiéndolo en el Hogar 1 y posteriormente en el año 2007 se subieron las lanzas hasta el transportador de mineral (M11), situado a la entrada del horno, rociando directamente el mineral con el petróleo. (Roque, A, 2000) (Tavío, G, 2007)

El mineral una vez dentro del horno es sometido al proceso de reducción, el que se logra estableciendo un perfil de temperatura y una concentración de gases reductores ( $\text{CO} - \text{H}_2$ ), producidos por la combustión incompleta del petróleo en las cámaras y la descomposición del petróleo aditivo que acompaña al mineral.

Los hornos como se expresó, cuentan con diez cámaras Prior, el esquema de los quemadores se presenta en la figura 1.2.

Los quemadores para el funcionamiento de los hornos son los siguientes.

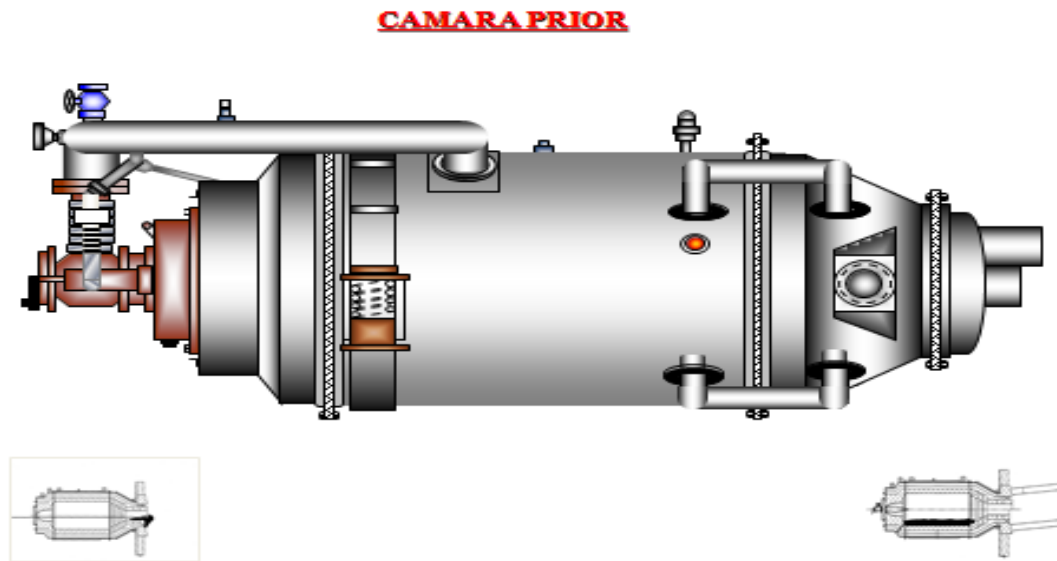
- Quemador SSB-7 en las cámaras H6 N y S y H15 N y S
- Quemador SSB-10 en las cámaras H8 - H10 N y S y H12 N y S
- La ubicación de las cámaras por hogar fue la siguiente en los inicios de la operación de la Tecnología de Cámaras Prior.

Cámara	Cámaras en operación
H-15	1
H-12	2
H-10	2
H- 8	1
H- 6	1

Siete cámaras en operación y tres de repuesto, previamente secadas y selladas por las gargantas.



El esquema de la cámara Prior se presenta en la siguiente figura.



**Figura. 1. 2** Cámara Prior instalada en los Hornos de Reducción

Durante todos estos años desde el 1996 hasta el 2012, se han desarrollado trabajos de investigación y técnicos para mejorar los valores de eficiencia principalmente en esta etapa de reducción, determinante en la eficiencia metalúrgica de la empresa.

En los trabajos antes mencionados se demostró que es posible la utilización de 8 o más cámaras con un incremento de la productividad, por análisis realizados. (Tavio, G, 1996), (Tavío, G, 1998), (Roque, A, 2000), (Tavío, G, 1997).

Es criterio del autor de este trabajo que estos resultados no fueron aplicados en las operaciones, debido a dificultades en el estado técnico de los hornos, que se exigían para la ejecución de estas propuestas, donde era necesario un estado aceptable de sus brazos y dientes, que permitiera un mezclado adecuado entre el mineral y los gases y una evacuación de los mismos entre hogares que impidiera los incrementos de las presiones dentro del horno.



### **1.3. Características del proceso de reducción**

El proceso de reducción tiene como objetivo lograr una selectividad en la reducción del mineral que permita máximas extracciones de níquel y mínima de hierro considerando que la fracción magnética es la más favorable para la lixiviación amoniaca. (CASTELLANOS.J.1999)

Este proceso 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, y por la concentración de agentes reductores.

Los factores que influyen en el proceso de reducción se presentan a continuación según (FUENTES, J, 1999):

1. Composición química y granulometría del mineral alimentado.
2. Temperatura de los gases dentro del horno
3. Concentración de gases dentro del horno.
4. Número de hogares.
5. Estabilidad en la alimentación.
6. Tiempo de retención.
7. Presión dentro del horno

#### **1.3.1. Composición química y granulometría del mineral alimentado.**

La composición química del mineral alimentado influye directamente en los resultados de la reducción. En correspondencia con esta se fijan las temperaturas en el horno y el régimen de calentamiento de mineral, cuando el mineral es serpentinoso, contenido de hierro bajo, el régimen de temperatura debe ser más alto, y 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. Desde el mes de



abril del año 2006 se comenzó a procesar mineral de Pinares de Mayarí de alto contenido de hierro y menor de níquel con característica limoníticas.

El mineral seco y molido enviado por la Planta de Tratamiento de Mineral presentó las siguientes características durante el período de muestreo realizado en este trabajo:

**Tabla 1.1** Características del mineral alimentado durante el muestreo y análisis químico realizado en este trabajo.

Componentes	Contenidos %
Níquel (Ni)	0,96 a 1,16
Cobalto (Co)	0,11-0,158
Hierro (Fe)	40,5 a 48,5
Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	12,3-6,4
Oxido de Magnesio (MgO)	3,0-7,4
Granulometría (Malla menor de 0,074 mm)	> 80

En este proceso, la granulometría influye determinadamente en los buenos resultados de la reducción. Si esta es pequeña, aumentara la superficie activa del mineral, será mayor el contacto entre las fases, aspecto que incide directamente en la conversión de la reacción. La norma es de un 83-85% de fracción, menor que 0,074mm, con lo que se puede lograr extracciones aceptables para este proceso sin que el arrastre de polvo sea incrementado sustancialmente. Desde Octubre del año 2010, los valores del tamaño de las partículas promediaron un valor bajo, alrededor de 80% de la malla menor que 0.074 mm, debido a problemas técnicos en los molinos de bolas situados en la Planta Preparación de Mineral. Según el autor fundamentalmente por falta de bolas en los molinos.



### 1.3.2. Influencia de la temperatura en el proceso de Reducción.

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, también 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, que la pérdida de agua de los silicatos no sea brusca y no se afecte la extracción de Níquel. (CASTELLANOS.J.1999)

El Proyecto Prior propone el perfil térmico para hogares, siguiente:

H-0	370 °C	H-11	730 °C
H-4	750 °C	H-12	750 °C
H-6	660 °C	H-13	770 °C
H-7	670 °C	H-14	760 °C
H-8	685 °C	H-15	750 °C
H-10	720 °C		

De acuerdo con análisis realizado por el autor del presente trabajo, en el horno quince se presentó la situación que al faltarle cámaras de combustión, las temperaturas de los hogares inferiores era muy baja, incumpléndose el perfil propuesto y por tanto se disminuía la cantidad de mineral al horno para incrementar el tiempo de retención dentro del mismo, y que la afectación en la reducción no fuera extrema. (Criterio del autor)



### **1.3.3. Concentración de gases dentro del horno.**

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  $350^{\circ}\text{C}$ , comienza la descomposición del mismo, liberándose monóxido de carbono e hidrogeno, y la atmósfera reductora es enriquecida por el gas producto de la combustión incompleta en los quemadores de petróleo. Ref (Tavio.G ,1996), (Tavío, G, 1997), (Castellanos, J, 1985) (Tavio.G 2009). La concentración de los gases influye directamente en la conversión del níquel, mejorando así la extracción del horno 15. (Criterio del autor)

### **1.3.4. Número de hogares del horno**

Este ha sido un factor de importancia en el desarrollo de los hornos modernos, ya fue comprobado 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 reductor, calentándolas a la temperatura indicada y reduciendo el mineral de níquel. La reducción en la cama del mineral es el aspecto importante (mineral acumulado en cada hogar del horno), lleva el peso de la reducción, ocurre de un 70% de la misma, por petróleo aditivo añadido. En la empresa René Ramos Latour se ha descuidado la reparación adecuada de los hornos y han salido hornos de reparación sin completar todas las bóvedas lo que ha afectado extraordinariamente la productividad y la eficiencia del proceso. (Criterio del autor)

### **1.3.5. Estabilidad en la alimentación.**

La inestabilidad en la alimentación al horno afecta el perfil de temperatura, y 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 disminuir, si ocurre lo contrario las temperaturas aumentan y ambas situaciones no son convenientes para el proceso, ni para una buena estabilidad en la operación, esta situación actualmente está corregida por el tipo de romana utilizada, aunque las tolvas de alimentación del mineral al quedarse vacías alteran la estabilidad de la operación, produciéndose calentamientos que afectan tanto al horno, cámaras y termopares, así como a la reducción del mineral. En el horno quince fue la causa de las bajas extracciones obtenidas en algunos de los juegos de datos rechazados para el cálculo estadístico, de acuerdo con análisis realizado por el autor del presente trabajo.

### **1.3.6. Tiempo de retención del mineral dentro del horno.**

El tiempo de retención de acuerdo con los principios teóricos de la tecnología incide en los resultados de la reducción por el grado de avance de la reacción y su completamiento. El valor del tiempo de retención para una velocidad de rotación del eje central fija, depende del tonelaje que procese el horno, para 22 toneladas por hora es de 70 minutos, en los hornos equipados con Cámaras Prior. El tiempo de retención también se altera cuando faltan brazos y dientes. En estos hornos el tiempo de retención ha disminuido un 50 % aproximadamente, pues el aumento de la cantidad de mineral procesado se incrementó dada la mayor cantidad de gases aportados para la combustión por la Tecnología Prior. (Cámaras y quemadores)

### **1.3.7. Presión de los gases dentro del horno.**

Se necesita mantener una presión positiva para retener los gases reductores dentro del horno, y evitar la entrada de aire, porque produce la reoxidación del mineral. Esta presión debe ser medida en los hogares 0 y 16 y los valores son de 12-15 mm de agua en hogar 0 y de 2-3 mm de agua en el hogar 16. De acuerdo con la experiencia del autor de este trabajo palpamos que para la limpieza de gargantas, trabajos mecánicos urgentes, se necesita disminuir la presión para



poder efectuarla y todo el mineral contenido en el horno se reoxida, fallos de petróleo, de mineral o en los ventiladores de aire también provocan afectaciones.

#### **1.4. Modificaciones más importantes de los Hornos Herreshoff después del cambio de la tecnología a Cámaras Prior en la empresa René Ramos Latour.**

1. Los hornos Herreshoff de Nicaro, operaron hasta el cese de sus operaciones por encima de su capacidad de diseño original, con diferentes tipos de minerales, los hornos operaron establemente durante 6 años hasta 22 Tm.brutas /h, con 7 cámaras de combustión, habiendo probado la posibilidad de hacerlo incrementando el número de cámaras a un máximo de 9 cámaras, hasta 25 Tm.brutas/h, en investigación realizada mediante el Proyecto Optimización de la reducción con el uso de las cámaras Prior (Tavio,G,1996)(Tavio,G,1998).
2. Debido a las aglomeraciones de los llamados panales en las gargantas de las cámaras se sustituyeron en el año 2003, por decisión del Consejo Técnico de la Planta de hornos de reducción (CTP), todos los quemadores SSB-10 por SSB-7, aspecto que limitó la cantidad de mineral al horno, en las 7 cámaras con las que se operaban, realmente lo que ocasionaba esas aglomeraciones era la operación con exceso de aire por los quemadores.(Tavio.G, 2003)
3. Variación del aire a los hogares 4 y 6 consistente en un llamado cohete para aumentar la cantidad de aire y poder incrementar la productividad del horno, por dos años a partir del 2002, eliminándose por ser elevado el volumen de aire suministrado, alterando la presión del horno y contaminando el medio ambiente.(Consejo Técnico de la Planta 2003)
4. En la Planta de Hornos se implementó el uso de petróleo aditivo en todos sus hornos mediante lanzas automatizadas, para esto se realizó el Proyecto de Innovación Tecnológica de Generalización del uso de Lanzas Automatizadas (Tavio.G, 2004), propuesto por los investigadores del CEINNIQ en Abril del 2004, quienes conjuntamente con los especialistas del Grupo Eros de



SERCONI, fueron los encargados de elaborar el diseño y construcción de la Romana Inteligente Eros, capaz de ejecutar el lazo de control previsto para el mejor funcionamiento de la atomización de petróleo aditivo a través de las lanzas automatizadas, inicialmente situada en el Hogar 7 en la Planta Nueva y luego en el 2005 en el Hogar 1 de todos los hornos y posteriormente en el sinfín de alimentación de mineral al horno (M11), en trabajos realizados en el año 2007 (Tavío G, Cano), se evaluó esta modalidad, escogiéndose este último lugar para la adición por una mayor operatividad de las lanzas,

5. Modificaciones aprobadas por el Consejo Técnico de la Planta (CTP) en el acoplamiento del motor al ventilador de post combustión del aire a los hogares 4 y 6, disminuyó la cantidad de aire en esa zona que conllevó a un mayor gasto de combustible, por la falta de correas en la empresa para este acoplamiento.
6. Se decidió por el Consejo Técnico de la Planta (CTP), el incremento del número de cámaras en operación de 7 a 8, para lograr incrementos de la productividad, aplicando las recomendaciones dadas en investigaciones anteriores (Tavío. G. 1998).
7. Se transfirió una cámara de las dos correspondientes al H15 para el hogar 14 por decisión del (CTP), en la mayoría de los hornos de la Planta en el año 2005, no se llegó a completar en todos los hornos, por falta de recursos, como refractarios.

A partir del mes de abril del año 2006, comenzó a alimentarse a la planta el mineral de Pinares de Mayarí solamente, por su contenido de hierro permitiría mejores resultados en las extracciones, pero el mal estado del equipamiento, entre ellos los enfriadores de mineral limitaron estos resultados.

Por orientación de la Dirección de la Unión del Níquel a partir de ese mismo mes y año se cambió el horario de trabajo de 8 a 12 horas, que conllevó una sobrecarga excesiva de trabajo para los operadores, cuestión que afectó la eficiencia de la operación. (Criterio del autor)



### **1.5. Prueba en Planta Piloto con el mineral de Pinares de Mayarí.**

En el año 2009 se realizó una corrida en la Planta Piloto con el Mineral de Pinares de Mayarí, para comprobar las características del procesamiento de este mineral y lograr los mejores resultados, optimizando el control sobre la operación (Tavio,G,2009).

Debido a los buenos resultados obtenidos se estableció a partir de los primeros meses del año 2010 seguir las recomendaciones en la operación dadas por la prueba de la Planta Piloto en la Planta Metalúrgica y comenzar un muestreo sistemático de los enfriadores de la planta. A criterio del autor, esto permitió contar con suficiente información de la operación de los hornos que aportó mucho de los datos tomados para este trabajo en el horno 15.

#### **1.5.1 Recomendaciones para la operación de hornos de reducción.**

De acuerdo con (Tavio.G, 2009), al procesar el mineral de Pinares de Mayarí en la Planta Piloto, se establecieron recomendaciones para la operación en los hornos de reducción de la empresa René Ramos Latour, que se presentan a continuación:

1. La estabilidad operativa es el factor fundamental en la obtención de resultados satisfactorios de extracción de níquel y cobalto, al igual que este mineral se reduce con facilidad, se reoxida también muy fácilmente.
2. Un adecuado estado técnico del horno, las cámaras, bóvedas, con sus respectivos brazos y sus dientes, también todos los equipos auxiliares como: transportador sinfín, enfriador, sellos, sistemas de combustión, es esencial para obtener una mejor reducción del mineral.
3. Mantener siempre temperaturas en el Hogar 15 igual o superiores a 750°C, para cualquier tonelaje procesado.
4. Mantener el perfil de temperaturas siguiente y los valores del petróleo aditivo.  
A criterio del autor de este trabajo, todas estas recomendaciones eran correctas, pero se incumplían por parte del personal técnico y de operaciones.



**Tabla 1.2.** Parámetros de operación recomendados derivados del procesamiento del mineral de Pinares en el horno de la Planta Piloto. (Tavío.G.2009)

Temperaturas de los hogares °C	Tonelaje inferior a 21 t/h	Tonelaje superior a 21 t/h
Hogar 7 (H7)	590-600	620-630
Hogar 9 (H9)	640-650	650-660
Hogar 11 (H11)	660-670	670-680
Hogar 13 (H13)	700-710	730-740
Hogar 15 (H15)	750-755	760-765
% de petróleo aditivo	2.2-2.5	2.5-3.0

Se comenzó a aplicar este perfil en la planta y se decidió un plan de muestreo de varios enfriadores de la Planta Metalúrgica para determinar el níquel y cobalto extractable por línea, considerando todos los parámetros de operación en el horno, perfiles de temperatura, perfil gaseoso, número de cámaras trabajando, tonelaje procesado, presiones en los Hogares 0 y 16, además de su comparación con los resultados de extracciones obtenidos en la planta, total que representaba un 10 % inferior al Extractable Teórico para este tipo de mineral, según sus características que también fueron tomadas y reportadas. El trabajo que se expone es referente al horno 15 de la planta de hornos de reducción de la empresa René Ramos Latour.

### **1.6. Selección del horno 15 para el estudio. Características técnicas del mismo**

Se escogió precisamente el Horno 15, que poseía solo 5 cámaras en operación y al que se recuperarían cámaras en los próximos meses y así demostrar la influencia del número de cámaras en operación sobre las productividades y extracciones de níquel y cobalto. Este horno también poseía un enfriador en



buenas condiciones que garantizaría la efectividad del estudio, le faltaban los termopares a las cámaras, tenía más del 65 % de las mirillas tupidas, sin estas no es posible el control visual de la combustión, los platos de los quemadores con mucho deterioro, así como las entradas de aire parasito por perforaciones en las camisas de las cámaras.

En la presente investigación se estudió un horno antes y después de recuperársele cámaras y la influencia de esta acción sobre la reducción de níquel y cobalto y la productividad.



## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Métodos y materiales**

Este capítulo tiene como objetivo exponer los materiales utilizados y los métodos que garantizaron la evaluación adecuada de los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo.

#### **2.1.1 Muestreo del mineral alimentado al horno 15**

Mediante el muestreador continuo de tornillo sinfín que posee cada horno, al lateral del sinfín rotatorio (M11), que transporta el mineral de la romana hacia el interior de cada horno y se descarga en un recipiente (Muestra R10), en cada turno se agita manualmente el mineral que ha caído en el recipiente, se toma la muestra para la identificación del mineral de alimentación, la cual es llevada al laboratorio Central de la empresa. Este procedimiento se efectúa por la UEBT-PM-14, que establece el método de muestreo del mineral que se alimenta a los hornos de reducción, con el objetivo de determinar su composición química, la cantidad de muestra es de 10-12 kg por cada turno de 12 horas. Es debidamente cuarteada y se toma la muestra independiente en cada horno, hasta llegar a obtener 250 gramos de muestra para el análisis completo incluida la humedad y granulometría.

Los análisis realizados después de secada la muestra fueron para: Níquel, Cobalto, Hierro, Oxido de Silicio y Oxido de Magnesio.



### **2.1.2 Muestreo del mineral reducido en el enfriador 8 y realización de la lixiviación para la determinación de las extracciones de níquel y cobalto**

La muestra tomada de 0.5 a 1.0 kg de mineral reducido en la descarga del enfriador 8 mediante un sinfín, cae directamente en un kitasato (Recipiente metálico de níquel con tubo lateral para suministro de gases), que contiene solución amoniaca para evitar la reoxidación del mineral. La frecuencia de muestreo es de 2 horas conformándose una muestra compósito, es la muestra obtenida producto de combinar en forma proporcional la cantidad de material, que representa por cada turno de 12 horas. La muestra compósito del mineral muestreado se lixivia con el Procedimiento QT, en el laboratorio central de la empresa René Ramos Latour para la determinación de las extracciones de níquel, cobalto y otros metales. La muestra fue tomada por el procedimiento UEBT-C-PM-13, pulpa de mineral reducido, es establecer el método de muestreo del mineral a la descarga de cada enfriador, para conocer el extractable de cada uno de ellos.

#### **Descripción del Procedimiento QT. (Prueba de Lixiviación estándar .Norma UEBT-LC-MPQ-6)**

La lixiviación del mineral reducido por el procedimiento QT, se realiza de acuerdo con la Norma UEBT-LC-MPQ-6, en ella se describe lo siguiente:

Se toma un recipiente kitasato con capacidad de 1000 ml, con 500 ml de licor débil amoniaca, para la toma de muestra en la descarga del enfriador, añadiendo el mineral correspondiente a varias vueltas del sinfín, cada dos horas hasta completar el compósito del turno, y se vierte en un recipiente de 10 litros Este contenido se le ajusta la densidad para lograr la lixiviación deseada, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:





Relación líquido/sólido: 14/1

Tiempo de retención: 2 horas 45 minutos

Aire: 0.64 m<sup>3</sup>/gramos de mineral

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

Concentración de CO<sub>2</sub> de 60-70 g/l.

Luego del ajuste de la densidad, se monta el recipiente en un turbo para agitar con el suministro de aire, el que se controla con un rotámetro, esta operación se ejecuta por un periodo de dos horas y cuarenta y cinco minutos.

El aire se introdujo mediante un burbujeado lateral que posee el turbo, y que consiste en un tramo de tubo que descarga en el fondo de este, la cantidad de aire fue medida mediante un rotámetro colocado en la línea de flujo de aire.

Pasado el tiempo de retención fijado, mediante un sifón acoplado a un Erlenmeyer, se extrajo 300 ml de pulpa, se filtró, se lavó la torta con agua amoniacal de 30 g/l, dos o tres veces, asegurándose que quedara bien lavado, extraer todo el licor residual que fue arrastrado por la pulpa. Cuando el licor quedó completamente claro, se añadió otra cantidad pequeña como medio de seguridad de la pureza de la torta.

Terminado el filtrado se extrajo la torta del embudo, se colocó en un vidrio reloj y se puso a secar en la estufa. Una vez secada la torta se trituro en un mortero de porcelana, se depositó en un sobre, se identificó con el número de orden correspondiente y se envió al laboratorio analítico para su posterior análisis.

### 2.1.3 Métodos de análisis

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio Central de la empresa René Ramos Latour, de acuerdo con los métodos que se presentan en la Tabla 2.1

**Tabla2. 1** Métodos para los análisis químicos realizados

Elementos analizados	Método aplicado para la realización de los análisis
Ni, Co, Fe	Método Espectrofotometría de Absorción Atómica
SiO <sub>2</sub>	Método Gravimétrico.
MgO	Método Volumétrico.



### **2.1.3.1 Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.**

Se desarrolló para el análisis elemental de metales para su determinación cuantitativa. La muestra tomada en forma de un aerosol, se introdujo en la llama, donde reacciones químicas y térmicas crean átomos libres capaces de absorber una longitud de onda característica. La mayor parte de los átomos libres se encuentran en el estado base, los cuales son excitados por una fuente de luz que emite una línea espectral estrecha de la energía característica. La disminución de la energía (absorción) es entonces medida. Esta absorción es directamente proporcional a la concentración de los átomos libres en la llama según la ley de Lambert-Beer.

El instrumento se calibra en estándar y la concentración de la muestra se interpola de estos, la energía de la fuente de luz se modula y los dispositivos electrónicos del equipo se sincronizan solamente para la señal de esta fuente. Como fuente de radiación para excitar los átomos libres en la llama se utiliza una lámpara de cátodo hueco la cual produce una línea espectral estrecha característica del material del cátodo. Para lograr convertir la muestra líquida en vapor se utiliza un atomizador, el cual consta de tres partes principales: un nebulizador, una cámara de nebulización y un quemador. El sistema completo convierte el líquido en un aerosol y trasfiere la muestra al quemador donde ocurre la formación de átomos.

### **2.1.3.2 Método Gravimétrico.**

Consiste en separar y pesar, en el estado de mayor pureza después de un tratamiento adecuado, un elemento o compuesto de composición conocida, que se encuentre en una relación estequiometría definida con la sustancia que se determina.

Consiste en las determinaciones granulométricas, la transformación del elemento que se determina en una sustancia pura y estable para poderla pesar, el peso del elemento se calcula fácilmente si se conoce su fórmula y el de la sustancia que se pesa.



Los métodos gravimétricos se clasifican de la siguiente forma:

1. Método por precipitación.
2. Método por volatilización o desprendimiento gravimétricos del electroanálisis.
3. Y otros métodos físicos de separación.

### **2.1.3.3 Método Volumétrico.**

Consiste esencialmente en determinar el volumen de una solución de concentración conocida (solución valorada) que se requiere para la reacción cuantitativa, con un volumen dado de solución de la sustancia en análisis. La solución de concentración conocida en equivalentes gramo por litro se denomina solución valorada.

El proceso de medir el volumen de solución, que es necesario para efectuar la reacción se llama valoración. El punto en el cual alguna indicación manifiesta señala que la reacción se ha verificado completamente se denomina punto final de la valoración. El punto final debe coincidir lo más exactamente posible con el punto en el cual han reaccionado cantidades equivalentes del reactivo y de la sustancia que se valora. Este se denomina punto de equivalencia o punto estequiométrico.

La cantidad de la sustancia que se determina se calcula conociendo el volumen de la solución valorada empleada y aplicando las leyes de la equivalencia química.

Se clasifican de acuerdo a las reacciones que ocurren:

1. Reacciones por neutralización (existen dos tipos, acidimetría, alcalimetría).
2. Reacciones por precipitación y formación de complejos.
3. Reacciones de oxidación y reducción. (Redox)

## **2.2 Desarrollo del trabajo**

Se tomaron muestras por turno durante 2 etapas de trabajo, una antes de la recuperación cuando el horno contaba con 5 cámaras en operaciones y otra etapa después de la recuperación de las cámaras del horno. La primera etapa se desarrolló



en un período de muestreo y la segunda etapa, se desarrolló en tres periodos, con diferentes condiciones de operación.

La Tabla 2.2 muestra las etapas con sus correspondientes períodos de muestreo.

**Tabla 2.2** Etapas de trabajo

Etapas	Período de muestreo	Fecha	Características de la etapa
1	1	2-17 mayo 2011	Antes de la recuperación de cámaras
2	1	29 julio-11 agosto de 2011	Después de la recuperación de cámaras
	2	27 dic 2011-22 de enero 2012	Cinco meses después de la recuperación de cámaras. Inestabilidad operativa, Fallos de presión en el horno y de mineral en el horno
	3	29 marzo-16 abril del 2012	Ocho meses después de la recuperación de cámaras. Se incrementa el tonelaje a procesar.

Durante las dos etapas se tomaron muestras del mineral alimentado a la entrada del horno, de mineral reducido a la salida de su enfriador N° 8, así como todas las variables de operación que rigen el proceso de reducción. Se hicieron revisiones del comportamiento de la operación en cada una de las cámaras y se tomaron las incidencias fundamentales ocurridas en el desarrollo del trabajo.

Para los experimentos se realizó, la toma de muestras por turno del mineral reducido a la salida del enfriador 8, correspondiente al Horno 15, en las dos etapas señaladas en la Tabla 2.2, la recopilación de la información suministrada por el Sistema de Supervisión de procesos EROS, que posee la planta, las observaciones de todas las incidencias de la operación de dicho horno y del estado técnico y operacional del mismo. Además se tomaron las muestras del mineral alimentado mediante la muestra R10, donde se analizaron los contenidos de Níquel, Cobalto, Hierro, Oxido de silicio y Magnesio y después de la lixiviación a escala de laboratorio se analiza el contenido de la cola resultante en Níquel, Cobalto y Hierro para el cálculo de las extracciones de níquel.



Los parámetros de operación tomados del sistema EROS, se presentan en la Tabla 2.3

**Tabla 2.3.** Parámetros de operación tomados del sistema de Supervisión de procesos Eros

IDENTIFICACIÓN	PARÁMETROS
TEJE	Temperatura del eje central
TDESC	Temperatura de descarga del enfriador
P H0	Presión en el Hogar 0 en mm de agua
PH16	Presión en el Hogar 16 en mm de agua
%PET ADIT	Por ciento de petróleo aditivo suministrado al horno
TH0	Temperatura del Hogar 0
TH4	Temperatura del Hogar 4
TH6	Temperatura del Hogar 6
TH9	Temperatura del Hogar 9
TH11	Temperatura del Hogar 11
TH13	Temperatura del Hogar 13
TH15	Temperatura del Hogar 15
T/H	Tonelaje al horno (Toneladas por romana por hora)

### 2.2.1 Fundamentos y herramientas para el procesamiento de los resultados

Para la evaluación de los resultados, una variable muy usada y comprobada estadísticamente que sirve para determinar la calidad de la reducción dependiendo de la característica del mineral, es el Número de mineral (N<sub>a</sub>), que relaciona los contenidos de níquel e hierro con los óxidos de silicio y magnesio del mineral de alimentación (Muestra R10).



$$Na = (Ni * Fe) / (SiO_2 * MgO) \quad (12).$$

Donde:

Na: Número de mineral

Ni: Níquel, expresado en por ciento,

Fe: Hierro, expresado en por ciento

SiO<sub>2</sub>: Dióxido de silicio expresado en por ciento

MgO: Oxido de magnesio, expresado en por ciento

Con este Número de mineral, que es adimensional, puede predecirse el valor del llamado Extractable teórico mediante la ecuación 14, la cual fue determinada estadísticamente con resultados de más de 25 años de operaciones de los hornos de reducción de la Empresa René Ramos Latour:

$$\% \text{ Extractable Teórico de Níquel} = e^{(4,423344 + 0,05124 * \ln(Na))} \quad (13).$$

Donde;

Na: Número de mineral

**e**: Exponencial

4,423344 y 0.05124: Constantes de la ecuación

ln (Logaritmo neperiano)

La diferencia entre el extractable teórico y el real obtenido en el proceso de reducción da un índice de cuan eficiente se ha realizado este proceso.

### 2.2.2 Cálculo de las extracciones

El cálculo del Extractable de níquel real se realiza como sigue:

$$\%Ni \text{ Ext} = (1 - (Ni_{\text{cola}} * Fe_{R10}) / (Ni_{R10} * Fe_{\text{cola}})) * 100 \quad (14)$$

Donde:



$Ni_{R10}$  y  $Fe_{R10}$  : son los valores de porcentaje de níquel y de porcentaje hierro de la alimentación tomadas de la muestra R10.

$Ni_{cola}$  y  $Fe_{cola}$ : son los valores de porcentaje de níquel y de porcentaje de hierro contenidos en la cola luego de la lixiviación de laboratorio del mineral reducido tomado en la descarga del enfriador 8.

Para el cálculo de las extracciones de cobalto se sustituye  $Ni_{cola}$  por  $Co_{cola}$  y  $Ni_{R10}$  por  $Co_{R10}$ .

### **2.2.3. Cálculo de las toneladas secas netas de mineral alimentado.**

El cálculo de las toneladas netas secas por hora se obtiene como se presenta

$Ton\ netas\ secas/h = Tmbrutas/h * ((100-\%Humedad\ del\ mineral)/100) * (Eficiencia\ del\ ciclón/100)$ .

Donde:

$Tmbrutas/h =$  Mineral pesado por la romana en toneladas métricas brutas por hora (Tonelaje por hora)

Humedad del mineral: Humedad del mineral que se pesa. Se toma 4 por ciento

Eficiencia del ciclón: 95%

La cantidad de níquel que aportaría el Horno 15 al sistema de Lixiviación sería el siguiente:

Cantidad de níquel por hora =  $\%Ni * \%Ext\ Ni * Tnetas\ secas/h / 10000$



### **3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **3.1 Análisis de los resultados por Etapas**

El trabajo se basó fundamentalmente en el análisis de la operación del horno quince, dividiendo el trabajo en dos etapas: Primera Etapa antes de entrar en la recuperación de cámaras con muestreo de mineral alimentado y reducido, entre 2 y 17 de mayo del 2011 y la Segunda Etapa, después de salir de la recuperación de cámaras.

El día 17 de julio del 2011, terminó para el horno quince la recuperación de cámaras, se restablecieron 10 cámaras de combustión en operación, a partir del día 18 de ese mes después de resolver un problema mecánico en el sinfín de la descarga del enfriador 8, operó sin afectaciones y el día 29 de julio, después de quedar definitivamente con ocho cámaras, se establece el muestreo del mineral de descarga del enfriador para obtener el extractable de níquel y cobalto hasta el 9 de agosto en un primer período, el segundo período se desarrolló en los meses de diciembre del 2011 y enero del 2012, y el tercer período entre el 7 y 23 de abril del 2012, obteniéndose un total de 67 juegos de datos, tomando 59 de estos para el análisis, desechando para el cálculo estadístico un total de 8 juegos de datos por ser anormales. En esos meses del año 2012, se presentaron afectaciones con la falta de mineral originando tolvas vacías e inestabilidad en la Planta de Lixiviación y fallos eléctricos que limitaban el tonelaje a procesar.





### **3.1.1 Primera Etapa. Antes de la recuperación de cámaras. Periodo entre (2 al 17 de mayo del 2011)**

El horno solo poseía 5 cámaras de combustión como ya se expresó, se presentan los resultados de los parámetros de operación tomados por el Sistema Supervisor de Procesos *EROS* promedio por turno.

Los turnos se identifican como sigue: la primera letra es el turno (A, B, C y D) y la segunda letra después del guión es de día (D) y de noche (N).

También aparecen los resultados de las extracciones de níquel y cobalto por turno con los valores, tanto de la composición del mineral alimentado como del mineral reducido y lixiviado (cola), para el cálculo de los extractables de níquel y cobalto, se presentan los cálculos del Número de mineral (Na), extractable teórico para la determinación de las diferencias entre el extractable teórico y real y evaluar cuanto se alejan estos valores entre si, debido a las condiciones de operación, como se indican en el capítulo 2.

En las tablas se presentan los valores recopilados, tanto de los parámetros de operación, como de las características del mineral alimentado reducido y lixiviado con el correspondiente cálculo de las extracciones de níquel y cobalto por turno y al final de las mismas el procesamiento estadístico con el cálculo del promedio, máximo, mínimo, desviación típica, y el número de datos que se tomó para ese cálculo.

En la Tabla 3.1 y 3.2 se presentan los resultados correspondientes a la primera etapa del trabajo antes de la recuperación de las cámaras de combustión



**Tabla 3.1.** Condiciones de operación 1ra Etapa (2-17 de mayo del 2011)

Fecha	Turno	TEJE	TDESC	PH0	PH16	%PET ADIT	TH0	TH4	TH6	TH9	TH11	TH13	TH15	T/H
2-may	C-D	68,5	103,9	3,5	1,60	1,90	335	660	678	728	726	577	547	13,9
	D-N	69,9	112,9	3,4	1,60	1,90	344	672	673	721	695	565	541	14,0
3-may	B-D	69,9	116,3	3,6	1,60	2,00	346	641	679	696	686	555	538	14,0
4-may	C-N	69,6	111,3	15,2	1,60	1,90	332	636	681	699	727	564	564	12,6
5-may	A-D	67,6	99,8	17,4	1,50	1,80	287	619	688	727	743	570	558	12,3
	B-N	74,9	102,3	17,2	1,60	1,90	290	585	688	737	739	580	568	14,1
6-may	A-D	74,7	86,2	18,3	1,60	1,90	301	595	686	667	715	575	563	11,1
	B-N	75,2	87,2	15,8	1,50	1,70	306	669	777	691	706	588	566	9,2
7-may	D-D	67,1	82,5	15,1	1,60	2,00	313	706	778	681	721	608	580	10,9
	A-N	70,8	87,9	15,6	1,60	2,00	310	684	760	659	684	586	571	10,2
8-may	D-D	64,9	73,9	15,5	1,60	1,90	312	726	784	658	705	592	566	10,0
	A-N	70,6	78,8	15,6	1,60	2,00	325	724	791	664	704	606	581	10,2
9-may	C-D	66,9	76,1	15,9	1,60	2,00	343	687	764	662	700	590	571	10,0
	D-N	73,0	86,7	16,5	1,60	2,00	325	701	780	663	696	587	571	11,5
10-may	C-D	63,0	86,8	16,9	1,60	1,90	371	755	784	676	714	580	565	10,3
	D-N	72,6	87,7	15,5	1,60	2,00	391	746	795	659	717	594	574	10,0
11-may	B-D	<b>62,9</b>	<b>72,7</b>	<b>12,3</b>	<b>-1,40</b>	<b>1,60</b>	<b>429</b>	<b>707</b>	<b>813</b>	<b>702</b>	<b>729</b>	<b>598</b>	<b>584</b>	<b>8,0</b>
	C-N	63,1	81,9	14,6	1,60	2,00	369	627	772	682	715	586	572	10,0
12-may	B-D	66,4	78,6	15,3	1,40	1,50	386	635	794	736	742	603	577	7,5
	C-N	68,7	94,3	14,2	1,60	2,00	382	654	795	680	726	599	582	10,0
13-may	A-D	<b>66,3</b>	<b>86,5</b>	<b>11,9</b>	<b>-1,10</b>	<b>1,90</b>	<b>408</b>	<b>669</b>	<b>797</b>	<b>690</b>	<b>729</b>	<b>607</b>	<b>609</b>	<b>10,1</b>
	B-N	59,0	110,7	14,9	1,60	2,00	408	603	753	698	744	601	593	12,5
14-may	A-D	<b>65,4</b>	<b>95,6</b>	<b>16,6</b>	<b>1,60</b>	<b>2,00</b>	<b>392</b>	<b>617</b>	<b>751</b>	<b>706</b>	<b>761</b>	<b>603</b>	<b>586</b>	<b>11,5</b>
	B-N	66,2	106,4	13,7	1,60	1,90	380	633	759	706	758	601	584	10,5
15-may	D-D	61,3	100,5	10,5	1,60	2,00	380	703	727	683	740	590	576	11,6
	A-N	65,6	98,2	9,2	1,60	1,90	406	635	721	704	758	589	573	11,9
16-may	D-D	66,2	93,9	13,5	1,90	1,90	420	631	748	690	752	578	569	12,4
	A-N	68,2	95,1	14,9	2,00	2,00	397	656	764	676	731	565	554	12,5
17-may	C-D	67,1	90,8	14,9	2,00	2,00	402	633	789	673	723	563	553	12,0
	D-N	70,7	89,9	15,2	2,00	2,00	409	660	791	681	717	559	549	12,0
<b>Promedio</b>		<b>68</b>	<b>93</b>	<b>13,8</b>	<b>1,45</b>	<b>1,92</b>	<b>360</b>	<b>662</b>	<b>752</b>	<b>690</b>	<b>723</b>	<b>585</b>	<b>570</b>	<b>11,2</b>
<b>Maximo</b>		<b>75</b>	<b>116</b>	<b>18,3</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>429</b>	<b>755</b>	<b>813</b>	<b>737</b>	<b>761</b>	<b>608</b>	<b>609</b>	<b>14,1</b>
<b>Minimo</b>		<b>59</b>	<b>73</b>	<b>3,4</b>	<b>-1,40</b>	<b>1,50</b>	<b>287</b>	<b>585</b>	<b>673</b>	<b>658</b>	<b>684</b>	<b>555</b>	<b>538</b>	<b>7,50</b>
<b>Desviación</b>		<b>4</b>	<b>12</b>	<b>4,0</b>	<b>0,75</b>	<b>0,12</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>1,67</b>
<b>Contar</b>		<b>30</b>												
<b>Promedio</b>		<b>68</b>	<b>93</b>	<b>13,8</b>	<b>1,64</b>	<b>1,93</b>	<b>354</b>	<b>662</b>	<b>748</b>	<b>689</b>	<b>722</b>	<b>583</b>	<b>567</b>	<b>11,4</b>
<b>Maximo</b>		<b>75</b>	<b>116</b>	<b>18,3</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>420</b>	<b>755</b>	<b>795</b>	<b>737</b>	<b>758</b>	<b>608</b>	<b>593</b>	<b>14,1</b>
<b>Minimo</b>		<b>59</b>	<b>74</b>	<b>3,4</b>	<b>1,40</b>	<b>1,50</b>	<b>287</b>	<b>585</b>	<b>673</b>	<b>658</b>	<b>684</b>	<b>555</b>	<b>538</b>	<b>7,5</b>
<b>Desviación</b>		<b>4</b>	<b>12</b>	<b>4,1</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	<b>41</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>1,6</b>
<b>Contar</b>		<b>27</b>												



Se presentan en el procesamiento estadístico dos resultados, uno en negrita y cursiva y el otro solo en negrita, el primero es el cálculo estadístico con todos los datos y el segundo es el cálculo exceptuando los valores marcados en la tabla en negritas que se consideran anormales. Con los resultados que aparecen en negrita, que son los datos aceptados se realizara el análisis del trabajo.

En la Tabla 3.1, se presentan valores bajos del tonelaje que oscilaron entre 7,5 y 14,1 toneladas por hora para un promedio de 11,4 toneladas por hora para los 27 juegos de datos analizados, ello fue debido al número de cámaras tan bajo que poseía el horno, además de las temperaturas tanto del hogar 13 como del Hogar 15 extremadamente bajas, que promediaron 583°C y 567°C, respectivamente inferiores a los valores establecidos en el perfil de temperaturas de esos hogares de 700°C y 750°C.

En la Tabla 3.2 aparecen los valores de la composición química del mineral alimentado y los del mineral reducido y lixiviado en porciento, que permiten el cálculo de los extractables de níquel y cobalto y del extractable teórico con el valor del Número de Mineral (Na), además de la diferencia entre ambos. Todos estos datos fueron recopilados por turno y se presentan a continuación:



**Tabla 3. 2.** Condiciones de operación para la primera etapa. Análisis químicos y cálculo de extractables. Del dos al diecisiete Mayo 2011.

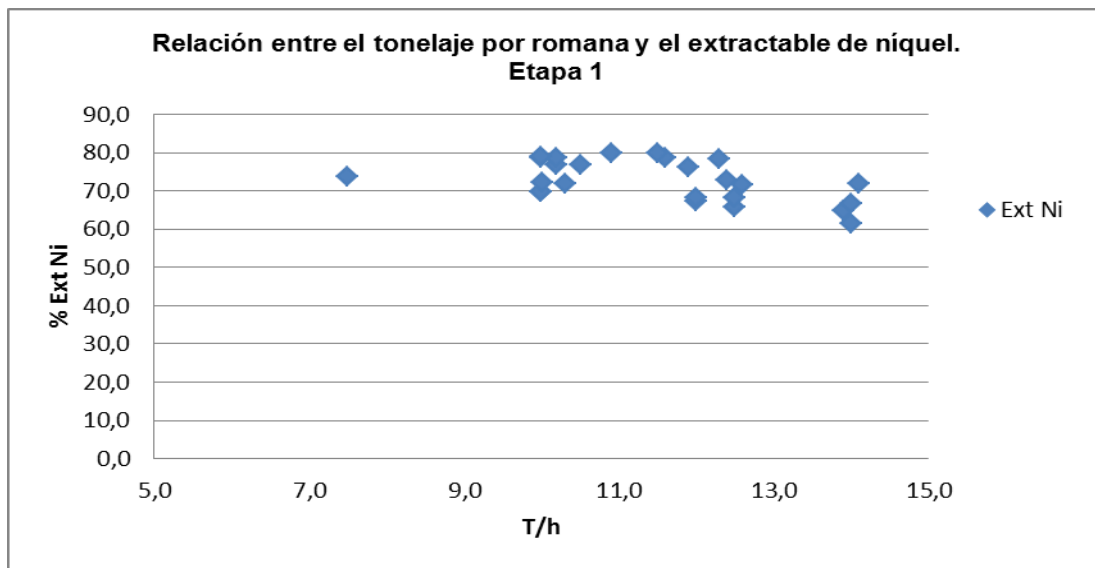
Fecha	Turno	Mineral alimentado						Cola			Extractables		Ext T.	Dif
		Ni	Co	Fe	SiO2	MgO	Na	Ni	Co	Fe	Ext Ni F15	Ext Co F15	EXTNi Teo	T-Real
2-may	C-D	1,07	0,144	44,6	9,6	6,0	0,83	0,436	0,108	51,8	64,9	35,4	82,6	17,7
	D-N	1,04	0,144	43,0	9,6	6,0	0,78	0,463	0,100	49,6	61,4	39,8	82,3	20,9
3-may	B-D	1,06	0,136	42,3	8,9	5,1	0,99	0,420	0,071	50,6	66,9	56,4	83,3	16,4
4-may	C-N	1,10	0,152	45,3	8,6	4,9	1,18	0,364	0,084	52,8	71,6	52,6	84,1	12,5
5-may	A-D	1,11	0,141	43,2	9,0	5,0	1,07	0,277	0,078	49,7	78,3	51,9	83,6	5,3
	B-N	1,09	0,142	44,3	9,0	5,0	1,07	0,381	0,117	55,2	71,9	33,9	83,7	11,7
6-may	A-D	1,10	0,149	44,4	8,2	4,7	1,27	0,482	0,102	50,0	61,1	39,2	84,4	23,3
	B-N	1,09	0,153	46,4	8,2	4,7	1,31	0,484	0,094	54,0	61,8	47,2	84,5	22,7
7-may	D-D	1,11	0,153	44,2	8,4	4,8	1,22	0,275	0,084	54,7	80,0	55,6	84,2	4,2
	A-N	1,07	0,147	45,2	8,4	4,8	1,20	0,265	0,099	52,6	78,7	42,1	84,2	5,4
8-may	D-D	1,12	0,156	45,0	8,0	5,0	1,26	0,273	0,059	51,3	78,6	66,8	84,4	5,7
	A-N	1,15	0,158	44,9	8,0	5,0	1,29	0,299	0,073	50,6	76,9	59,0	84,5	7,5
9-may	C-D	1,08	0,136	43,7	8,5	5,0	1,11	0,268	0,082	51,9	79,1	49,2	83,8	4,7
	D-N	1,07	0,158	40,5	8,6	5,0	1,01	0,271	0,103	50,8	79,8	48,0	83,4	3,6
10-may	C-D	1,08	0,15	45,3	9,5	5,4	0,95	0,340	0,082	50,8	71,9	51,3	83,2	11,2
	D-N	1,07	0,148	45,9	9,5	5,4	0,96	0,344	0,073	49,0	69,9	53,8	83,2	13,3
11-may	<b>B-D</b>	<b>1,09</b>	<b>0,149</b>	<b>44,2</b>	<b>10,1</b>	<b>6,1</b>	<b>0,78</b>	<b>0,440</b>	<b>0,072</b>	<b>49,8</b>	<b>64,2</b>	<b>57,1</b>	<b>82,3</b>	<b>18,2</b>
	C-N	1,09	0,138	44,9	10,1	6,1	0,79	0,358	0,074	48,8	69,8	50,7	82,4	12,6
12-may	B-D	1,10	0,144	44,9	10,4	6,4	0,74	0,318	0,083	49,6	73,8	47,8	82,1	8,3
	C-N	1,07	0,149	45,2	10,4	6,4	0,73	0,326	0,076	49,6	72,2	53,5	82,0	9,8
13-may	<b>A-D</b>	<b>1,07</b>	<b>0,149</b>	<b>46,5</b>	<b>9,9</b>	<b>6,2</b>	<b>0,81</b>	<b>0,355</b>	<b>0,073</b>	<b>49,1</b>	<b>68,6</b>	<b>53,6</b>	<b>82,5</b>	<b>13,9</b>
	B-N	1,02	0,110	41,4	9,9	6,2	0,69	0,414	0,090	52,8	68,2	35,8	81,8	13,6
14-may	<b>A-D</b>	<b>1,01</b>	<b>0,111</b>	<b>40,0</b>	<b>12,3</b>	<b>7,4</b>	<b>0,44</b>	<b>0,538</b>	<b>0,084</b>	<b>47,8</b>	<b>55,4</b>	<b>36,7</b>	<b>80,0</b>	<b>24,6</b>
	B-N	1,08	0,121	41,4	12,3	7,4	0,49	0,290	0,083	47,8	76,7	40,6	80,4	3,6
15-may	D-D	1,08	0,151	44,6	11,2	7,3	0,59	0,245	0,069	47,6	78,7	57,2	81,1	2,4
	A-N	1,09	0,143	44,0	11,2	7,3	0,59	0,290	0,071	49,6	76,4	56,0	81,1	4,7
16-may	D-D	1,11	0,118	42,7	10,9	7,1	0,61	0,344	0,066	49,0	73,0	51,3	81,3	8,3
	A-N	1,07	0,117	41,0	10,9	7,1	0,57	0,437	0,080	48,8	65,7	42,6	81,0	15,3
17-may	C-D	1,08	0,112	42,3	11,2	7,4	0,55	0,385	0,076	47,6	68,3	39,7	80,9	12,5
	D-N	1,05	0,112	40,9	11,2	7,4	0,52	0,402	0,077	47,8	67,2	41,2	80,6	13,4
<b>Prom</b>		<b>1,08</b>	<b>0,140</b>	<b>43,7</b>	<b>9,7</b>	<b>5,9</b>	<b>0,88</b>	<b>0,359</b>	<b>0,083</b>	<b>50,4</b>	<b>71,0</b>	<b>48,2</b>	<b>82,6</b>	<b>11,6</b>
<b>Max</b>		<b>1,15</b>	<b>0,158</b>	<b>46,5</b>	<b>12,3</b>	<b>7,4</b>	<b>1,31</b>	<b>0,538</b>	<b>0,117</b>	<b>55,2</b>	<b>80,0</b>	<b>66,8</b>	<b>84,5</b>	<b>24,6</b>
<b>Min</b>		<b>1,01</b>	<b>0,110</b>	<b>40,0</b>	<b>8,0</b>	<b>4,7</b>	<b>0,44</b>	<b>0,245</b>	<b>0,059</b>	<b>47,6</b>	<b>55,4</b>	<b>33,9</b>	<b>80,0</b>	<b>2,4</b>
<b>Desv</b>		<b>0,03</b>	<b>0,015</b>	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,0</b>	<b>0,27</b>	<b>0,078</b>	<b>0,013</b>	<b>2,1</b>	<b>6,6</b>	<b>8,3</b>	<b>1,4</b>	<b>6,3</b>
<b>Contar</b>		<b>30</b>												
<b>Prom</b>		<b>1,08</b>	<b>0,140</b>	<b>43,8</b>	<b>9,6</b>	<b>5,8</b>	<b>0,90</b>	<b>0,350</b>	<b>0,083</b>	<b>50,5</b>	<b>72,0</b>	<b>48,1</b>	<b>82,7</b>	<b>10,8</b>
<b>Max</b>		<b>1,15</b>	<b>0,158</b>	<b>46,4</b>	<b>12,3</b>	<b>7,4</b>	<b>1,31</b>	<b>0,484</b>	<b>0,117</b>	<b>55,2</b>	<b>80,0</b>	<b>66,8</b>	<b>84,5</b>	<b>23,3</b>
<b>Min</b>		<b>1,02</b>	<b>0,110</b>	<b>40,5</b>	<b>8,0</b>	<b>4,7</b>	<b>0,49</b>	<b>0,245</b>	<b>0,059</b>	<b>47,6</b>	<b>61,1</b>	<b>33,9</b>	<b>80,4</b>	<b>2,4</b>
<b>Desv</b>		<b>0,03</b>	<b>0,015</b>	<b>1,7</b>	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>	<b>0,27</b>	<b>0,073</b>	<b>0,014</b>	<b>2,1</b>	<b>6,0</b>	<b>8,2</b>	<b>1,4</b>	<b>6,0</b>
<b>Contar</b>		<b>27</b>												



En la Tabla 3.2, se presentan los valores de composición química del mineral alimentado que promedió 1,08 porciento de níquel, 0,140 porciento de cobalto y 43,8 porciento de hierro para un Número de mineral de 0,90 con el que se calculó el extractable teórico. Estos valores de composición química del mineral, es la correspondiente a un mineral típicamente limonítico, de buenas condiciones para la reducción para el proceso de reducción de la empresa René Ramos Latour.

Aparecen además los extractables de níquel y cobalto obteniéndose un promedio de 72,0 porciento para el níquel y 48,1 porciento para el cobalto, con un extractable teórico de 82,7 porciento lo que proporciona una diferencia entre el valor teórico y real promedio de 10,8 porciento.

El tonelaje que permitía extractables de níquel superior a 70 porciento era en su mayoría menores de 10,9 t/h o sea 2,1 t/h, por cámara en operación y a medida que se incrementaba el tonelaje disminuían las extracciones de níquel, según se presenta en el gráfico 3.1



**Figura. 3.1.** Relación entre el tonelaje por romana por hora y el extractable de níquel



### **3.1.2 Segunda etapa. Después de la recuperación de cámaras. (8 cámaras en operaciones).**

El Horno 15 entró en operación el día 17 de julio del 2011, con 10 Cámaras encendidas, el día 18/7/11 a las 4:47 AM, se saca de operación por problema mecánico en el sinfín de la descarga del enfriador 8, correspondiente a este horno, restableciéndose la operación a las 10:30 PM, del mismo día, el día 17/7/2011 se apagaron 2 cámaras, la H6S y H8N por problema mecánico, operando todo el tiempo con 8 cámaras, ya que cumplía con el perfil de temperaturas propuesto. Desde el día 18/7/11, este horno operó sin afectaciones.

Esta segunda etapa la comprenden tres períodos de trabajo, cada uno con sus características específicas.

#### **3.1.2.1 Segunda etapa. Período 1. Desde el 29 de julio del 2011- 11 de agosto del 2011.**

La toma de muestras y la recopilación de la información del sistema de Supervisión Eros, comienza el día 29 de julio del 2011 y en las Tablas 3.3 y 3.4 se presentan los valores de las condiciones de operación y la composición del mineral alimentado, reducido y lixiviado, así como los cálculos de los extractables de níquel y cobalto, y el extractable teórico y sus diferencias. La característica de este período consistió fundamentalmente en una buena estabilidad operativa.

En la tabla 3.3 se presenta las condiciones de operación de la segunda etapa.



**Tabla 3.3** Condiciones de operación 2da etapa julio - agosto 2011(temperaturas de hogares, presiones, petróleo aditivo y tonelaje)

Fecha	Turno	TEJE	TDESC	PH0	PH16	%PET ADIT	TH0	TH4	TH6	TH9	TH11	TH13	TH15	T/H
29-jul	C-D	72	175	6,0	1,5	2,00	330	615	650	700	740	765	770	20,0
31-jul	B-D	71	174	5,7	1,5	1,94	334	619	644	703	743	766	772	19,5
1-ago	A-D	69	157	5,5	1,8	2,00	353	662	683	714	762	762	785	20,0
2-ago	A-D	63	183	4,8	2,5	2,00	368	666	698	732	761	761	794	19,9
	B-N	69	192	3,4	1,8	2,00	337	607	684	725	754	739	769	20,0
3-ago	D-D	59	181	3,2	1,6	1,93	314	625	695	699	754	754	768	19,5
	A-N	66	194	3,1	1,6	2,00	336	651	702	696	764	768	755	20,0
4-ago	D-D	64	179	3,4	1,6	1,89	340	655	711	712	757	757	777	19,0
5-ago	C-D	73	186	3,5	1,6	1,95	335	646	680	735	783	783	781	20,0
	D-N	68	195	2,9	1,6	2,01	328	623	663	714	766	759	757	20,0
6-ago	C-D	63	187	3,2	1,6	2,00	335	607	659	709	742	756	756	20,0
7-ago	C-N	65	173	4,0	2,4	2,20	363	701	663	678	722	721	762	20,0
8-ago	B-D	68	204	5,0	2,4	2,15	386	692	661	682	725	725	771	20,0
	C-N	65	174	5,4	2,2	2,16	330	652	669	700	731	723	767	20,0
10-ago	A-D	64	162	2,6	2,1	2,21	339	666	681	720	748	761	785	20,0
11-ago	B-N	71	169	2,7	2,0	2,19	336	636	677	712	728	751	769	20,0
<b>Promedio</b>		<b>67</b>	<b>180</b>	<b>4,0</b>	<b>1,9</b>	<b>2,04</b>	<b>341</b>	<b>645</b>	<b>676</b>	<b>708</b>	<b>749</b>	<b>753</b>	<b>771</b>	<b>19,9</b>
<b>Maximo</b>		<b>73</b>	<b>204</b>	<b>6,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,21</b>	<b>386</b>	<b>701</b>	<b>711</b>	<b>735</b>	<b>783</b>	<b>783</b>	<b>794</b>	<b>20,0</b>
<b>Minimo</b>		<b>59</b>	<b>157</b>	<b>2,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,89</b>	<b>314</b>	<b>607</b>	<b>644</b>	<b>678</b>	<b>722</b>	<b>721</b>	<b>755</b>	<b>19,0</b>
<b>Desviación</b>		<b>4</b>	<b>13</b>	<b>1,16</b>	<b>0,35</b>	<b>0,11</b>	<b>18</b>	<b>28</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>0,28</b>
<b>Contar</b>		<b>16</b>												

Analizando los resultados de la Tabla 3.3, se aprecia el incremento del tonelaje por hora (productividad), para un promedio de los turnos muestreados de 19.9 t/h, prácticamente el doble del valor en el período con 5 cámaras, y el incremento de la temperatura en general en todos los hogares. Se observó en este periodo, como el horno quince incrementó sus perfiles térmicos y el extractable.

En la tabla 3.4 se presentan la composición química del mineral alimentado y extractable de níquel y cobalto del enfriador 8.



**Tabla 3.4.** Composición química del mineral alimentado y extractable de níquel y cobalto del enfriador 8, segunda etapa julio - agosto 2011

Fecha	Turno	Mineral alimentado						Cola			Extractables		Ext T.	Dif
		Ni	Co	Fe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Na	Ni	Co	Fe	Ext Ni F15	Ext Co F15	EXTNi Tec	T-Real
29-jul	C-D	1,05	0,128	43,3	9,1	5,5	0,91	0,235	0,073	52,7	81,6	53,1	83,0	1,4
31-jul	C-D	1,06	0,125	43,9	8,6	4,7	1,15	0,213	0,060	51,1	82,7	58,8	84,0	1,2
1-ago	A-D	1,01	0,126	43,3	9,4	5,4	0,86	0,172	0,049	50,0	85,3	66,3	82,7	-2,5
2-ago	A-D	1,06	0,134	44,8	9,4	5,7	0,89	0,190	0,043	48,7	83,5	70,5	82,9	-0,7
	B-N	1,06	0,133	43,7	9,4	5,7	0,86	0,248	0,052	51,3	80,1	66,7	82,8	2,7
3-ago	D-D	1,16	0,131	43,6	9,4	5,1	1,05	0,317	0,077	51,4	76,8	50,1	83,6	6,8
	A-N	1,08	0,136	42,9	9,4	5,1	0,97	0,272	0,075	52,4	79,4	54,9	83,2	3,8
4-ago	D-D	1,07	0,14	43,6	8,9	5,3	0,99	0,269	0,063	51,0	78,5	61,5	83,3	4,8
5-ago	C-D	1,08	0,122	44,5	8,4	4,9	1,17	0,213	0,070	49,6	82,3	48,5	84,0	1,7
	D-N	1,08	0,127	43,7	8,4	4,9	1,15	0,320	0,101	53,4	75,8	34,9	84,0	8,2
6-ago	C-D	1,06	0,125	45,4	7,9	4,6	1,32	0,206	0,070	50,2	82,4	49,4	84,6	2,2
7-ago	C-N	1,07	0,146	44,1	9,0	6,0	0,87	0,216	0,069	50,0	82,2	58,3	82,8	0,6
8-ago	B-D	1,05	0,143	45,8	7,9	4,1	1,48	0,246	0,095	48,7	78,0	37,5	85,1	7,1
	C-N	1,05	0,145	44,6	7,9	4,1	1,45	0,260	0,063	55,1	80,0	64,8	85,0	5,0
10-ago	A-D	1,08	0,146	45,0	7,2	4,4	1,53	0,200	0,067	51,7	83,9	60,1	85,2	1,3
11-ago	B-N	1,03	0,141	41,7	<b>7,2</b>	<b>4,4</b>	1,36	0,219	0,108	51,6	82,8	38,1	84,7	1,9
<b>Promedio</b>		<b>1,07</b>	<b>0,134</b>	<b>44,0</b>	<b>8,6</b>	<b>5,0</b>	<b>1,13</b>	<b>0,237</b>	<b>0,071</b>	<b>51,2</b>	<b>80,9</b>	<b>54,6</b>	<b>83,8</b>	<b>2,9</b>
<b>Max</b>		<b>1,16</b>	<b>0,146</b>	<b>45,8</b>	<b>9,4</b>	<b>6,0</b>	<b>1,53</b>	<b>0,320</b>	<b>0,108</b>	<b>55,1</b>	<b>85,3</b>	<b>70,5</b>	<b>85,2</b>	<b>8,2</b>
<b>Min</b>		<b>1,01</b>	<b>0,122</b>	<b>41,7</b>	<b>7,2</b>	<b>4,1</b>	<b>0,86</b>	<b>0,172</b>	<b>0,043</b>	<b>48,7</b>	<b>75,8</b>	<b>34,9</b>	<b>82,7</b>	<b>-2,5</b>
<b>Desvest</b>		<b>0,03</b>	<b>0,008</b>	<b>1,01</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,24</b>	<b>0,042</b>	<b>0,018</b>	<b>1,7</b>	<b>2,7</b>	<b>10,9</b>	<b>0,9</b>	<b>2,9</b>
<b>Contar</b>		<b>16</b>												

En la Tabla 3.4 se presentan los resultados promedio de las extracciones de níquel de 80,9 por ciento con máximos hasta de 85,3 por ciento, y las de cobalto de 54,6 por ciento. El extractable de níquel teórico resultó de 83,8 por ciento para una diferencia promedio con el extractable real del horno 15 de 2,9 por ciento, lo que evidencia buenos resultados pues mientras menor sea esta diferencia es mejor la extracción de níquel acercándose al valor teórico predicho.





### **3.1.2.2. Segunda etapa Período 2. Desde el 27 de diciembre del 2011 al 22 de enero del 2012.**

Después de transcurridos 5 meses de la puesta en operación del horno, con las cámaras recuperadas, comienza el período 2 que transcurre entre el 27 de diciembre del 2011 hasta el 22 de enero del 2012. El mismo se caracterizó por una baja estabilidad operativa, específicamente los días 30 y 31 de diciembre y 15 y 19 de enero, ocurrieron afectaciones de la presión del horno, lo que produjo reoxidación del mineral, como se muestra en la Tabla 3.5. Se aprecia también una excesiva temperatura de los hogares, en correspondencia con esta situación presentada, se limpiaron gargantas y se repararon salideros en el hogar 16. El tonelaje resultó de 19.5 t/h para los 12 turnos muestreados y para los 8 que finalmente se tomaron fue de 20.1 t/h, con una variación entre 19 y 21 t/h.

En la tabla **3.5** se presentan las condiciones de operación, presiones, petróleo aditivo y temperatura de hogares de la 2da etapa-periodo 2, (diciembre del 2012 al 22 de enero del 2012)



**Tabla 3.5.** Condiciones de operación, presiones, petróleo aditivo y temperatura de hogares, 2da etapa período 2 (diciembre del 2011 al 22 de enero del 2012).

Día Intervalo de 12:00 M hasta las 18:00 PM (6 horas)														
Fecha	Turno	TEJE	TDESC	PH0	PH16	%PET ADIT	TH0	TH4	TH6	TH9	TH11	TH13	TH15	T/H
27-dic	C-D	54	148	7,0	2,0	2,5	367	655	673	673	697	717	756	20,0
<b>30-dic</b>	<b>B-D</b>	<b>51</b>	<b>164</b>	<b>3,5</b>	<b>2,0</b>	<b>2,3</b>	<b>361</b>	<b>659</b>	<b>684</b>	<b>668</b>	<b>707</b>	<b>743</b>	<b>781</b>	<b>20,0</b>
<b>31-dic</b>	<b>A-D</b>	<b>53</b>	<b>180</b>	<b>5,1</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>434</b>	<b>717</b>	<b>698</b>	<b>680</b>	<b>677</b>	<b>666</b>	<b>787</b>	<b>12,5</b>
1-ene	A-D	52	168	7,8	2,0	2,5	342	633	641	669	697	713	750	20,0
2-ene	D-D	51	169	2,5	2,0	2,5	378	683	710	704	718	719	765	20,0
7-ene	B-D	50	129	3,3	2,0	2,5	354	628	729	721	713	699	776	20,4
8-ene	A-D	50	133	2,5	2,0	2,6	369	625	699,5	742	716	693	762	20,3
14-ene	B-D	56	124	2,2	2,1	2,5	340	698	772	714	739	723	781	21,0
<b>15-ene</b>	<b>B-D</b>	<b>66</b>	<b>125</b>	<b>4,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>	<b>377</b>	<b>706</b>	<b>717</b>	<b>709</b>	<b>746</b>	<b>757</b>	<b>790</b>	<b>20,6</b>
<b>19-ene</b>	<b>D-D</b>	<b>53</b>	<b>130</b>	<b>5,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>383</b>	<b>680</b>	<b>724</b>	<b>729</b>	<b>742</b>	<b>712</b>	<b>782</b>	<b>20,0</b>
21-ene	C-D	53	138	6,3	2,0	2,5	365	646	687	692	723	719	778	20,4
22-ene	B-D	48	128	3,5	2,1	2,5	386	670	692	715	726	742	772	19,0
<b>Promedio</b>		<b>53,1</b>	<b>144,6</b>	<b>4,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>371</b>	<b>667</b>	<b>702</b>	<b>701</b>	<b>717</b>	<b>717</b>	<b>773</b>	<b>19,5</b>
<b>Maximo</b>		<b>66,0</b>	<b>179,5</b>	<b>7,8</b>	<b>2,1</b>	<b>2,6</b>	<b>434</b>	<b>717</b>	<b>772</b>	<b>742</b>	<b>746</b>	<b>757</b>	<b>790</b>	<b>21,0</b>
<b>Minimo</b>		<b>48,3</b>	<b>124,3</b>	<b>2,2</b>	<b>2,0</b>	<b>2,3</b>	<b>340</b>	<b>625</b>	<b>641</b>	<b>668</b>	<b>677</b>	<b>666</b>	<b>750</b>	<b>12,5</b>
<b>Desvest</b>		<b>4,5</b>	<b>20,1</b>	<b>1,9</b>	<b>0,0</b>	<b>0,08</b>	<b>24,6</b>	<b>31,0</b>	<b>32,5</b>	<b>24,8</b>	<b>20,3</b>	<b>24,4</b>	<b>12,4</b>	<b>2,3</b>
<b>Contar</b>		<b>12</b>												
<b>Promedio</b>		<b>51,8</b>	<b>142,1</b>	<b>4,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>363</b>	<b>655</b>	<b>700</b>	<b>704</b>	<b>716</b>	<b>715</b>	<b>768</b>	<b>20,1</b>
<b>Maximo</b>		<b>55,7</b>	<b>169,3</b>	<b>7,8</b>	<b>2,1</b>	<b>2,6</b>	<b>386</b>	<b>698</b>	<b>772</b>	<b>742</b>	<b>739</b>	<b>742</b>	<b>781</b>	<b>21,0</b>
<b>Minimo</b>		<b>48,3</b>	<b>124,3</b>	<b>2,2</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>340</b>	<b>625</b>	<b>641</b>	<b>669</b>	<b>697</b>	<b>693</b>	<b>750</b>	<b>19,0</b>
<b>Desvest</b>		<b>2,5</b>	<b>17,8</b>	<b>2,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>16</b>	<b>27</b>	<b>39</b>	<b>25</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>0,6</b>
<b>Contar</b>		<b>8</b>												



**Tabla 3.6.** Composición química del mineral alimentado y reducido y lixiviado y extractable de níquel y cobalto del enfriador 8. 2da Etapa Período 2 (Diciembre del 2011 al 22 de enero del 2012).

Fecha	Turno	Mineral alimentado en %						Cola en %			Extractables		Ext T.	Dif
		Ni	Co	Fe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Na	Ni	Co	Fe	Ext Ni F15	Ext Co F15	EXTNi Teo	T-Real
27-dic	C-D	1,06	0,12	44,2	8,1	4,2	1,38	0,233	0,069	49,8	80,5	49,0	84,8	4,3
30-dic	B-D	<b>0,96</b>	<b>0,116</b>	<b>43,3</b>	<b>8,5</b>	<b>4,9</b>	<b>1,00</b>	<b>0,336</b>	<b>0,077</b>	<b>50,8</b>	<b>70,2</b>	<b>43,4</b>	<b>83,4</b>	<b>13,2</b>
31-dic	A-D	<b>0,99</b>	<b>0,118</b>	<b>43,0</b>	<b>7,9</b>	<b>4,3</b>	<b>1,25</b>	<b>0,228</b>	<b>0,064</b>	<b>49,9</b>	<b>80,2</b>	<b>53,3</b>	<b>84,3</b>	<b>4,2</b>
1-ene	A-D	1,02	0,126	43,2	7,9	4,7	1,19	0,240	0,068	49,9	79,6	53,3	84,1	4,5
2-ene	D-D	1,07	0,123	43,8	6,9	3,0	2,26	0,306	0,072	52,9	76,3	51,5	86,9	10,6
7-ene	B-D	1,06	0,118	43,4	8,0	4,6	1,25	0,202	0,068	49,5	83,3	49,5	84,3	1,0
8-ene	A-D	1,13	0,113	44,9	9,1	5,1	1,09	0,254	0,057	49,7	79,7	54,4	83,8	4,1
14-ene	B-D	1,07	0,128	40,6	10,0	6,1	0,71	0,318	0,052	48,9	75,3	66,3	81,9	6,6
15-ene	B-D	<b>1,10</b>	<b>0,115</b>	<b>42,7</b>	<b>9,2</b>	<b>5,3</b>	<b>0,96</b>	<b>0,421</b>	<b>0,075</b>	<b>49,2</b>	<b>66,8</b>	<b>43,4</b>	<b>83,2</b>	<b>16,4</b>
19-ene	D-D	<b>1,08</b>	<b>0,110</b>	<b>46,3</b>	<b>9,3</b>	<b>5,8</b>	<b>0,93</b>	<b>0,416</b>	<b>0,078</b>	<b>50,7</b>	<b>64,8</b>	<b>35,2</b>	<b>83,1</b>	<b>18,2</b>
21-ene	C-D	1,06	0,123	43,6	9,6	6,2	0,78	0,205	0,076	47,8	82,4	43,6	82,3	-0,1
22-ene	B-D	1,09	0,112	44,9	11,0	6,7	0,66	0,270	0,078	49,6	77,6	37,0	81,6	4,1
<b>Promedio</b>		<b>1,06</b>	<b>0,119</b>	<b>43,7</b>	<b>8,8</b>	<b>5,1</b>	<b>1,12</b>	<b>0,286</b>	<b>0,070</b>	<b>49,9</b>	<b>76,4</b>	<b>48,3</b>	<b>83,6</b>	<b>7,3</b>
<b>Max</b>		<b>1,13</b>	<b>0,128</b>	<b>46,3</b>	<b>11,0</b>	<b>6,7</b>	<b>2,26</b>	<b>0,421</b>	<b>0,078</b>	<b>52,9</b>	<b>83,3</b>	<b>66,3</b>	<b>86,9</b>	<b>18,2</b>
<b>Min</b>		<b>0,96</b>	<b>0,110</b>	<b>40,6</b>	<b>6,9</b>	<b>3,0</b>	<b>0,66</b>	<b>0,202</b>	<b>0,052</b>	<b>47,8</b>	<b>64,8</b>	<b>35,2</b>	<b>81,6</b>	<b>-0,1</b>
<b>Desvest</b>		<b>0,05</b>	<b>0,01</b>	<b>1,40</b>	<b>1,12</b>	<b>1,03</b>	<b>0,42</b>	<b>0,075</b>	<b>0,008</b>	<b>1,23</b>	<b>6,05</b>	<b>8,48</b>	<b>1,43</b>	<b>5,96</b>
<b>Contar</b>		<b>12</b>												
<b>Promedio</b>		<b>1,07</b>	<b>0,120</b>	<b>43,6</b>	<b>8,8</b>	<b>5,1</b>	<b>1,17</b>	<b>0,254</b>	<b>0,068</b>	<b>49,8</b>	<b>79,3</b>	<b>50,6</b>	<b>83,7</b>	<b>4,4</b>
<b>Max</b>		<b>1,13</b>	<b>0,128</b>	<b>44,9</b>	<b>11,0</b>	<b>6,7</b>	<b>2,26</b>	<b>0,318</b>	<b>0,078</b>	<b>52,9</b>	<b>83,3</b>	<b>66,3</b>	<b>86,9</b>	<b>10,6</b>
<b>Min</b>		<b>1,02</b>	<b>0,112</b>	<b>40,6</b>	<b>6,9</b>	<b>3,0</b>	<b>0,66</b>	<b>0,202</b>	<b>0,052</b>	<b>47,8</b>	<b>75,3</b>	<b>37,0</b>	<b>81,6</b>	<b>-0,1</b>
<b>Desvest</b>		<b>0,03</b>	<b>0,006</b>	<b>1,36</b>	<b>1,3</b>	<b>1,22</b>	<b>0,517</b>	<b>0,043</b>	<b>0,009</b>	<b>1,4</b>	<b>2,8</b>	<b>8,5</b>	<b>1,8</b>	<b>3,3</b>
<b>Contar</b>		<b>8</b>												

Los días 15 y 16 de enero como se explicó ocurrieron afectaciones de la estabilidad operativa que conllevaron a obtener extracciones bajas de níquel de 66,8% y 64,8 por ciento y la de cobalto a 43,8 y 35,2 por ciento. Incluyendo todos los datos la extracción de níquel promedió 76,4 por ciento y la de cobalto 48,3 por ciento. Al eliminar los valores de los días 15, 19 de enero y 30 y 31 de diciembre, por ser considerados erráticos, el promedio de la extracción de níquel y cobalto resultó de 79,3 por ciento y 50,6 por ciento respectivamente, para un extractable teórico de 83,7 por ciento con una diferencia entre el valor teórico y real de 4,4 por ciento.



En ambas tablas aparecen los valores del procesamiento estadístico en negritas y negritas cursiva y como se explicó, los datos que finalmente se toman para el análisis son en los que se han eliminado, los datos de los turnos con afectaciones de la operación, que no pueden tomarse para la comparación objeto del trabajo

### 3.1.2.3. Segunda etapa- período 3. (Desde 29 de marzo al 18 abril 2012)

Este tercer período de la segunda etapa se distinguió por el incremento del tonelaje al horno, debido a orientaciones del Consejo Técnico de la Planta (CTP), se aprecia que los perfiles del horno fueron cumplidos en un 83,3 por ciento, excepto la temperatura del hogar 13, que fue el menor promedio de los períodos anteriores, no se consideró el primer día del muestreo por alteraciones en el mismo.

En la Tabla 3.7 se presentan los parámetros de operación del horno.

**Tabla 3. 7.** Parámetros de operación, presiones, petróleo aditivo y temperatura de hogares y tonelaje. (Período entre 29 de marzo-18 abril 2012)

Fecha	Turno	TEJE	TDESC	PH0	PH16	%PET ADIT	TH0	TH4	TH6	TH9	TH11	TH13	TH15	T/H
<b>29-mar</b>	<b>A-D</b>	<b>64</b>	<b>167</b>	<b>2,0</b>	<b>3,1</b>	<b>2,4</b>	<b>376</b>	<b>669</b>	<b>703</b>	<b>737</b>	<b>773</b>	<b>726</b>	<b>803</b>	<b>23,0</b>
7-abr	D-D	80	192	5,0	4,1	2,4	370	569	731	709	737	692	720	21,4
9-abr	C-D	73	199	6,5	3,4	2,4	372	641	688	678	708	678	776	23,0
	D-N	61	188	9,1	3,8	2,4	367	622	706	695	734	688	773	22,0
10-abr	C-D	62	208	6,5	2,6	2,4	376	647	697	697	718	681	758	22,6
11-abr	B-D	86	206	13,7	5,2	2,4	371	647	714	730	760	709	762	23,0
12-abr	B-D	68	207	5,9	2,5	2,4	373	646	714	703	735	718	768	23,0
15-abr	D-D	64	196	4,1	1,7	2,4	335	603	719	697	714	704	787	22,0
16-abr	D-D	64	191	5,1	2,0	2,3	364	591	697	710	736	724	775	22,0
<b>Promedio</b>		<b>69</b>	<b>195</b>	<b>6,4</b>	<b>3,2</b>	<b>2,4</b>	<b>367</b>	<b>626</b>	<b>708</b>	<b>706</b>	<b>735</b>	<b>702</b>	<b>769</b>	<b>22,44</b>
<b>Máximo</b>		<b>86</b>	<b>208</b>	<b>13,7</b>	<b>5,2</b>	<b>2,4</b>	<b>376</b>	<b>669</b>	<b>731</b>	<b>737</b>	<b>773</b>	<b>726</b>	<b>803</b>	<b>23,00</b>
<b>Minimo</b>		<b>61</b>	<b>167</b>	<b>2,0</b>	<b>1,7</b>	<b>2,3</b>	<b>335</b>	<b>569</b>	<b>688</b>	<b>678</b>	<b>708</b>	<b>678</b>	<b>720</b>	<b>21,38</b>
<b>Desviación</b>		<b>8,7</b>	<b>12,9</b>	<b>3,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,0</b>	<b>12,8</b>	<b>32,3</b>	<b>13,1</b>	<b>18,2</b>	<b>21,1</b>	<b>18,3</b>	<b>22,9</b>	<b>0,61</b>
<b>Contar</b>		<b>9</b>												
<b>Promedio</b>		<b>70</b>	<b>198</b>	<b>7,0</b>	<b>3,2</b>	<b>2,4</b>	<b>366</b>	<b>620</b>	<b>708</b>	<b>703</b>	<b>730</b>	<b>699</b>	<b>765</b>	<b>22,37</b>
<b>Máximo</b>		<b>86</b>	<b>208</b>	<b>13,7</b>	<b>5,2</b>	<b>2,4</b>	<b>376</b>	<b>647</b>	<b>731</b>	<b>730</b>	<b>760</b>	<b>724</b>	<b>787</b>	<b>23,00</b>
<b>Minimo</b>		<b>61</b>	<b>188</b>	<b>4,1</b>	<b>1,7</b>	<b>2,3</b>	<b>335</b>	<b>569</b>	<b>688</b>	<b>678</b>	<b>708</b>	<b>678</b>	<b>720</b>	<b>21,38</b>
<b>Desviación</b>		<b>9,1</b>	<b>8,0</b>	<b>3,1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,0</b>	<b>13,2</b>	<b>30,0</b>	<b>13,9</b>	<b>15,0</b>	<b>16,5</b>	<b>17,0</b>	<b>20,5</b>	<b>0,62</b>
<b>Contar</b>		<b>8</b>												



Durante este período el tonelaje promedió 22,44 t/h, aunque, el día 29 fue de 22,37 t/h para el resto de los turnos. Se aprecia el incremento sobre las temperaturas al faltar el mineral por algunos intervalos de tiempos, aunque fueron minutos perdidos por el pesaje de la romana al estar vacía la tolva del horno y se tuvieron las máximas temperaturas en ese turno a pesar de que se logró un valor alto de tonelaje. El tonelaje osciló entre 21,38-23,0 t/h, para los 8 turnos analizados. En la tabla 3.8 se presenta la composición química del mineral alimentado.

**Tabla 3.8.** Composición química del mineral alimentado, reducido y lixiviado y extractable de níquel y cobalto del enfriador 8. Segunda etapa período 3 (entre 29 de marzo al 18 abril 2012).

Análisis químicos muestra Humeda C-8															
Fecha	Turno	Mineral alimentado						Cola			Extractables		Ext T.	Dif	
		Ni	Co	Fe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Na	Ni	Co	Fe	Ext Ni F15	Ext Co F15	EXTNi Teo	T-Real	
29-mar	A-D	1,01	0,132	47,8	9,0	5,2	1,03	0,376	0,066	51,4	65,4	53,5	83,5	18,1	
07-abr	D-D	1,06	0,125	44,0	8,0	4,4	1,33	0,273	0,050	50,3	77,5	65,0	84,6	7,1	
09-abr	C-D	1,02	0,141	45,6	8,3	4,6	1,22	0,207	0,067	53,5	82,7	59,5	84,2	1,5	
	D-N	1,04	0,139	44,7	8,3	4,6	1,22	0,261	0,076	48,6	76,9	49,7	84,2	7,3	
10-abr	C-D	1,07	0,127	44,7	7,6	4,1	1,53	0,243	0,073	51,1	80,1	49,7	85,2	5,1	
11-abr	B-D	1,12	0,150	45,4	7,1	3,8	1,88	0,273	0,062	51,2	78,4	63,3	86,1	7,7	
12-abr	B-D	1,08	0,145	48,5	7,9	4,4	1,51	0,268	0,067	54,6	78,0	59,0	85,1	7,2	
15-abr	D-D	1,03	0,126	46,9	6,4	3,2	2,36	0,293	0,070	53,7	75,2	51,5	87,1	12,0	
16-abr	D-D	1,06	0,136	45,8	7,7	4,0	1,58	0,282	0,078	53,0	77,0	50,4	85,3	8,3	
<b>Promedio</b>		<b>1,05</b>	<b>0,136</b>	<b>45,93</b>	<b>7,8</b>	<b>4,3</b>	<b>1,52</b>	<b>0,275</b>	<b>0,068</b>	<b>51,9</b>	<b>76,8</b>	<b>55,7</b>	<b>85,0</b>	<b>8,3</b>	
<b>Max</b>		<b>1,12</b>	<b>0,150</b>	<b>48,5</b>	<b>9,0</b>	<b>5,2</b>	<b>2,36</b>	<b>0,376</b>	<b>0,078</b>	<b>54,6</b>	<b>82,7</b>	<b>65,0</b>	<b>87,1</b>	<b>18,1</b>	
<b>Min</b>		<b>1,01</b>	<b>0,125</b>	<b>44</b>	<b>6,4</b>	<b>3,2</b>	<b>1,03</b>	<b>0,207</b>	<b>0,05</b>	<b>48,6</b>	<b>65,4</b>	<b>49,7</b>	<b>83,5</b>	<b>1,5</b>	
<b>Desvest</b>		<b>0,034</b>	<b>0,01</b>	<b>1,51</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,40</b>	<b>0,045</b>	<b>0,008</b>	<b>1,9</b>	<b>4,8</b>	<b>6,0</b>	<b>1,1</b>	<b>4,6</b>	
<b>Contar</b>		<b>9</b>													
<b>Promedio</b>		<b>1,06</b>	<b>0,136</b>	<b>45,7</b>	<b>7,7</b>	<b>4,1</b>	<b>1,58</b>	<b>0,263</b>	<b>0,068</b>	<b>52,0</b>	<b>78,2</b>	<b>56,0</b>	<b>85,2</b>	<b>7,0</b>	
<b>Max</b>		<b>1,12</b>	<b>0,150</b>	<b>48,5</b>	<b>8,3</b>	<b>4,6</b>	<b>2,36</b>	<b>0,293</b>	<b>0,078</b>	<b>54,6</b>	<b>82,7</b>	<b>65,0</b>	<b>87,1</b>	<b>12</b>	
<b>Min</b>		<b>1,02</b>	<b>0,125</b>	<b>44,0</b>	<b>6,4</b>	<b>3,2</b>	<b>1,22</b>	<b>0,207</b>	<b>0,050</b>	<b>48,6</b>	<b>75,2</b>	<b>49,7</b>	<b>84,2</b>	<b>1,5</b>	
<b>Desvest</b>		<b>0,03</b>	<b>0,009</b>	<b>1,43</b>	<b>0,64</b>	<b>0,47</b>	<b>0,38</b>	<b>0,03</b>	<b>0,009</b>	<b>2,03</b>	<b>2,29</b>	<b>6,40</b>	<b>0,99</b>	<b>2,96</b>	
<b>Contar</b>		<b>8</b>													

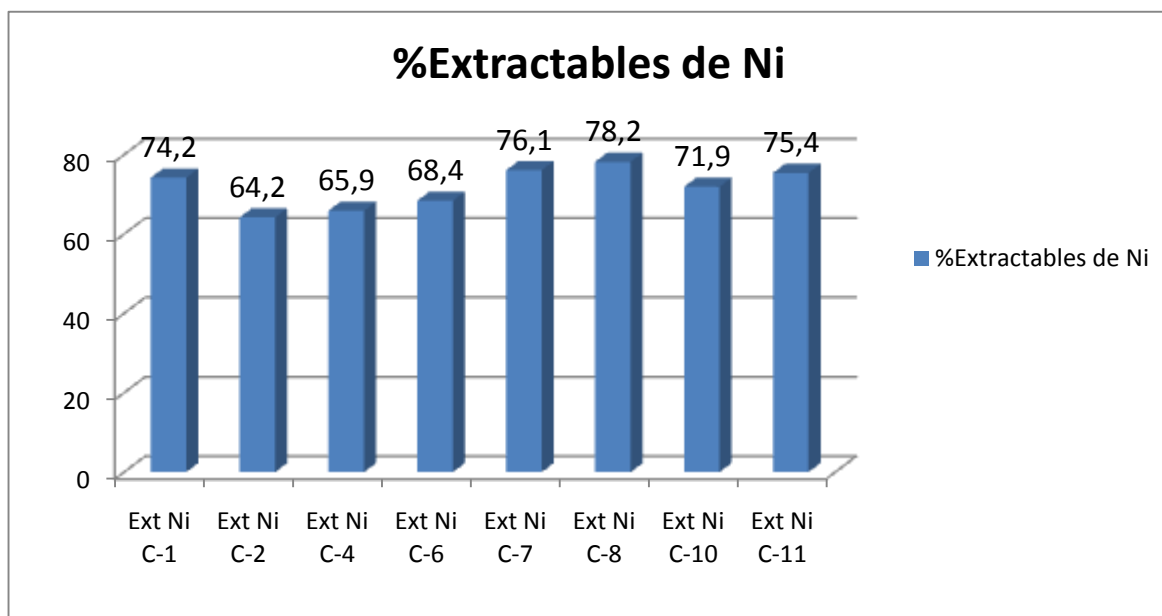
Si se elimina el resultado obtenido el día 29 de marzo que fue afectado por la falta de mineral y que resultó un valor bajo de extractable de níquel 65,4 por ciento, las extracciones de níquel promedio toman un valor de 78,2 por ciento y oscilaron entre 75,2-82,7 por ciento, con una diferencia con el extractable teórico de 7,0



por ciento, durante este período. Las extracciones de cobalto variaron entre 49,7 - 65,0 por ciento para un promedio de 56,0 por ciento.

### 3.2 Comparación entre las extracciones de níquel de los enfriadores de la Planta y el enfriador 8 correspondiente al horno 15.

En el mes de abril del 2012, se tomaron muestras en los enfriadores en operaciones de la Planta de Hornos de Reducción de la Empresa Rene Ramos Latour para comparar los resultados de sus extracciones con las obtenidas en el enfriador 8 correspondientes al horno 15. El muestreo se realizó en los mismos turnos para todos los enfriadores, correspondientes a los enfriadores 1, 2, 4, 7, 8,10, y 11. Denominados C1, C2, C4, C7, C8, C10, C11. Los mismos corresponden a los hornos 1, 3, 7, 13, 15, 19 y 21 respectivamente. En la figura 3.2 se presenta la comparación entre los extractables de níquel por enfriadores.



**Figura. 3.2.** Porcentaje de Extractables de Níquel por enfriadores de la Planta de hornos de reducción de la Empresa René Ramos Latour

El enfriador 8 perteneciente al Horno 15, es el de mayores extracciones de níquel, presentando la mayor productividad, ya que era el único que se mantenía con las 8 cámaras en operaciones. (Criterio del autor)



### 3.3 Comparación de los resultados entre las dos etapas. (Antes y después de la recuperación de cámaras)

Para realizar la comparación de los resultados de todas las etapas, se presenta en la tabla 3.9 resumen de todos los datos para facilitar su comprensión.

**Tabla 3.9.** Resumen de los parámetros de operación.

		Parametros de operación. Temperaturas. Presiones, aditivo, tonelaje												
		TEJE	TDESC	PH0	PH16	%PET ADIT	TH0	TH4	TH6	TH9	TH11	TH13	TH15	T/H
1ra Etapa Período 1 (2-17 Mayo 2011)	Promedio	68	93	13,8	1,4	1,9	360	662	752	690	723	585	570	11,23
	Máximo	75	116	18,3	2,0	2,0	429	755	813	737	761	608	609	14,10
	Mínimo	59	73	3,4	-1,4	1,5	287	585	673	658	684	555	538	7,50
	Desvest	4,0	11,9	4,0	0,7	0,1	42,8	44,1	44,3	23,4	21,0	15,5	15,4	1,67
	Nº datos	30												
	Promedio	68	93	13,8	1,6	1,9	354	662	748	689	722	583	567	11,38
	Máximo	75	116	18,3	2,0	2,0	420	755	795	737	758	608	593	14,10
	Mínimo	59	74	3,4	1,4	1,5	287	585	673	658	684	555	538	7,50
	Desvest	4,0	11,8	4,1	0,2	0,1	41,2	44,9	44,1	24,3	20,8	15,1	13,3	1,63
	Nº datos	27												
2da Etapa. Período 1 (Julio-Agosto 2011)	Promedio	67	180	4,0	1,9	2,0	341	645	676	708	749	753	771	19,87
	Máximo	73	204	6,0	2,5	2,2	386	701	711	735	783	783	794	20,00
	Mínimo	59	157	2,6	1,5	1,9	314	607	644	678	722	721	755	19,01
	Desvest	4,0	12,6	1,2	0,3	0,1	17,7	28,5	19,2	15,8	17,2	17,7	11,1	0,28
	Nº datos	16												
2da Etapa Período 2 (Dic 2011- Enero 2012)	Promedio	53	145	4,4	2,0	2,5	371	667	702	701	717	717	773	19,52
	Máximo	66	180	7,8	2,1	2,6	434	717	772	742	746	757	790	21,00
	Mínimo	48	124	2,2	2,0	2,3	340	625	641	668	677	666	750	12,50
	Desvest	4,5	20,1	1,9	0,0	0,1	24,6	31,0	32,5	24,8	20,3	24,4	12,4	2,26
	Nº datos	12												
	Promedio	52	142	4,4	2,0	2,5	363	655	700	704	716	715	768	20,14
	Máximo	56	169	7,8	2,1	2,6	386	698	772	742	739	742	781	21,00
	Mínimo	48	124	2,2	2,0	2,5	340	625	641	669	697	693	750	19,00
	Desvest	2	17,8	2,3	0,0	0,0	16,2	27,0	38,8	24,8	14,2	14,9	11,0	0,57
	Nº datos	8												
2da Etapa Período 3 (Marzo-Abril 2012)	Promedio	69	195	6,4	3,2	2,4	367	626	708	706	735	702	769	22,44
	Máximo	86	208	13,7	5,2	2,4	376	669	731	737	773	726	803	23,00
	Mínimo	61	167	2,0	1,7	2,3	335	569	688	678	708	678	720	21,38
	Desvest	9	13	3,3	1,1	0,0	13	32	13	18	21	18	23	0,61
	Nº datos	9												
	Promedio	70	198	7,0	3,2	2,4	366	620	708	703	730	699	765	22,37
	Máximo	86	208	13,7	5,2	2,4	376	647	731	730	760	724	787	23,00
	Mínimo	61	188	4,1	1,7	2,3	335	569	688	678	708	678	720	21,38
	Desvest	9	8	3,1	1,2	0,0	13	30	14	15	16	17	20	0,62
Nº datos	8													



En la tabla 3.10 se presentan el resumen de los resultados de composición química y datos estadísticos de estos.

**Tabla 3.10.** Tabla resumen de la composición química del mineral alimentado y los extractables de níquel y cobalto obtenidos, y resultados estadísticos de estos.

		Mineral alimentado						Cola			Ext F15		Ext Ni Teo	Dif ext	
		Ni	Co	Fe	SiO2	MgO	Na	Ni	Co	Fe	Ni	Co	Ni	Teo-Real	
1ra Etapa Período 1 (2-17 Mayo 2011)	Promedio	1,08	0,140	43,7	9,7	5,9	0,88	0,359	0,083	50,4	71,04	48,20	82,63	11,6	
	Máximo	1,15	0,158	46,5	12,3	7,4	1,31	0,538	0,117	55,2	79,98	66,82	84,54	24,6	
	Mínimo	1,01	0,110	40,0	8,0	4,7	0,44	0,245	0,059	47,6	55,42	33,88	79,98	2,4	
	Desvest	0,03	0,015	1,8	1,3	1,0	0,27	0,078	0,013	2,1	6,57	8,32	1,38	6,3	
	Nº datos	30													
	Promedio	1,08	0,140	43,8	9,6	5,8	0,90	0,350	0,083	50,5	71,97	48,09	82,74	10,8	
	Máximo	1,15	0,158	46,4	12,3	7,4	1,31	0,484	0,117	55,2	79,98	66,82	84,54	23,3	
	Mínimo	1,02	0,110	40,5	8,0	4,7	0,49	0,245	0,059	47,6	61,09	33,88	80,39	2,4	
	Desvest	0,03	0,015	1,7	1,2	1,0	0,27	0,073	0,014	2,1	5,98	8,24	1,35	6,0	
Nº datos	27														
2da Etapa. Período 1 (Julio-Agosto 2011)	Promedio	1,07	0,134	44,0	8,6	5,0	1,13	0,237	0,07	51,18	80,95	54,60	83,80	2,9	
	Máximo	1,16	0,146	45,8	9,4	6,0	1,53	0,320	0,11	55,10	85,25	70,48	85,22	8,2	
	Mínimo	1,01	0,122	41,7	7,2	4,1	0,86	0,172	0,04	48,70	75,75	34,92	82,74	-2,5	
	Desvest	0,03	0,008	1,0	0,8	0,6	0,24	0,042	0,02	1,70	2,70	10,92	0,89	2,9	
	Nº datos	16													
2da Etapa Período 2 (Dic 2011- Enero 2012)	Promedio	1,06	0,119	43,7	8,8	5,1	1,12	0,286	0,070	49,9	76,4	48,3	83,6	7,3	
	Máximo	1,13	0,128	46,3	11,0	6,7	2,26	0,421	0,078	52,9	83,3	66,3	86,9	18,2	
	Mínimo	0,96	0,110	40,6	6,9	3,0	0,66	0,202	0,052	47,8	64,8	35,2	81,6	-0,1	
	Desvest	0,05	0,006	1,4	1,1	1,0	0,42	0,075	0,008	1,2	6,1	8,5	1,4	6,0	
	Nº datos	12													
	Promedio	1,07	0,120	43,6	8,8	5,1	1,17	0,254	0,068	49,8	79,3	50,6	83,7	4,4	
	Máximo	1,13	0,128	44,9	11,0	6,7	2,26	0,318	0,078	52,9	83,3	66,3	86,9	10,6	
	Mínimo	1,02	0,112	40,6	6,9	3,0	0,66	0,202	0,052	47,8	75,3	37,0	81,6	-0,1	
Desvest	0,03	0,006	1,4	1,3	1,2	0,52	0,043	0,009	1,4	2,8	8,5	1,8	3,3		
Nº datos	8														
2da Etapa Período 3 (Marzo-Abril 2012)	Promedio	1,05	0,136	45,9	7,8	4,3	1,52	0,275	0,068	51,9	76,8	55,7	85,0	8,3	
	Máximo	1,12	0,150	48,5	9,0	5,2	2,36	0,376	0,078	54,6	82,7	65,0	87,1	18,1	
	Mínimo	1,01	0,125	44,0	6,4	3,2	1,03	0,207	0,050	48,6	65,4	49,7	83,5	1,5	
	Desvest	0,03	0,009	1,5	0,7	0,6	0,40	0,045	0,008	1,9	4,8	6,0	1,1	4,6	
	Nº datos	9,0													
	Promedio	1,06	0,136	45,7	7,7	4,1	1,58	0,263	0,068	52,0	78,2	56,0	85,2	7,0	
	Máximo	1,12	0,150	48,5	8,3	4,6	2,36	0,293	0,078	54,6	82,7	65,0	87,1	12,0	
	Mínimo	1,02	0,125	44,0	6,4	3,2	1,22	0,207	0,050	48,6	75,2	49,7	84,2	1,5	
Desvest	0,03	0,009	1,4	0,6	0,5	0,38	0,027	0,009	2,0	2,3	6,4	1,0	3,0		
Nº datos	8,0														

Al comparar los resultados de las diferentes etapas, en la primera etapa, cuando el horno solo contaba con 5 cámaras y los de la segunda etapa con sus tres períodos, con 8 cámaras en operaciones y con diferentes condiciones de operación puede apreciarse el incremento del tonelaje (productividad), logrado.





Este incremento representó como promedio 9,41 toneladas por hora más, corroborando mejor funcionamiento del horno 15, en cuanto a perfiles de temperatura, de extracción de níquel y cobalto.

En la la tabla 3.11, parámetros relacionados con la productividad del horno, antes y después de la recuperación de las cámaras.

**Tabla 3.11.** Comparación antes y después de la recuperación de cámaras

Etapas	Mineral alimentado		% Ni Extractables			T/h	
	%Ni	Na	Teórico	Obtenido	Diferencia	Por romana	Netas secas
1ra Etapa Antes de la recuperación (5 cámaras)	1,08	0,9	82,74	71,97	10,77	11,38	10,38
2da Etapa Después de la recuperación, (considerando los tres períodos) (8 cámaras)	1,06	1,29	84,25	79,05	5,20	20,79	18,96
Diferencia	0,02	0,39	1,51	7,08	5,57	9,41	8,58

En esta tabla se muestra mediante el número de mineral y el cálculo del extractable teórico las posibilidades que tiene cada uno de los minerales que se procesaron, en el período con las cámaras recuperadas se presentaron diferencias entre el extractable teórico y el obtenido, indicando que fue menor cuando las cámaras se recuperaron, mientras la diferencia entre los extractables entre los dos períodos fue de 7,65 por ciento después de recuperadas las cámaras de combustión. El tonelaje procesado fue como promedio 82.68 por ciento, superior a cuando funcionaron con cinco cámaras.

En la tabla 3.12 se presenta las cantidades de níquel aportadas a la planta de lixiviación durante las etapas investigadas.



**Tabla 3.12** Cantidad de níquel aportada a la planta de lixiviación.

Etapas	Cantidad de Níquel a la Planta de Lixiviación en toneladas por hora	Cantidad de Níquel a la Planta de Lixiviación en toneladas por día
1	0,0806	1,934
2	0,1588	3,813
Diferencia	0,7827	1,878

Estas diferencias representan aproximadamente el doble de toneladas de níquel a la planta de Lixiviación que aporta el Horno15, después de recuperarle las cámaras.

En este horno, al operar con 8 cámaras de combustión, el tonelaje procesado fue superior a cuando funcionaron con cinco cámaras. Con las cámaras recuperadas se evidencian diferencias entre el extractable teórico y el obtenido.



## **CONCLUSIONES**

1. La realización del trabajo permitió analizar los parámetros de operación, estado técnico y número de cámaras en operaciones del horno quince de la empresa René Ramos Latour. Trabajar con menos de 6 cámaras no permite productividades que justifiquen los gastos de energía, materiales y humanos, se comprobó que las mayores productividades se obtuvieron con 8 cámaras en operaciones.
2. Fue seleccionado y caracterizado el mineral de alimentación a la planta de hornos de reducción de la empresa René Ramos Latour, fue sometido a diferentes análisis para determinar su composición química, como se presentó en la tabla 3.10 de los resultados.
3. Se caracterizó mediante la prueba de QT, el mineral reducido, se recopilaron los datos de operación del horno 15 de la planta de hornos de reducción proporcionadas por el sistema de Supervisión de proceso EROS, para determinar los factores que mayor incidencia tienen en la recuperación de níquel y cobalto. Se comprobó, que con el funcionamiento de 8 cámaras se incrementa la extracción de níquel y cobalto, como se mostró en la tabla 3.6 de los resultados.
4. La recuperación de las cámaras de combustión permitió un aumento sostenible del tonelaje desde 11,34 t/h hasta 20,79 t/h, con un incremento del 83,6 por ciento y en cuanto a la cantidad de níquel al proceso de lixiviación muy cercano al doble.



## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda trabajar con 8 cámaras en operación y tonelajes por romana entre 22 y 23 t/h para tener menores gastos de combustible y obtener extracciones adecuadas con extractables con una diferencia con el teórico de 3 y 4 por ciento, y utilizando no menos de 2,5 por ciento de petróleo aditivo.
2. Trabajar con el horno con todas sus bóvedas, brazos, dientes, enfriadores en buenas condiciones así como sellos y sistema de combustión completo y mirillas destupidas que permitan un buen control de la llama, así como restitución de los termopares de las cámaras de combustión.



## **BIBLIOGRAFIA**

1. ALEPUZ, H. Comparación de las distintas variantes de adición de petróleo. 1993. CEINNIQ. Cuba
2. ALEPUZ, H. Informe acerca de los hornos Prior. 1995. CEINNIQ. Cuba.
3. ALONSO, A; DAUBENSPEACK, J. Modificaciones en la metalurgia de Nicaro. Presentado en la convención anual del American Institute of Mining Engineers .Febrero de 1959.
4. ALONSO, A. Disminución de consumo de fuel oíl en los hornos Herreshoff. Proyecto 502. 1957. Nicaro. Cuba.
5. CARON, MARTIN H. Monthly Progress Report. 1952. Nicaro. Cuba.
6. CASTELLANOS, J. Efectividad de la utilización de petróleo aditivo como agente reductor en el proceso Caron. 1985. Revista Minería. Vol. XV. No 1. Diciembre.
7. CASTELLANOS, J. "Elaboración de minerales oxidados de níquel por el esquema carbonato-amoniaco, Minería y geología 16:76-82,1999
8. CHANG, A. R.: "Una visión sobre las reservas estratégicas de eficiencia metalúrgica en la tecnología carbonato amoniaco, minería y geología, 1999.
9. FUENTES. J: L; Colaboradores. Manual de operaciones de la planta de hornos de reducción. 1999. Departamento de Producción. empresa René Ramos Latour. Nicaro, Cuba.
10. GÓMEZ. J. Comentarios sobre los bajos extractables alcanzados en la Planta de hornos. 1994. Nicaro.Cuba.
11. GONZÁLEZ, R. Introducción de aire secundario en los hornos de pisos de Nicaro .Reporte de investigación No. 575. 1979.CIPIM.Cuba.
12. Grupo Técnico. Planeamiento estratégico hasta el 2000, Nicaro. Cuba.
13. EROS, "Manual de operación", Grupo EROS, Nicaro, Holguín, 1997.



14. LISSABET, G. Informe sobre la influencia del tonelaje en los índices de operación de los hornos de reducción. 1986. Nicaro.Cuba.
15. RAMIREZ, M. Identificación experimental del subproceso de postcombustión de un Horno de Reducción de Níquel, Universidad de oriente, Cuba.
16. ROQUE.A.; Recorrido histórico por la tecnología. Planta hornos de reducción. (6) Reporte Referativo. Biblioteca Técnica. ERRL.2000.
17. TAVÍO, G. Puesta en operación del primer horno con cámaras Prior, Reportes de progreso. Año 1996. CEINNIQ. Cuba.
18. TAVÍO, G. Optimización de la reducción de Ni y Co utilizando la tecnología Prior. 1998. Proyecto de Investigación. CEINNIQ Cuba.
19. TAVÍO,G. Causas que provocan el deterioro de los termopares. Reporte Técnico. Año 1999. CEINNIQ. Cuba.
20. TAVÍO, G. Comparación de los diferentes métodos de adición de petróleo al mineral. 1996. CEINNIQ. Cuba.
21. TAVÍO, G. Lanza automatizada. Ponencia presentada al Consejo Técnico Asesor. 1999. CIL. Unidad de Ciencia y Técnica Nicaro. Cuba.
22. TAVÍO.G. Evaluación de los quemadores SSB7 instalados en todas las Cámaras de Combustión de los Hornos de Reducción. 2003. EINNIQ. Nicaro. Cuba.
23. Tavío. G. Proyecto Eficiencia. 2008. CEINNIQ. Nicaro. Cuba.
24. Tavío, G. Prueba en Planta Piloto con el Mineral de Pinares de Mayarí. Ponencia presentada al Consejo Técnico Asesor.2009. CEINNIQ, Nicaro. Cuba.
25. TAVÍO, G.; CANO N. Evaluación de la posición de la lanza automatizada en el Horno de Reducción. 2007. CEINNIQ .Cuba.
26. TORRES, G.: "Modelación matemática para predecir el comportamiento del extractable, Tesis de Maestría, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1999