



**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**  
**FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECÁNICA**  
**DEPARTAMENTO METALURGIA - QUÍMICA**

# **COMPORTAMIENTO DEL PROCESO DE CALCINACIÓN EN LA EMPRESA “RENÉ RAMOS LATOUR”**

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO METALÚRGICO**

**Nolberto Alexander Rodríguez Cabrera**

MOA  
2013



**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**  
**FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA**  
**DEPARTAMENTO METALURGIA - QUÍMICA**

# **COMPORTAMIENTO DEL PROCESO DE CALCINACIÓN EN LA EMPRESA “RENÉ RAMOS LATOUR”**

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO METALÚRGICO**

**Autor: Nolberto Alexander Rodríguez Cabrera**

Tutores: Ing. Ernesto Santiesteban Ross

Prof. Asist. Ing. Evangelia García Peña, Msc

MOA

2013

## *DECLARACIÓN DE AUTORIDAD*

Yo: **Nolberto Alexander Rodríguez Cabrera**, autor de este trabajo y mis tutores, el Ing. Ernesto Santiesteban Ross y la MSc. Evangelia García Peña, declaramos la propiedad intelectual del mismo al servicio del Departamento de Metalúrgica – Química del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

---

Nolberto Alexander Rodríguez Cabrera

---

Ing. Ernesto Santiesteban Ross

---

MSc. Evangelia García Peña

## **PENSAMIENTO**

*“... y siempre mediremos, por encima de todo un Técnico y un Científico no por sus conocimientos, sino por el grado de humildad y modestia con que sea capaz de aportar sus conocimientos.”*

***Fidel Castro.***

## ***AGRADECIMIENTOS***

*A mis tutores por la confianza y ayuda depositada durante la realización de la tesis.*

*A mi padre y a mi hermana que siempre han confiado en mí y se que se sienten orgullosos ya que nunca los he defraudado.*

*A mis compañeros de estudio por la amistad y firmeza durante todos estos años y por su ayuda cuando la he necesitado.*

*A los profesores que con tanto esfuerzo han llevado a puerto seguro este programa.*

*A mi madre por estar junto a mí en las noches de desvelo, por dedicarme siempre todo su tiempo con amor y cariño.*

*A la amiga de todos, Ana Roque, gracias por sus sugerencias, indicaciones y su valioso tiempo.*

*A Maramis, Ivette, Silvia, Clarita, Dayami que sin su ayuda no hubiera sido posible la realización de este trabajo.*

*A mis amigos de siempre que de una forma u otra siempre han estado conmigo.*

*A los nombrados hoy y a quienes imperdonablemente no hemos mencionado...*

*Muchas Gracias.*

## **DEDICATORIA**

*Dedico la culminación de este trabajo:*

*En especial a mi Padre y madre por haberme guiado en la vida y darme una educación basada en valores y principios.*

*A mi hijo que yo sé que me quiere mucho.*

*A mi novia por su amor incondicional.*

*A mi familia que de ellos siempre he tenido cariño confianza y apoyo.*

*A los profesores que durante estos seis años me han ayudado a formarme como profesional.*

*A todos “les dedico este éxito”*

*Nolberto A. Rodríguez Cabrera.*

## **RESUMEN**

El propósito de la investigación fue establecer la nueva carta tecnológica de los parámetros de operación y ajustes mecánicos que inciden en la calidad del óxido de níquel en el área de calcinación de la empresa “Comandante René Ramos Latour”, lo que permitió accionar sobre aspectos que impedían obtener el óxido con las características físicas y químicas necesarias. Para llevar a cabo el trabajo se procedió a la revisión y análisis de investigaciones realizadas sobre la temática, con lo cual se identificó el estado del proceso de calcinación; se examinó el procedimiento para la determinación de la eficiencia de dicho proceso y se logró una identificación de los coeficientes y variables que intervienen, para lo cual se utilizó una base de datos obtenida en la planta, como resultado se obtuvo la carta tecnológica para la operación con los ajustes necesarios, logrando las características físicas y químicas en el óxido de níquel que implica una mejora en la calidad del producto final, satisfaciendo al cliente y cumpliendo con el protocolo de trabajo. Se incrementó la calidad química con respecto a los resultados anteriores, desde el 37,14 % hasta el 86,85 %.

**Palabras Clave:** Parámetros de operación, ajustes mecánicos y calidad del óxido de níquel.

## **ABSTRACT**

The purpose of the research was to establish the operating parameters and mechanical adjustments that affect the quality of nickel oxide area of the Company Commander René Ramos Latour by an improvement plan, which allowed the development of actions on issues that did not guarantee the oxide with the necessary physical and chemical characteristics. To carry out the work we proceeded with the review and analysis of researches on the subject, which made us identify calcination process status, we examined the method for determining the efficiency of the process and identification that was achieved with the coefficients and variables involved, for which a database obtained in the plant was used, as a result, a technological designed letter for operation with the necessary adjustments, obtaining the physical and chemical characteristics of the nickel oxide which involves an improvement in quality of the final product satisfying the customer and complying with the study protocol. This brought, as a result, an increase in the chemical quality in March taking into account the previous months, from 37,14 % to 86,85 %.

Key words: Operating parameters, mechanical adjustments and quality of nickel oxide.



## ÍNDICE

## PÁG.

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
1.1 Fundamentos teóricos.....	6
1.1.1 Proceso tecnológico de la planta de Calcinación.....	7
1.1.2 Estado actual de la automatización del proceso de calcinación .....	10
1.1.3 Requisitos del cliente acordados en el protocolo de trabajo.....	11
1.2 Antecedentes .....	12
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
2.2 Equipamiento.....	19
2.3 Metodología empleada .....	20
2.3.1 Determinación del comportamiento de los parámetros de operación y ajustes mecánicos .....	21
2.3.2 Definición del modelo teórico para el proceso de calcinación .....	22
2.3.3 Cálculo para la carga correcta de carbonato a alimentar al calcinador .....	22
2.3.4 Identificación de los problemas a resolver en la planta de calcinación .....	22
2.3.5 Periodo de investigación y medidas tomadas para mejorar el comportamiento del proceso .....	24
2.3.6 Medidas tomadas para disminuir y estabilizar valores de humedad del carbonato alimentado al calcinador.....	25
2.3.7 Medidas para estabilizar la carga de carbonato por correa alimentado al calcinador ....	26
2.3.8 Búsqueda de la relación adecuada de petróleo/aire en el quemador.....	26
2.3.9 Ajuste de la combustión, logrando contenido de oxígeno en los gases .....	27
2.3.10 Movimiento de la camisa del quemador.....	27
2.3.11 Clasificación y molienda del óxido .....	279
2.4.1 Método de muestreo y análisis del carbonato básico de níquel, muestra (N – 65) .....	31
2.4.2 Norma de muestreo del óxido de níquel calcinado NEIB 03-07-11 .....	32
2.4.3 Método para la determinación de los componentes del óxido de Níquel .....	32
2.4.4 Método de determinación de Cobalto, Hierro, Zinc, y Manganeseo .....	32
2.4.5 Método para la determinación de azufre combustible .....	33
<b>3 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
3.1 Resultados de los parámetros en los meses analizados.....	34
3.2 Comportamiento de los parámetros en estudio .....	38
3.2.1 Comportamiento general de los parámetros evaluados en la investigación.....	38
3.2.2 Comportamiento de la densidad del carbonato básico de níquel alimentado .....	39
3.2.3 Comportamiento de la humedad del carbonato básico de níquel alimentado .....	39
3.2.4 Comportamiento de la alimentación de carbonato básico de níquel al calcinador .....	40
3.2.5 Comportamiento de la relación petróleo/aire .....	41
3.2.6 Comportamiento del oxígeno en los gases de salida del calcinador .....	42
3.2.7 Comportamiento de la densidad del óxido de níquel .....	42
3.2.9 Comportamiento de la granulometría del óxido de níquel .....	44
3.2.10 Movimientos de la camisa del quemador .....	45
3.3 Propuesta de la nueva carta tecnológica del proceso del calcinador 1 .....	46
<b>VALORACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>49</b>
<b>VALORACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## INTRODUCCIÓN

En Cuba la industria del níquel juega un papel fundamental dentro de la economía, en la actualidad el mundo está transitando por una crisis que afecta todas las ramas de la economía y dentro de ellas, el níquel es una de las más afectadas ya que su precio desciende bruscamente en el mercado mundial. Es por ello que se hace necesario el incremento de la eficiencia de los procesos en las plantas metalúrgicas de dicha industria para así hacer más costeable el procesamiento de los minerales.

El proceso tecnológico de la fábrica René Ramos Latour está basado en el esquema de lixiviación carbonato – amoniacal o proceso CARON, según el cual el mineral oxidado de níquel es reducido selectivamente, esta tecnología comienza con la extracción del mineral en las minas a cielo abierto de los yacimientos de Pinares de Mayarí, incorporándose al flujo tecnológico por la planta de Secaderos y Molinos, a partir de este momento el material circula por las diferentes plantas del proceso entre las que se encuentran: la planta de preparación de mineral, la planta de Hornos de Reducción, la planta de Lixiviación y Lavado y la planta de Recuperación y Calcinación, donde la pulpa de carbonato básico de níquel obtenida de la destilación del licor producto, se densifica para luego filtrarse, la torta que se obtiene en el filtro se alimenta posteriormente al horno de calcinación rotatorio, con calentamiento indirecto a una temperatura de  $1200^{\circ}\text{C}$  y en atmósfera oxidante, ocurriendo la descomposición del carbonato básico de níquel y el proceso de calcinación.

El producto que sale del horno es un óxido de níquel con contenido de 76 a 77 % de níquel, color verde y gris, variada granulometría, el que se somete a un proceso de molienda y clasificación, se muestrea y envasa para ser transportado a la

empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” para completar el sinterizado del óxido de níquel.

El proceso de calcinación del carbonato de níquel ha sido estudiado por varios investigadores con el objetivo de profundizar en los complejos fenómenos que tienen lugar durante el proceso industrial, para lo cual se han apoyado en la modelación matemática y simulación del mismo, realizado grandes esfuerzos dirigidos al mejoramiento de la eficiencia de dicho proceso.

Las plantas de recuperación de amoniaco y calcinación tienen una importancia vital dentro del proceso de obtención del níquel y un eslabón fundamental lo constituyen los hornos calcinadores. Para llevar a cabo la investigación se realizó un análisis de los principales trabajos realizados a través de los años en la empresa René Ramos Latour, así como diferentes publicaciones expuestas en la bibliografía especializada. Se aborda sobre el proceso tecnológico utilizado para la calcinación del mineral y las características de la calidad del óxido de níquel calcinado que se solicita por el cliente, en este caso particular la empresa Ernesto Che Guevara de Moa.

Ha sido un gran reto para técnicos y especialistas de la empresa René Ramos Latour, lograr alcanzar y mantener las especificaciones de calidad exigidas por el cliente. En los meses de octubre del 2011 hasta enero del 2012 se produjo una cantidad de óxido de níquel con alto contenido de níquel, debido fundamentalmente a la inestabilidad de los parámetros y variables del proceso, esta situación incide en la calidad del producto final de la planta y a la vez en la eficiencia metalúrgica, lo que conlleva a un sobregiro en el consumo de petróleo y otras materias primas por concepto de reproceso.

Teniendo en cuenta lo planteado y sobre la base de los trabajos realizados, se impone la necesidad de hacer una identificación de los factores que inciden en la eficiencia de operación en el área de calcinación que permita el monitoreo de las principales variables que intervienen en el proceso, constituyendo esto la **Situación problemática.**

La calidad del óxido de níquel, en el área de calcinación en la empresa “Comandante René Ramos Latour” de Nicaro, no se ajusta a las especificaciones

requeridas, debido a factores mecánicos y parámetros de operaciones que determinan las características físicas y químicas solicitadas en el protocolo.

Por lo que el **Problema Científico** de la investigación es el insuficiente conocimiento de los principales parámetros tecnológicos y factores mecánicos que intervienen en el proceso de calcinación de la empresa René Ramos Latour.

El correcto análisis de esta problemática exige una evaluación del proceso de calcinación, desde el punto de vista tecnológico y científico, partiendo de los factores mecánicos y parámetros de operaciones existentes en la planta, de esta manera se requieren encontrar soluciones que permitan mejorar los índices de calidad y eficiencia del objeto, mediante un enfoque sistémico del mismo.

El **Objeto de Estudio** de la investigación lo constituye el proceso de calcinación.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **Hipótesis**:

Si se establece la nueva carta tecnológica de los parámetros de operación y factores mecánicos que influyen en el proceso de calcinación de la empresa René Ramos Latour, entonces se podrá obtener un óxido con las características físicas y químicas pactadas en el protocolo de trabajo.

Se propone como **Objetivo** determinar la nueva carta tecnológica de los parámetros de operaciones y factores mecánicos del proceso de calcinación para garantizar la calidad del óxido de níquel que se produce en la empresa René Ramos Latour.

Se define plantean como **Objetivos Específicos** del trabajo:

- 1- Analizar el estado del arte sobre la temática a abordar.
- 2- Crear una base de datos del periodo analizado y determinar el comportamiento de los parámetros de operación.
- 3- Realizar los ajustes mecánicos que inciden en el proceso de calcinación.
- 4- Determinar la influencia de los factores mecánicos y parámetros de operaciones que inciden en la calidad del óxido de níquel en la empresa René Ramos Latour.
- 5- Proponer la carta tecnológica sobre la base de un plan de mejoras que permitan el ajuste y cambio de los parámetros que impiden obtener el óxido con las características físicas y químicas establecidas.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes

**Tareas:**

- o Realización del análisis bibliográfico sobre el proceso de calcinación del carbonato básico de níquel que permita el establecimiento del estado actual de la temática.
- o Identificación de las principales variables del proceso, su relación, instrumentos y puntos para su medición.
- o Identificación y evaluación de los principales problemas detectados en el proceso de calcinación.
- o Estudio del procedimiento de cálculo para la determinación de la eficiencia metalúrgica del área de calcinación.
- o Obtención de la carta tecnológica y plan de mejoras.
- o Realización de la valoración técnico-económica del proceso y las afectaciones medioambientales asociadas al mismo.

El **Campo de acción** está dado por las transformaciones físico –mecánicas del óxido de níquel que se obtienen en la planta de calcinación de la empresa René Ramos Latour.

**Metodología de la investigación:**

Obtenida la información se aplica el diseño de investigación tradicional en los aspectos siguientes: Disminuir y estabilizar valores de la humedad del carbonato alimentado al calcinador, estabilizar carga de carbonato por correa alimentado al mismo, búsqueda de la relación óptima petróleo/aire en el quemador, ajuste de la combustión, buscando oxígeno en los gases de salida hasta 1,2 %, movimiento de camisa del quemador, para alejar incidencia directa de la llama sobre el óxido y evitar sobre-metalización del mismo; así como la clasificación y molienda del óxido.

En el trabajo se crea una base de datos del periodo analizado, determinando el comportamiento de los parámetros de operación y se realizan ajustes mecánicos que inciden en el proceso de calcinación, se tomó como referencia los meses de septiembre 2011 hasta marzo 2012 (antes, durante y después de la crisis), para lograr entregar un óxido con las características físicas y químicas solicitadas,

satisfaciendo la demanda del cliente. La situación en el periodo analizado del proceso de calcinación, se caracteriza por las deficiencias mecánicas y tecnológicas siguientes:

- Las limitaciones para bajar la humedad y estabilizar carga del carbonato alimentado al calcinador.
- Las limitaciones para estabilizar parámetros de calidad del óxido de níquel.
- Clasificación y molienda del óxido para satisfacer necesidades del cliente.

Los aportes fundamentales de la investigación están dados por:

**En lo científico:**

- Obtención de una valiosa fuente de información que sirve de base para desarrollar cualquier investigación futura relacionada con la temática.

**En lo económico:**

- Obtención de mayores ingresos por concepto de la calidad del producto final.

**En lo social:**

- Disminución de la contaminación ambiental por concepto de disminución de las partículas finas que se generan durante el proceso de preparación y clasificación.

## **1 MARCO TEÓRICO**

La planta de Calcinación tiene una importancia vital dentro del proceso de obtención del óxido de níquel, en el capítulo se hace un análisis de los principales trabajos realizados en dicha planta en la empresa “René Ramos Latour” y diferentes publicaciones expuestas en la bibliografía especializada. Se aborda sobre el proceso tecnológico utilizado para la calcinación del carbonato básico de níquel y las características de los equipos utilizados, en tal sentido el objetivo es: Establecer el estado del arte del proceso de calcinación del carbonato básico de níquel que se obtiene en la planta de calcinación de la empresa René Ramos Latour.

### **1.1 Fundamentos teóricos**

La empresa “René Ramos Latour” se encuentra ubicada en la península de Lengua de Pájaro, poblado de Nicaro en el municipio de Mayarí, al noreste de la provincia de Holguín. El mineral que se explota es laterítico y se presenta en dos formas Serpentina y Limonita.

Los depósitos minerales de Nicaro fueron parcialmente explotados por el gobierno de Estados Unidos y por La Freeport Sulphur Company y otros. La fábrica fue explotada por el gobierno norteamericano entre los años 1943 a 1947. En 1951, ésta fue rehabilitada y operada por La Nickel Processing Corporation con La National Lead Company y Fomento de Minerales Cubanos, S.A. La producción aumentó hasta 20 186,11 t de níquel más cobalto y una eficiencia metalúrgica de 75,62 % para el níquel en el año 1957.

En 1960 la planta fue nacionalizada pasando a ser una de las fuentes principales de divisa para nuestro país, la producción más alta de la empresa fue en el año 1983 con 21 135 t de níquel más cobalto. En diciembre de 1972 se acordó entre los gobiernos de la URSS y la República de Cuba la colaboración técnica para la

rehabilitación de la fábrica niquelífera de Nicaro. El esquema de lixiviación carbonato – amoniaca del mineral reducido o proceso Carón ha sido estudiado y puesto en la práctica durante muchos años en Cuba, ha funcionado según dicho esquema con resultados satisfactorios en la empresa fundada en los años de la segunda guerra mundial. Es un proceso continuo que se realiza en las condiciones de presión atmosféricas. El equipamiento tecnológico del proceso se distingue por su sencillez y amplia utilización de los aparatos conocidos (hornos de soleras múltiples, espesadores, columnas de destilación, calcinadores, y otros.). Estas características favorecen la creación de una producción con alto nivel de mecanización y automatización.

El esquema amoniaca admite la elaboración de las mezclas de los minerales lateríticos y serpentínicos procedentes de mina Pinares de Mayarí, mientras que otro esquema por ejemplo el utilizado en la empresa Pedro Soto Alba de Moa está basado en la lixiviación ácida permitiendo la separación de la parte laterítica. El complejo minero - metalúrgico de níquel de la fábrica de Nicaro comprende de las siguientes áreas o departamentos:

- Minas
- Planta de preparación del Mineral
- Planta de Hornos de Reducción
- Planta de Lixiviación y cobalto
- Planta de Recuperación y Calcinación
- Planta Eléctrica
- Planta de Tratamiento de Agua
- Talleres Auxiliares

#### **1.1.1 Proceso tecnológico de la planta de Calcinación**

El objetivo del proceso es la calcinación de la torta de carbonato básico de níquel hasta obtener el producto que es el óxido de níquel. El carbonato básico de níquel que se obtiene de la destilación del licor producto en los alambiques de licor, es descargado en los tanques flash con el objetivo de despresurizarlo, luego por medio de bombas es enviado al tanque distribuidor el cual descarga por gravedad la pulpa recibida a los sedimentadores de carbonato, norte y/o sur. En el



sedimentador la pulpa se sedimenta y por medio del mecanismo de agitación de brazos largos y cortos la pulpa enriquecida es llevada hasta el cono o fondo por donde es extraída por medio de bombas y trasladada hasta los filtros rotatorios de tambor al vacío donde existen tres filtros conocidos como filtros Eimcos. Después de los tanques la pulpa descarga a la tasa de los filtros, los cuales están provistos de agitadores para evitar que el carbonato se sedimente en el fondo de la tasa y provoque una avería. A la entrada de cada filtro existe una línea para casos de emergencia, donde el operador puede desviar el flujo de pulpa hacia el tanque de retorno y de este, la pulpa es bombeada de nuevo hacia el sedimentador de carbonato.

De la tasa de los filtros rotatorios la pulpa de carbonato es extraída con ayuda del vacío que producen las bombas, estas bombas garantizan un vacío de -0,6 a -0,9  $\text{kgf/cm}^2$ , con este vacío el carbonato se adhiere al paño del filtro y se reduce la humedad hasta alrededor del 66,0 % de agua, el carbonato es desprendido del paño con ayuda de la cuchilla y cae a una correa transportadora que la descarga a otra reversible y esta lo lleva hasta el sinfín alimentador del horno de calcinación.



Figura1.1 horno de calcinación

En el sinfín alimentador el carbonato de níquel se mezcla con el polvo de recirculación proveniente del electrofiltro.

Los hornos de calcinación tienen dos movimientos rotarios con un pequeño ángulo de inclinación que favorece que el carbonato se desplace en su interior desde el punto de alimentación hasta su descarga pasando por las diferentes zonas del horno. El horno tiene zonas en su interior que presentan funciones específicas, estas son:

**Zona de los gases:** Es la zona donde el carbonato básico de níquel se encuentra con los gases producto de la combustión del petróleo lo que posibilita el intercambio de calor entre ellos, favoreciendo su secado. Los gases producto de la combustión y las reacciones que se producen se extraen del horno mediante la succión que produce el ventilador de tiro, a la vez se arrastra parte del óxido de níquel en polvo producido.

**Zona de las cadenas:** En esta zona se encuentran insertadas las cadenas cuyo objetivo es romper las aglomeraciones de carbonato, aumentar el área de intercambio de calor e impulsar el mineral, con esto se evita además la formación de piedra en el horno. La zona de las cadenas consta de siete aros, los cuales soportan las cadenas y están separados entre sí a una distancia de 1020 mm. El número total de cadenas es de 180 y están constituidas por 70 eslabones cada una, las cadenas están dispuestas de un aro a otro dejando un aro por medio.

**Zona de calcinación:** Después de pasar por las cadenas, el carbonato continúa descendiendo por el interior del calcinador y penetra en el área de calcinación donde concluye el secado del carbonato y se efectúa la descomposición del mismo en óxido de níquel y dióxido de carbono. La energía necesaria para que se produzca la transformación descrita proviene de un quemador de fuel-oil instalado en el extremo de descarga donde el fuel es atomizado con vapor de alta presión y además se adiciona aire primario para lograr la combustión completa.

**Zona de enfriamiento:** El óxido de níquel continúa desplazándose hacia la cámara de enfriamiento, la cual esta formada por una doble pared con duchas exteriores a temperatura ambiente (no hay contacto directo del agua y el óxido de níquel). Al llegar a la descarga del horno, el óxido de níquel se enfría hasta una temperatura de alrededor de 30 a 60 °C el cual es molido y clasificado para luego ser transportado hasta las tolvas de almacenaje para su posterior utilización.

#### **1.1.2 Estado actual de la automatización del proceso de calcinación**

Este es uno de los aspectos más importante para el control de las operaciones, actualmente la planta se encuentra desde el punto de vista de su automatización y control, en una etapa avanzada, donde se contempla la medición y registro de todos los parámetros del proceso, para ello se utiliza el sistema de supervisión y control de procesos EROS.



Figura. 1.2 sistema de supervisión y control de procesos EROS

El sistema de control del proceso de calcinación está formado por un panel general de control, y es donde el operador controla y dirige la operación. Además, tiene una computadora con un sistema de control informativo que es la encargada de realizar los reportes por turnos así como de registrar el comportamiento de las distintas variables del proceso, donde se tiene el perfil de temperatura de las diferentes zonas del horno, el cual es uno de los parámetros más importantes para obtener una buena calidad del óxido de níquel calcinado. Además del perfil de temperatura se controlan otros parámetros que están en la carta tecnológica del proceso.

### 1.1.3 Requisitos del cliente acordados en el protocolo de trabajo

La investigación conlleva al ajuste de los parámetros de las operaciones del proceso de calcinación con el fin de eliminar algunas no conformidades con el óxido de níquel presentadas por el cliente, por lo que fue necesario realizar un

proceso de mejoras y cambios de parámetros en el área de calcinación, para entregar un óxido con las características físicas y químicas solicitadas, satisfaciendo las necesidades del cliente. Estos requisitos se muestran en las tablas 1.1 y 1.2 del documento protocolo de trabajo entre ambas empresas.

Tabla1.1 Especificaciones de calidad química del óxido de níquel

Elementos, %	Valores límites,%	Métodos de Ensayos
Ni	75,5 a 77,5	NC 621. 1 2008
Co	0,70 máx.	NC 621. 2 2008
Fe	0,50 máx.	NC 621. 2 2008
S	0,03 máx.	NC 621. 3 2008
C	0,05 máx.	NC 621. 3 2008
Cu	0,01 máx.	NC 621. 2 2008

Tabla1.2 Especificaciones de calidad física del óxido de níquel

Tamiz, mm	Retenido, %	NEIB 03-07-1
+ 2,36	50 mín.	NEIB 03-07-1
2,36-0,149	20 mín.	NEIB 03-07-1
0,149-0,074	5 mín.	NEIB 03-07-1
- 0,074	2 mín.	NEIB 03-07-1

## 1.2 Antecedentes

Diversas son las investigaciones que se han desarrollado con el objetivo de mejorar el proceso de calcinación durante la obtención del óxido de níquel.

Rodríguez (1970) investiga sobre la modelación matemática del horno de calcinación con el objetivo de determinar y mejorar la influencia de las distintas variables del proceso sobre la calidad del óxido de níquel, pero el avance técnico y práctico del momento no le brinda muchas posibilidades dejando sin definir un modelo práctico para la operación de los calcinadores.

Milanes (1973) desarrolla una investigación sobre la influencia de la relación petróleo aire en la calidad del óxido de níquel, en las pruebas realizadas se demuestra como influyen las variaciones de estos parámetros y la importancia de esta relación, pero no se analizó la influencia de los demás parámetros de operación en la calidad del óxido de níquel.

Font (1975) realiza una investigación donde analiza los parámetros que influyen de forma negativa sobre la calidad del óxido de níquel, hace una recopilación de los datos de la operación del período de la investigación, el trabajo aporta una serie de datos e informaciones que sirven de base para establecer las normas de operación en el calcinador 1 en la empresa René Ramos Latour. En el trabajo solo se hace un análisis de los factores que influyen de forma negativa sobre la calidad del óxido pero la información que se brinda sirve para tomar decisiones por parte de la planta de calcinación que permite mejorar la calidad de dicho óxido.

Davinson (1981) realiza una descripción matemática de procesos semejantes al de la calcinación del carbonato básico de níquel donde abordan aspectos relacionados con los parámetros que influyen en el proceso de obtención del producto, los resultados que muestran son de gran utilidad para la toma de decisiones, pero en este estudio no tienen en cuenta la dependencia de los parámetros y variables del calcinador, tanto del tiempo como de la posición, lo que hipotéticamente puede responder con más acierto a la realidad de los hornos rotatorios, los cuales en su mayoría poseen altas relaciones largo/diámetro.

Romero en 1991 realiza una investigación donde determina el calor de disociación del carbonato básico de níquel en el proceso de calcinación, en este caso los resultados sirven para determinar la calidad del óxido ya que este es un parámetro que se mide en los calcinadores y en dependencia del cual el producto que se

obtiene puede ser más o menos granulado, aunque los resultados son satisfactorios solo se hizo el estudio para evaluar el calor de disociación y no llega a tratar sobre el sistema de molienda y clasificación del óxido de níquel.

Chang (1997) realizó una investigación a escala industrial para establecer una metodología de balance energético, que permitió determinar la nueva norma de consumo de combustible, verificar la relación de masa CBN/NiS previamente establecida y diagnosticar el proceso energético en el horno de tambor rotatorio, con los resultados demuestra que la metodología de balance empleada es válida y que la relación másica de CBN/NiS = 3/1 es óptima, el estudio se limitó a la parte energética del proceso, que fueron satisfactorias pero estos resultados no se ajustan al proceso de Nicaro ya que no se adiciona sulfuro de níquel al calcinador.

Domínguez (1977) en su investigación sobre la automatización del horno de calcinación buscando mejorar la operación para garantizar que los parámetros y variables del proceso sean precisos, no aborda sobre la composición físico-química del óxido de níquel.

Falcón (1977) realiza un estudio sobre la automatización de los calcinadores para lograr la confiabilidad en las mediciones de las variables y mejorar la operación del proceso, pero deja la calidad del óxido de níquel en segundo plano desde el punto de vista de la descripción matemática de procesos semejantes al de calcinación del carbonato básico de níquel.

Fernández (1990) desarrolla una investigación para mejorar la calidad del óxido de níquel donde se analiza la influencia de los distintos parámetros de operación y la influencia del óxido de níquel sobre la productividad de la máquina de sinter, pero se refieren a las propiedades físicas y no investiga sobre las propiedades químicas.

Columbié (1992) en estudios realizados muestra la clasificación de los parámetros que intervienen en el proceso desde el punto de vista del control automático, se incluye además la modelación matemática y los resultados obtenidos, aunque no profundiza en la influencia de la operación en la calidad del producto y se limita a esta parte del proceso.

Martín (1992) presenta un estudio sobre la disminución del níquel metálico del óxido en polvo, donde se confirma que la calcinación oxidante permite obtener un óxido en polvo de calidad, como muestra el trabajo, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos son relevante ya que aportan una base de datos del comportamiento y especificaciones de calidad, aunque estas normas no se ajustan a las actuales sirven como base a otros trabajos sobre la temática.

Chang (1997) desarrolla la metodología para los cálculos de los procesos en hornos metalúrgicos, explica y realiza los pasos a seguir para determinar la carga, los consumos de combustible y las pérdidas energéticas en el proceso, esta investigación aportó al proceso de calcinación un ajuste en la carga alimentada y un aprovechamiento en el consumo de combustible.

Eich en investigaciones realizadas en 1997 señala que la modelación matemática es una herramienta indispensable en el diseño y operación de las plantas químicas, ofreciendo un método numérico para la solución de grandes sistemas de ecuaciones derivados de la modelación de una planta de producción, pero es un modelo general y no profundiza en el proceso de calcinación en particular.

Ramírez (1998) presenta los experimentos a escala de simulación del control borroso de un horno de calcinación de níquel, con el objetivo de obtener conclusiones preliminares para la posible implementación del algoritmo en un sistema de supervisión y control en tiempo real, como se aprecia en las simulaciones realizadas, la respuesta del sistema cuando se emplea el controlador borroso es más lenta y presenta error a estado estacionario, estas conclusiones del autor son acertadas aunque se refiere solamente al control del proceso y no a la calidad del producto.

Columbié (2000) en su investigación recoge los resultados relacionados con la modelación matemática del proceso de calcinación del carbonato básico de níquel en el horno tubular rotatorio, se exponen las ecuaciones que conforman el modelo y la base científica sobre la cual fueron obtenidas, la modelación se basa principalmente en el planteamiento de las ecuaciones del balance material y energético en forma dinámica, que lleva a la obtención de un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, las cuales se complementan con



otras ecuaciones algebraicas. Aunque establecen la relación entre los diferentes coeficientes y parámetros físicos no profundiza en la calidad del producto final.

Chang (2003) realiza una investigación a escala industrial para establecer una metodología de balance energético que permitiera determinar la nueva norma de consumo de combustible, verificar la relación de masa CBN/NiS previamente establecida y diagnosticar el proceso energético en el horno de tambor rotatorio industrial, aborda como ajustar el consumo de petróleo debido al aprovechamiento de las reacciones exotérmicas dentro del calcinador, en este trabajo solo se abordan los aspectos relacionados con las normas de consumo y la energía, sin tener en cuenta las afectaciones a la calidad del producto final.

Ramírez (2005) hace la caracterización de la pulpa de carbonato de níquel sedimentada obtenida de la destilación de la solución producto de la lixiviación carbonato amoniacal, donde se recomendó emplear el método de las densidades, por ser el más sencillo, pero los autores se limitaron solo a la operación de sedimentación y no llegaron a analizar la influencia del carbonato básico de níquel en el calcinador.

Peña (2006) investiga sobre la necesidad de conocer la influencia que sobre la granulometría del óxido tiene la composición química de los productos y los parámetros en la operación de los procesos antes de la calcinación, en el trabajo se realiza un estudio estadístico con el fin de determinar la influencia de la composición físico-química del carbonato básico de níquel, de los parámetros de operación en la planta de Recuperación de Amoniaco y del horno de calcinación, sobre la granulometría del óxido de níquel, en el estudio se clasifica la granulometría de dicho óxido en clases de comportamientos y se caracterizó por sus variables, los autores desarrollaron el trabajo con vista a mejorar la eficiencia del proceso de sinterización.

García en el 2012 realiza una investigación encaminada a determinar la eficiencia de la planta de calcinación y sinterización donde tuvo en cuenta los parámetros de operación de cada una de las áreas y la influencia del carbonato básico de níquel que se obtiene en el área de calcinación en la calidad del óxido y de este en el

producto final, a pesar de determinar la eficiencia de la planta, el trabajo no contempló los factores mecánicos que afectan la calidad de dicho óxido.

### **Conclusiones del capítulo**

- 1) Se realizó el análisis bibliográfico sobre el proceso de calcinación del carbonato básico de níquel, el cual permitió el establecimiento del estado actual de la temática.
- 2) Se obtuvo la información necesaria para seleccionar los parámetros de estudio.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Materiales**

Para la investigación se utilizó el óxido de níquel que se obtiene en los hornos de calcinación de la empresa René Ramos Latour, con el cual se hizo la evaluación de la calidad.

Se utilizó la Carta Tecnológica actual del Proceso del Calcinador 1 que es donde se exponen los parámetros de trabajo del equipo.

Carta Tecnológica del Proceso Calcinador 1

- Temperatura No 3 (Zona de calcinación) rango 750 a 850 °C
- Temperatura No 4 (Zona de las cadenas) rango 600 a 700 °C
- Temperatura No 5 (Zona de los gases) rango 300 a 380 °C
- Flujo de petróleo: 70 L /t carbonato
- Presión del aire primario desde 0,0 a 160 mm en columna de agua
- Relación petróleo / aire primario: 11 a 15
- Tiro: 0,0 a -25,0 mm en columna de agua
- Presión del vapor con respecto a la presión de petróleo en quemador: 1,0 a 1,5 kgf /cm<sup>2</sup> de diferencia.
- Composición del oxígeno de 0,8 a 2,5 %
- Amperaje del motor del horno: de 14 a 19 A
- Alimentación de carbonato de níquel al horno: de 4 a 10 ton/h
- No deben efectuarse cambios en la carga entre hora de +/- 2 ton/h
- Humedad de carbono alimentado: 66,0 %

- Revolución por hora del horno 45 rpm
- Densidad del óxido producido 2,85 a 3,10 g/cm<sup>3</sup>

Humedad del carbonato

H <sub>2</sub> O	66,0 %
Fe	0,15 %

Calidad del óxido de níquel obtenido

Ni	76,0 %
Co	1,20 %
Fe	0,70 %
S	0,03 %

## 2.2 Equipamiento

El equipo que se utilizó en el desarrollo del trabajo fue el horno de calcinación 1 de la empresa René Ramos Latour, que se muestra en la figura 2.1

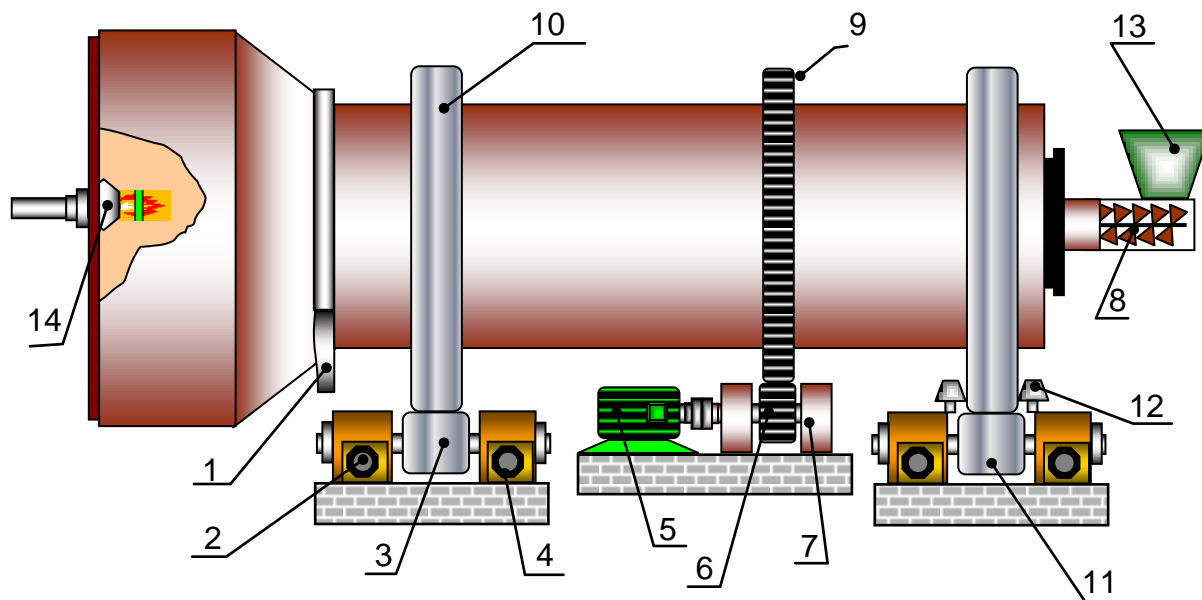


Figura 2.1 Esquema del Calcinador 1 de la empresa René Ramos Latour

Leyenda: 1- Descarga; 2- Tornillo regulador; 3- Rodillo inferior; 4- Pedestal de regulación; 5- Motor eléctrico; 6- Piñón; 7- Chumacera; 8- Sinfín de alimentación de carbonato; 9- Catalina; 10- Llanta; 11- Rodillo superior vertical; 12- Rodillo Lateral; 13- Tolva de alimentación; 14- Quemador

### **2.3 Metodología empleada**

Obtenida la información se aplica el diseño de investigación tradicional en los aspectos siguientes:

Disminuir y estabilizar valores de la humedad del carbonato alimentado al calcinador.

Estabilizar carga de carbonato por correa alimentado al mismo.

Búsqueda de la relación óptima petróleo/aire en el quemador.

Ajuste de la combustión, buscando oxígeno en los gases de salida hasta 1,2 %.

Movimiento de camisa del quemador, para alejar incidencia directa de la llama sobre el óxido y evitar sobre-metalización del mismo.

Clasificación y molienda del óxido.

En el trabajo se crea una base de datos del periodo analizado, determinando el comportamiento de los parámetros de operación y se realizan ajustes mecánicos que inciden en el proceso de calcinación, se tomó como referencia los meses de Septiembre 2011 hasta Marzo 2012 (antes, durante y después de la crisis), para lograr entregar un óxido con las características físicas y químicas solicitadas. La situación en el periodo analizado del proceso de calcinación, se caracteriza por las deficiencias mecánicas y tecnológicas siguientes:

- Las limitaciones para bajar la humedad y estabilizar carga del carbonato alimentado al calcinador.
- Las limitaciones para estabilizar parámetros de calidad del óxido de níquel.
- Clasificación y molienda del óxido para satisfacer necesidades del cliente.

### **2.3.1 Determinación del comportamiento de los parámetros de operación y ajustes mecánicos**

Para determinar el comportamiento de los parámetros de operación y realizar los ajustes mecánicos que influyen directamente en la calidad del óxido de níquel en el área de calcinación se aplica una metodología de cálculo y se crea una base de datos con el objetivo de proponer un plan de mejoras que permitan obtener el óxido con las características físicas y químicas necesarias.

La identificación de los parámetros se realizó con los datos obtenidos en el período evaluado donde se muestran los que caracterizan el proceso de calcinación, se utilizó la medición continua a través del sistema de supervisión y control de la empresa (EROS).

Se comenzó por la humedad del carbonato que había alcanzado valores de hasta 71 % y valores de níquel en el licor producto menores a 7,5 g/L. La densidad de trabajo en el fondo del sedimentador por debajo de la norma, la temperatura de la pulpa a filtrar por debajo de 78 °C, en la sección de filtrado se opera con uno ó dos filtros, la presión de vacío en el sistema es insuficiente -0,5 kgf/cm<sup>2</sup>. En la operación del calcinador se trabaja con distintas relaciones petróleo/aire, desde la 11 hasta la 15 en el quemador.

El tiro inducido se trabajaba en déficit lo que afectaba la calidad del óxido, este parámetro proporciona un incremento de oxígeno que favorece a la combustión completa del petróleo a la vez que extrae los gases producidos por la combustión y los que desprenden el carbonato al ser sometido al proceso físico-químico.

Los análisis de los gases de salida del calcinador se estaban realizando pero no se estaba cumpliendo con estos parámetros, los gases de salida se trabajaban por debajo de 1,0 % de oxígeno, la acción de la llama incidía directa y negativamente sobre la cama de óxido, metalizando y concentrando el níquel en el mismo, sobre el 78,00 %

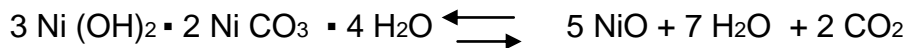
### 2.3.2 Definición del modelo teórico para el proceso de calcinación

Para definir el modelo teórico del proceso de calcinación se establecen las variables de entrada, de salida y las perturbaciones propias del proceso, se exponen las ecuaciones generales que rigen el balance de materiales del área de calcinación y se obtiene el modelo siguiente:

$$Ni = (t \text{ CBN alimentado} \cdot \%Ni \text{ CBN}) - (100 - \%H_2O \text{ CBN}) / 100$$

El carbonato básico de níquel entra al horno con una humedad de 66,0 % de agua aproximadamente, y una masa total de carbonato básico de níquel de 49,6 %.

El producto del carbonato básico de níquel se determina por la reacción de su descomposición.



### 2.3.3 Cálculo para la carga correcta de carbonato a alimentar al calcinador

Para realizar el cálculo de la carga correcta de carbonato a alimentar al calcinador y el balance de masa se parte del destilado por hora, concentración de níquel en el licor producto (LP), humedad del carbonato y dos factores numéricos que se obtienen de llevar los g/L a kg/m<sup>3</sup>, cálculo de la cantidad de carbonato base húmedo y seco.

$$(Ni \text{ m}^3/\text{h} (\text{destilado}) \cdot [Ni] \text{ g/L (LP)} \cdot 2) / ((100 - \% H_2O) \cdot 10) = Ni \text{ t (húmeda)}$$

Cálculo de carga de carbonato básico de níquel al calcinador para obtener las toneladas de óxido de níquel:

$$((t \text{ CBN} \cdot \% Ni \text{ en CBN}) \cdot (100 - \% H_2O)) / 100 = Ni \text{ t (en el óxido)}$$

### 2.3.4 Identificación de los problemas a resolver en la planta de calcinación

Para identificar los problemas presentados y que se debían resolver en la planta de calcinación para garantizar la calidad del óxido, se utilizó el diagrama de causa-efecto o de Ishikawa, el que se muestra en la figura 2.2.





- Carga al calcinador
- Problemas mecánicos
- Problemas de instrumentación y automática
- Muestreo y control operativo

Las causas secundarias (sub-causas) se representan mediante flechas pequeñas que surgen de las causas fundamentales.

Durante el tiempo de trabajo de ajuste de parámetros y revisión de la operación, se fue diseñando una nueva carta tecnológica para lograr los objetivos planteados.

### **2.3.5 Periodo de investigación y medidas tomadas para mejorar el comportamiento del proceso**

Con el fin de eliminar algunas no conformidades en el óxido de níquel, se realizó por el personal técnico de la planta y el tecnólogo de procesos del área técnica de la empresa que atiende la planta, una investigación para desarrollar un plan de mejoras en los parámetros en el área de calcinación. La investigación comprendió el período de septiembre 2011 hasta marzo 2012. Para lograr y llevar a cabo los cambios en los parámetros de operación y ajustes mecánicos que influyen directamente en el proceso de calcinación, se trabajó en seis aspectos fundamentales.

- Disminuir y estabilizar valores de la humedad del carbonato alimentado al calcinador.
- Estabilizar carga de carbonato por correa alimentado al calcinador.
- Búsqueda de la relación óptima petróleo/aire en el quemador.
- Ajuste de la combustión, para lograr un contenido de oxígeno en los gases hasta 1,2 %.
- Movimiento de la camisa del quemador, para evitar incidencia directa de la llama sobre el óxido y evitar sobre-metalización del mismo.
- Clasificación y molienda del óxido.

Se comenzó por la humedad del carbonato que había alcanzado valores de hasta 71 % y valores de níquel en el licor producto menores a 7,5 g/L. La densidad de trabajo en el fondo del sedimentador por debajo de la norma, la temperatura de la pulpa a filtrar por debajo de 78 °C, en la sección de filtrado se opera con uno o

dos filtros, la presión de vacío en el sistema es insuficiente en valores de hasta - 0,5 kgf/cm<sup>2</sup>. En la operación del calcinador se trabaja con distintas relaciones petróleo/aire, desde 11 hasta la 15 en el quemador. El tiro inducido se trabajaba en déficit lo que afecta la calidad del óxido. Este parámetro proporciona un incremento de oxígeno que favorece a la combustión completa del petróleo a la vez que extrae los gases producidos por la combustión y los que desprenden el carbonato al ser sometido al proceso físico-químico. Los análisis de los gases de salida del calcinador se estaban realizando pero no se estaba cumpliendo con estos parámetros., los gases de salida se trabajaban por debajo de 1,0 % de oxígeno, la acción de la llama incidía directa y negativamente sobre la cama de óxido, metalizando y concentrando el níquel en el mismo, sobre el 78 %.

### **2.3.6 Medidas tomadas para disminuir y estabilizar valores de humedad del carbonato alimentado al calcinador**

- a) Mantener valores de níquel en el licor producto mayor a 7,5 g/L.
- b) La presión de vapor para destilar debe ser mayor o igual a 0,78 kgf/cm<sup>2</sup>
- c) Control y supervisión de la destilación, operando los alambiques con productividad de 80 m<sup>3</sup>/h o más. Cuando no haya nivel de licor suficiente para operar con dos alambiques dejar uno con licor y mantener otro en agua y vapor para que la pulpa no se enfríe. Al sobre destilar se afecta la calidad del carbonato y la filtración.
- d) Cumplir con los valores de amoníaco en el quinto anillo según carta extraordinaria para valores altos de azufre en el licor producto, evitando así que los alambiques descarguen valores altos de níquel total y disuelto y afecten la sedimentación, características del carbonato y la filtración del mismo. Evitar alta concentración de amoníaco en la descarga, solo lo que indique la carta extraordinaria, evitando una re-dilución del níquel.
- e) El bombeo de pulpa de carbonato desde el fondo del sedimentador hacia los filtros se debe hacer a través de dos líneas y una sola bomba de carbonato.
- f) La densidad de trabajo en el fondo del sedimentador debe estar de 1030 a 1060 g/L por pesada, por altura de sólido en probeta sería 170 a 190 mL.

- g) En la operación de los filtros se debe retornar lo menos posible, en caso de enfriarse la pulpa se hará esta operación para lograr temperatura al mezclar la pulpa del sedimentador con la que llega de la destilación, pero esto se hará por un breve tiempo.
- h) En la sección de filtrado se operará siempre con dos ó tres filtros, nunca con uno; la altura del cake baja evitando torta gruesa y así obtener un carbonato más seco a la descarga de cada filtro. La presión de vacío en las bombas debe estar de -0,7 a -0,9 kgf/cm<sup>2</sup>, así como la de filtrado para cada filtro.
- i) La temperatura de la pulpa de carbonato a filtrar debe estar en valores de 80 a 85 °C, en su defecto lograr al menos 78 °C, según visualización en sistema EROS en panel de control del horno de calcinación.
- j) La planta debe confeccionar un cronograma de limpieza y mantenimiento para los filtros, donde se enuncien las tareas a realizar (si es necesario cambiarle el paño, ponerles sogas, ajuste de las canales inter mallas, revisión interior del tambor, cambio de cuchillas raspadoras o escrepas) sacando dos filtros alternos semanalmente para esta actividad.

### **2.3.7 Medidas para estabilizar la carga de carbonato por correa alimentado al calcinador**

Las medidas a tomar para lograr esta operación son las mismas que para disminuir y estabilizar los valores de humedad, además trabajar y adicionar carga al calcinador por balance.

### **2.3.8 Búsqueda de la relación adecuada de petróleo/aire en el quemador**

Para lograr una relación adecuada de petróleo/aire se establecieron los elementos siguientes:

- a) Relación del flujo de petróleo con respecto a la presión del aire primario de 11 a 13.
- b) El Tiro desde 0,0 a -18,5 mm en columna de agua.
- c) Presión del vapor que entra al quemador con respecto a la presión de petróleo que entra al mismo de 1,0 a 1,5 kgf /cm<sup>2</sup> de diferencia.

### 2.3.9 Ajuste de la combustión, logrando contenido de oxígeno en los gases

- a) Se trabajó en el ajuste de la galleta tratando de obtener oxígeno en los gases de salida hasta 1,2 %.
- b) Se trabajó en hermetizar el sistema para aumentar y mejorar la succión del ventilador de tiro.

### 2.3.10 Movimiento de la camisa del quemador

Se realizó el tramado de la camisa del quemador, para disminuir la incidencia directa de la llama sobre el óxido y evitar sobre-metalización del mismo. Se procedió a apagar y enfriar el calcinador para realizar esta actividad en el interior del calcinador, separando 200 mm la camisa del quemador de la pared, al mismo tiempo se subió la camisa a 200 mm con respecto al piso por donde se desplaza el óxido.

En las figuras 2.3 y 2.4 se muestran los movimientos realizados en el tramado de la camisa del quemador.

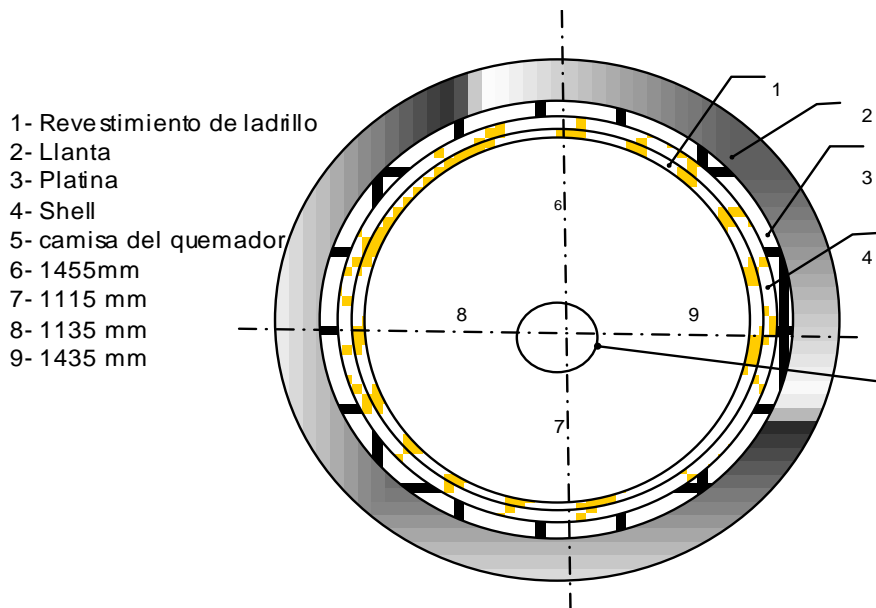


Figura 2.3 Esquema del tramado original

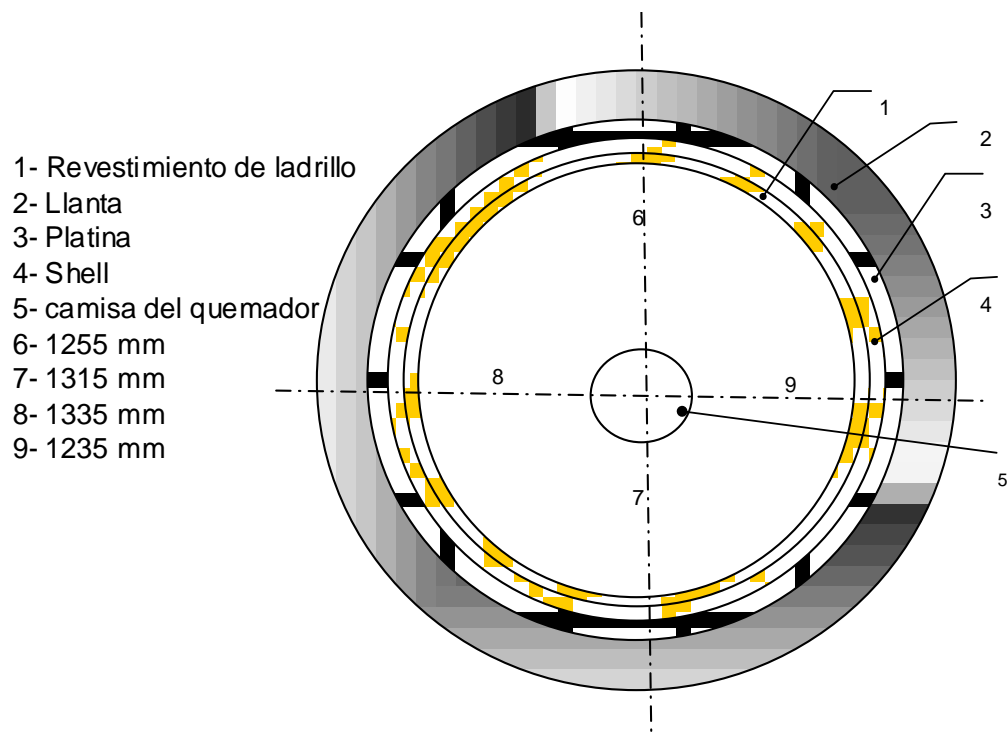


Figura 2.4 Esquema del tramado realizado

### **2.3.11 Clasificación y molienda del óxido**

En la clasificación y molienda del óxido se trabajó para satisfacer las exigencias del cliente pactadas en el protocolo, las que se muestran en la tabla 1.2 del capítulo 1.

La instalación de molienda y clasificación del óxido de níquel se modificó para obtener una granulometría en el óxido tal como lo solicitó el cliente, cambiando malla tamizadora en la zaranda o criba vibratoria, de 6,35 mm a una de 5,0 mm garantizando una granulometría menos gruesa cumpliendo con el protocolo establecido.

Un material con una granulometría por debajo de las especificaciones de calidad, afectaría al proceso de sinterización. La sinterización se lleva a cabo logrando la combustión del carbón, para ello es necesaria la penetración de aire a través de la mezcla y se logra utilizando equipos de succión. Sin embargo, si la mezcla no es lo suficientemente permeable como para lograr que penetre la cantidad de aire necesaria, el carbón no combustiona y la calidad del sínter se ve afectada en su granulometría y resistencia, o sea, la mala combustión genera un sínter fácilmente degradable, así como, mayor cantidad de fino y polvo que hacen mas ineficiente el proceso.

La permeabilidad de la mezcla depende entre otros factores de la granulometría del óxido, los óxidos que tienen un porcentaje alto de granulometrías muy finas provocan mezclas impermeables, de aquí la importancia que tiene mantener bajo control este parámetro en el proceso.

El óxido que descarga el calcinador pasa a un sistema de molienda primaria y luego es descargado en un elevador que alimenta una criba vibratoria, donde el óxido retenido en la parte superior de la malla (partículas gruesas) se recircula a la molienda primaria y el que pasa por la criba es almacenado en tolvas para luego ser muestreado y envasado.

A continuación en la figura 2.5 se muestra el flujo tecnológico de calcinación, molienda, clasificación y almacenaje.

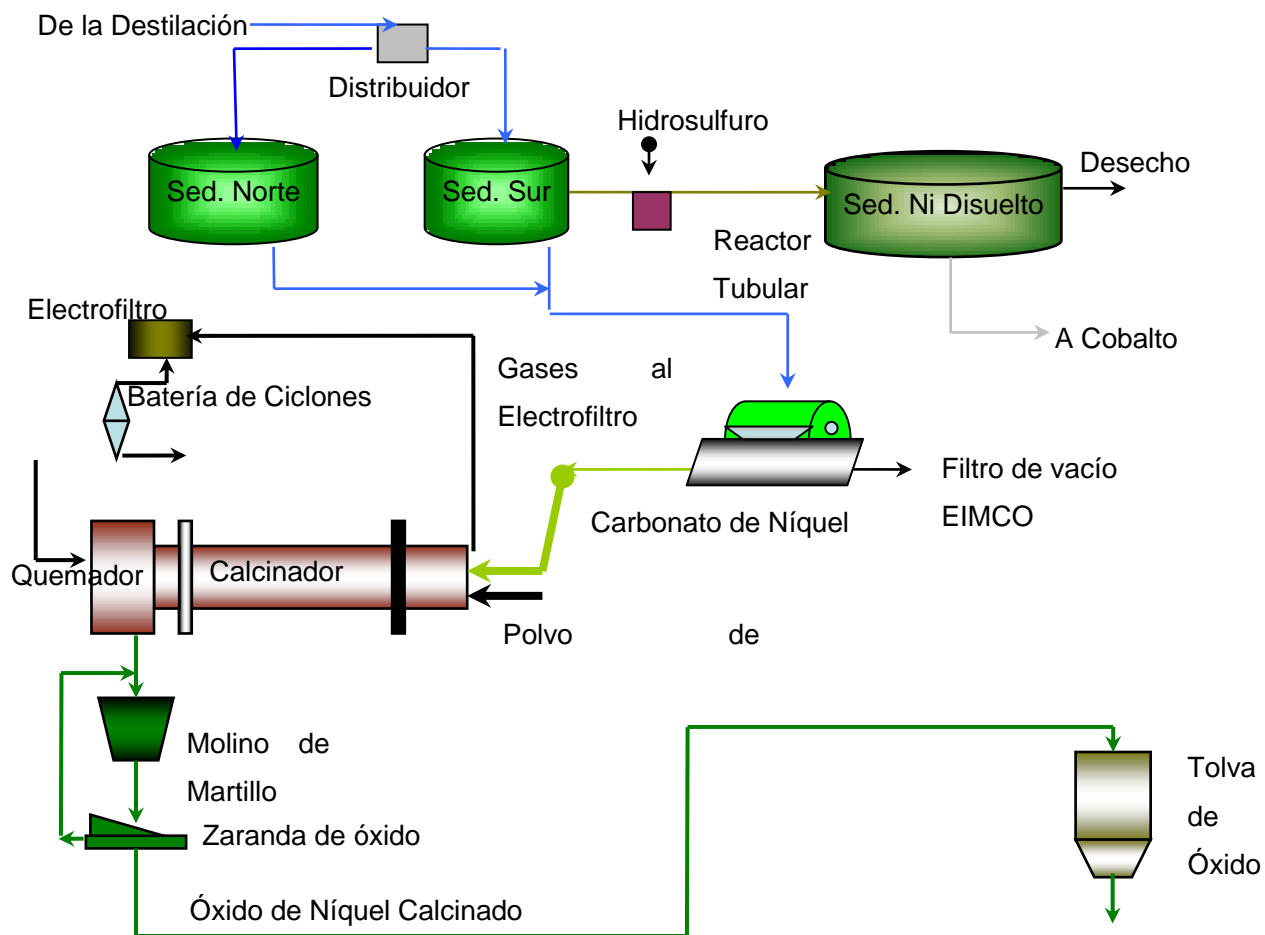


Figura 2.5 flujo tecnológico del área de calcinación

## **2.4 Método de muestreo y análisis**

### **2.4.1 Método de muestreo y análisis del carbonato básico de níquel, muestra (N – 65)**

La muestra estará ubicada al final de la correa transportadora de carbonato básico de níquel.

Se utilizara una cuchara metálica: De forma rectangular que se emplea para tomar los incrementos y que tendrá las dimensiones siguientes 0,08 m x 0,04 m x 0,02 m, se envasara en un pomo plástico con cierre hermético de 1000 mL de capacidad. Todos los utensilios utilizados en el muestreo estarán completamente limpios al iniciarse el muestreo.

La cantidad de muestra a tomar será de 0,100 kg formando un compósito de 0,600 kg. Se tomará una muestra puntual cada dos horas para formar un compósito de 12 horas.

La muestra compósito se traslada al Laboratorio Central para su análisis.

- Determinación de la humedad. Método Gravimétrico

La muestra de ensayo se seca a la temperatura de 105 a 110 °C hasta peso constante. El contenido de humedad viene dado por la diferencia entre los pesos de la muestra antes y después del secado.

Se pesan 10 g  $\pm$  0.0002 g de la muestra en un pesa filtro de cristal con tapa esmerilada, previamente tapado y se coloca abierto en una estufa a 105 a 110 °C durante dos horas.

Se saca de la estufa, se cierra el pesa filtro y se introduce en una desecadora que contenga una sustancia higroscópica adecuada, destapándola de nuevo completamente y se deja enfriar.

Se pesa y se vuelve a colocar en la estufa por 30 minutos, repitiéndose estas operaciones hasta alcanzar peso constante.

Se extraen 1g para el análisis químico de hierro.

- Método para calcular la humedad

La humedad (H<sub>2</sub>O) se calcula por la fórmula siguiente

$$\% \text{ H}_2\text{O} = \frac{(m1 - m2)}{m1} * 100$$



Donde:

$m_1$  ----- peso de la muestra tomada en gramos

$m_2$  ----- peso de la muestra seca

El resultado se da aproximado hasta la centésima.

#### **2.4.2 Norma de muestreo del óxido de níquel calcinado NEIB 03-07-11**

El objetivo de la norma es establecer el método de muestreo de óxido de níquel calcinado para obtener una muestra representativa del lote, mediante la cual se determinan las características del producto.

De la muestra final se toman dos muestras de 100 g, una para análisis químico y una para el cliente.

La muestra para el cliente será envasada en un frasco plástico debidamente sellado e identificado con los siguientes datos:

- Código.
- Número del lote.
- Logotipo de la Empresa.

La muestra para el cliente es entregada por el muestrero al controlador de producto final y la muestra para análisis químico es entregada al analista en el cuarto de producto final.

#### **2.4.3 Método para la determinación de los componentes del óxido de Níquel** NC 621-1-208 Óxido de Níquel + Cobalto parte I “Determinación de Níquel y Cobalto total”, método electrogravimétrico.

La muestra de ensayo se disuelve en presencia de ácido sulfúrico diluido y clorato de potasio, las sales resultantes se redisuelven con agua. El hierro y el manganeso se separan por filtración previa adición de hidróxido de amonio y persulfato de amonio. La descomposición del residuo insoluble se realiza por fusión empleando piro sulfato de potasio o de sodio.

La deposición electrolítica del níquel se realiza empleando un electrodo de malla de platino-iridio, determinando la masa antes y después de la electrólisis.

#### **2.4.4 Método de determinación de Cobalto, Hierro, Zinc, y Manganeso**

NC 621-2-2011 Óxido de Níquel + Cobalto Parte 2: “Determinación de Cobalto, Hierro, Zinc, y Manganeso”, método absorción atómica.

El método para determinar el contenido de cobalto, hierro, cobre y zinc en los óxidos de níquel tiene como principio disolver las muestras en una mezcla de ácido clorhídrico, nítrico y perclórico, se diluye a un volumen determinado, y posteriormente se mide la absorbancia en un espectrofotómetro de absorción atómica, al comparar las mediciones contra una curva de calibración de concentración conocida para cada elemento en particular.

#### **2.4.5 Método para la determinación de azufre combustible**

NC 261-3-2011 Óxido de Níquel + Cobalto Parte 2: “Determinación de Azufre y Carbonato.

El método se basa en la combustión de la muestra en presencia de oxígeno, empleando un acelerador, en un horno de alta frecuencia, dando lugar a la formación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), logrando la determinación cuantitativa de estos componentes a través del analizador infrarrojo, en correspondencia con el peso de la muestra y los factores de calibración.

Nota: El flujo ininterrumpido de oxígeno garantiza la limpieza del sistema, evitando además la ocurrencia de interferencias o envenenamiento de los sensores u otras partes del analizador.

#### **Conclusiones del capítulo**

- ❖ Quedó establecido el procedimiento de operación y cálculo para la eficiencia del proceso de calcinación.
- ❖ Mediante el gráfico causa-efecto de Ishikawa se identifican las causas generales fundamentales y las secundarias que originan el problema principal, los problemas de calidad del óxido de níquel; sirviéndonos como guía para solucionar el problema.
- ❖ Para la realización de los cambios de parámetros mecánicos y de operación se utilizó el método de investigación tradicional.

### 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo del capítulo es analizar los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación, para lo cual se establece una comparación con trabajos precedentes, todos sobre la base de la mejora de los parámetros del proceso de calcinación y con ello la calidad del producto.

#### 3.1 Resultados de los parámetros en los meses analizados

En la tabla 3.1 se recogen los resultados de las distintas variables y parámetros de la operación del calcinador 1 de la empresa René Ramos Latour durante los siete meses de operación evaluados.

Tabla 3.1 promedio de los datos de operación en los meses evaluados

Meses	Densidad	Humedad	Temperatura		Presión		Aire	Relación	Tiro	Alimenta ción	Gases		Consumo	Densidad
	CBN	CBN	4	5	petróleo	vapor	primario	Petróleo/ aire	mm	CBN			Fuel	óxido
	g/L	%	°C	°C	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>	mmH <sub>2</sub> O		H <sub>2</sub> O	t	%, CO <sub>2</sub>	%, O <sub>2</sub>	L/h	g/cm <sup>3</sup>
S	86	67,8	587	291	4,1	5,3	29	13,3	7,5	6	15,4	0,9	380	2,83
O	113	69,6	620	296	3,3	4,6	28	13,5	7,0	5	15,5	0,7	374	2,84
N	105	68,7	616	309	4,0	5,2	33	13,6	8,4	5	15,4	1,1	455	2,83
D	171	68,3	606	287	2,8	4,4	36	14,5	11,6	6	15,4	1,1	474	2,85
E	157	67,5	595	269	2,8	4,3	38	11,7	10,5	7	15,4	1,1	441	2,85
F	187	68,4	620	297	4,3	5,5	38	12,1	11,3	7	15,5	1,2	457	2,84
M	163	67,4	614	297	4,5	5,6	38	11,7	10,7	7	15,4	1,1	445	2,77
Prom	140	68,2	608	292	3,7	5,0	34	12,9	9,6	6	15,4	1,0	432	2,83

Se muestra un promedio de cada mes de las variables en estudio, donde se observa que la densidad del CBN aumenta progresivamente a partir del mes de diciembre permitiendo mejorar y estabilizar la carga por correa al calcinador en valores de 6,0 y 7,0 t/h, la humedad del CBN disminuye a valores de 67,40 % permitiendo lograr una mejor operación, al evitar tener que realizar movimientos en la automática que suministra el fuel-oil (petróleo) al calcinador y con el consiguiente ahorro en el consumo del mismo.

La temperatura T-4 (zona próxima a las cadenas) se mantiene en rango establecido, cercana a los 600 °C. La diferencia de presión de vapor/petróleo en el quemador estabiliza valores de 1,0 a 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> permitiendo una correcta atomización del fuel, la relación petróleo/aire se fue ajustando para lograr la relación óptima entre 11,0 y 12,0 para evitar una sobre metalización del óxido al trabajar con una atmósfera oxidante y no reductora, logrando disminuir el % de níquel contenido en los lotes de 79,07 % a 77,28 %.

En esto influyó de forma determinante el movimiento realizado a la camisa del quemador, que permitió alejar la llama y su incidencia sobre la cama de óxido que viaja dentro del calcinador evitando la sobre metalización del mismo. La composición de los gases de salida del calcinador en cuanto al elemento oxígeno se logra aumentar y estabilizar a valores iguales o por encima de 1,0 % producto a operar el calcinador en su combustión de forma desahogada y no apretada, entendiéndose esto como un ligero exceso de aire u oxígeno, propiciando una llama de color entre naranja y amarilla brillante oxidante. La densidad del producto óxido de níquel se disminuye a valores de 2,77 g/cm<sup>3</sup>, propiciando con ello una mejor sinterización del óxido en la empresa Ernesto Che Guevara.

Estos datos operativos es el resultado promedio de los meses analizados, los cuales se obtuvieron de la base de datos de la planta y que se muestran en las tablas de la 1 a la 7, que se anexan.

En la tabla 3.2 se relacionan los resultados de las características químicas existente en los lotes de óxido de níquel que se obtienen en el calcinador 1 de la empresa René Ramos Latour.

Tabla 3.2 resultados de los análisis químicos de los lotes obtenidos, %

Meses	Ni	Co	Fe	S	C	Cu	Zn
S	76,67	0,315	0,298	0,002	0,012	0,000	0,154
O	78,58	0,460	0,200	0,033	0,010	0,000	0,144
N	77,69	0,370	0,370	0,009	0,013	0,001	0,149
D	78,40	0,510	0,250	0,016	0,017	0,000	0,120
E	79,07	0,582	0,208	0,013	0,005	0,000	0,127
F	77,96	0,663	0,203	0,006	0,002	0,001	0,163
M	77,28	0,512	0,259	0,004	0,000	0,001	0,166
Prom.	77,95	0,487	0,255	0,012	0,008	0,000	0,146

Se refleja el elevado contenido de níquel (Ni) en el óxido y luego como los resultados obtenidos en el mes de marzo se ajustan a los valores exigidos por el cliente, bajando de 79,07 % en diciembre hasta 77,28 % en marzo, el cobalto (Co) oscila entre 0,315 a 0,663 % y se mantiene dentro de la norma, al igual que el hierro (Fe) que no sobrepasa los 0,370 %, por otra parte el elemento azufre (S) en el mes de octubre se altera ligeramente por encima de la norma con valor de 0,033 % luego no se altera más sus resultados y no afectó la calidad en los meses posteriores, el resto de los componentes carbón (C), cobre (Cu) y Zinc (Zn) tienen un comportamiento estable y dentro de la norma protocolar. Es necesario destacar que uno de los requerimientos del cliente más importante en esta etapa de trabajo y evaluación fue disminuir el % de níquel contenido en los lotes de óxido de níquel, ya que esta no conformidad le estaba restando eficiencia y productividad a la máquina de sinterizar, por lo que se toma esta tarea como unas de las prioridades de inmediatez a resolver.

En la tabla 3.3 se relacionan los resultados de las características físicas existente en los lotes de óxido de níquel obtenidos durante la investigación.

Tabla 3.3 composición física de los lotes de óxido de níquel obtenidos, %

Meses	6,35 mm	2,36 mm	0,149 mm	0,074 mm	-0,074 mm
S	-	28,63	51,57	13,46	6,34
O	-	23,19	55,36	16,42	5,03
N	27,41	24,19	33,11	8,05	5,90
D	28,66	54,94	27,33	3,75	2,68
E	-	59,60	35,11	3,54	1,75
F	-	54,44	35,56	7,40	5,31
M	-	46,32	44,95	6,65	2,09
Prom.	28,04	41,61	40,43	8,47	4,16

Se refleja como las granulometría de la malla 6,35 mm se dejó de producir por el cambio de malla realizado, los resultados obtenidos en la malla de 2,36 mm van en aumento debido a la buena calidad del óxido calcinado desde el mes de Octubre con un 28,13% llegando en Enero a valores de 59,6%, donde se reajusto hasta lograr en Marzo un 46,32 %, de esta granulometría y disminuyendo las partículas de mayor fineza, cumpliendo con los parámetros deseados.

Para llegar obtener la granulometría se modificó la instalación de molienda y clasificación del óxido de níquel para obtener una granulometría en el óxido tal como lo solicito el cliente, cambiando malla en la zaranda o criba vibratoria, de 6,35 mm a una de 5,0 mm garantizando una granulometría menos gruesa cumpliendo con el protocolo establecido. Un material con una granulometría por debajo de las especificaciones de calidad, afectaría al proceso de sinterización.

### 3.2 Comportamiento de los parámetros en estudio

#### 3.2.1 Comportamiento general de los parámetros evaluados en la investigación

En la figura 3.1 se muestra el comportamiento general de los parámetros de estudio.

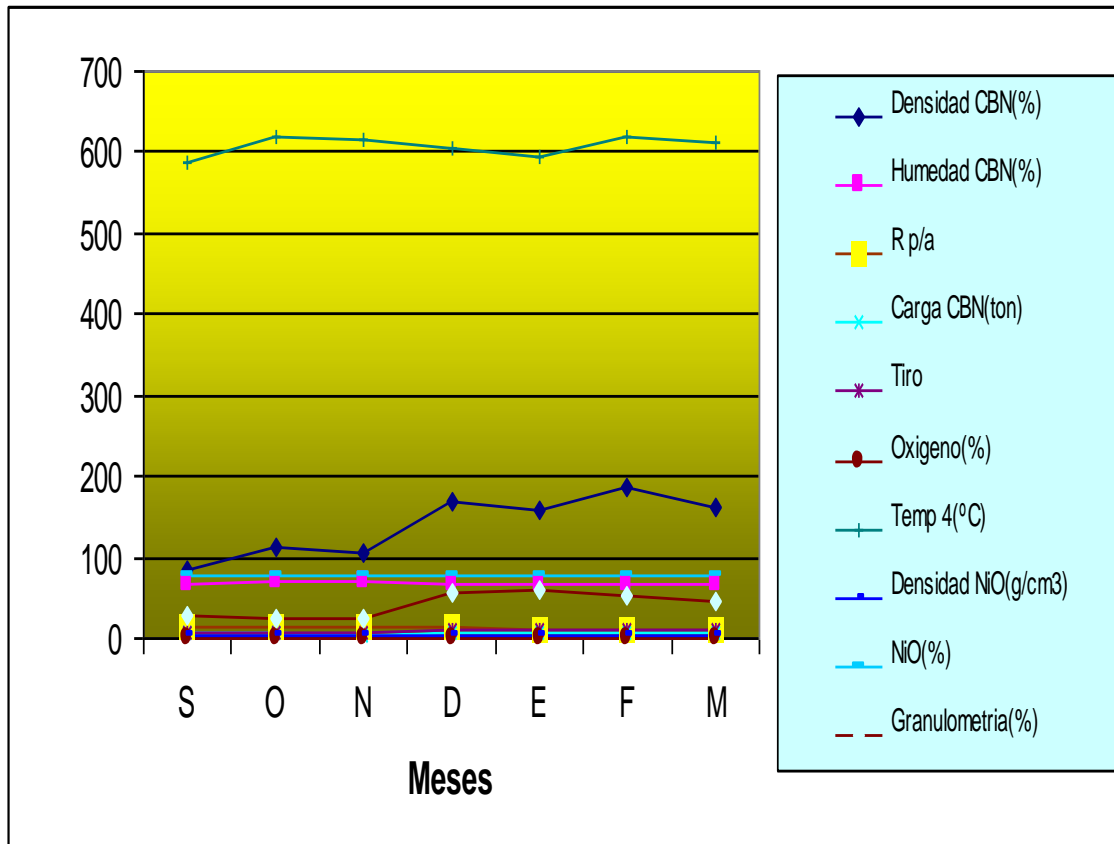


Figura 3.1 comportamiento de los parámetros evaluados

Al graficar los resultados promedios mensuales de los parámetros operativos, se observa que la temperatura (T-4) se comporta de forma estable y con tendencia a valores de 600 °C, oscila entre los 587 a 620 °C. La densidad del carbonato se incrementa a medida que se implementa el plan de medidas de mejoras en el área, oscilando entre 150 y 187 g/L, permitiendo estabilizar la alimentación en valores próximos a 6,0 t/h.

Las variaciones en la alimentación de carbonato de níquel al horno traen como consecuencias variaciones en las temperaturas dentro del horno, el flujo de

petróleo primario, así como las variaciones de las concentraciones de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO de los gases de salida y en la densidad del óxido producido.

### 3.2.2 Comportamiento de la densidad del carbonato básico de níquel alimentado

En la figura 3.2 se muestra el comportamiento de la densidad del carbonato básico de níquel.

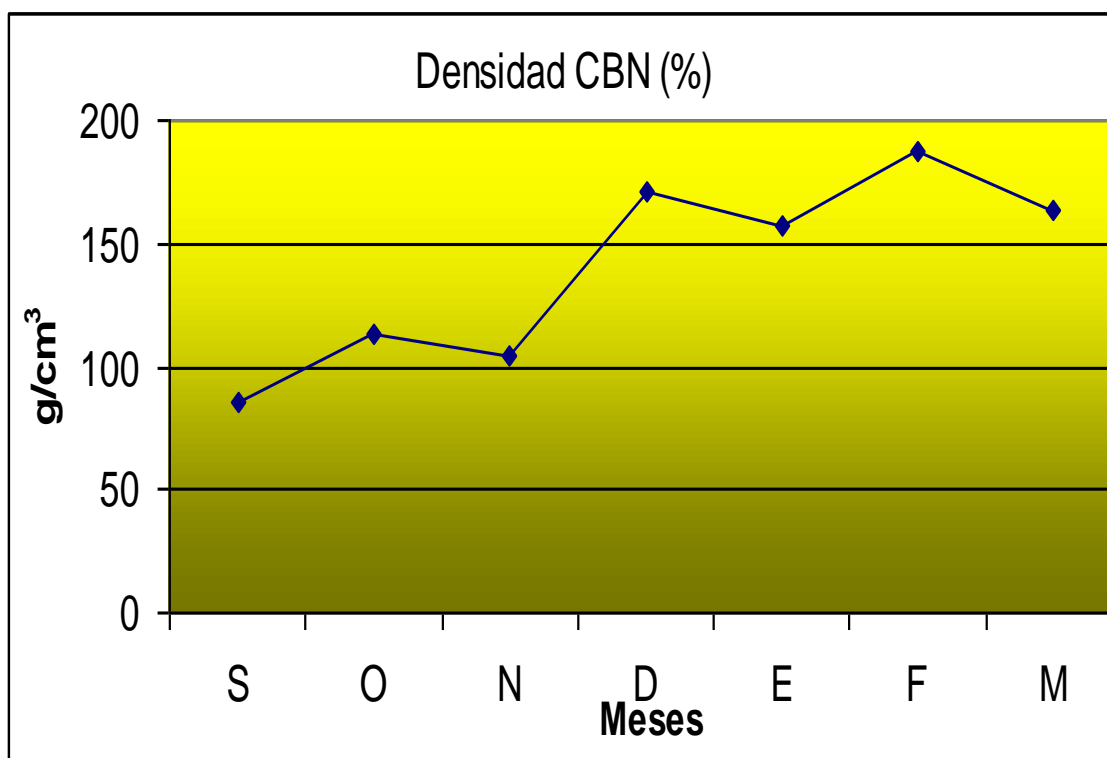


Figura 3.2 comportamiento de la densidad del carbonato básico de níquel

Se observa el aumento progresivo de la densidad del carbonato básico de níquel desde valores de 86,0 g/L en el mes de octubre llegando a alcanzar en el mes de marzo 163,0 g/L promedio, aunque en el mes de noviembre se mantuvo en valores bajos de 105,0 g/L como promedio y el valor más alto alcanzado fue en el mes de febrero con 187,0 g/L.

### 3.2.3 Comportamiento de la humedad del carbonato básico de níquel alimentado

En la figura 3.3 se refleja el comportamiento de la humedad del carbonato básico de níquel.



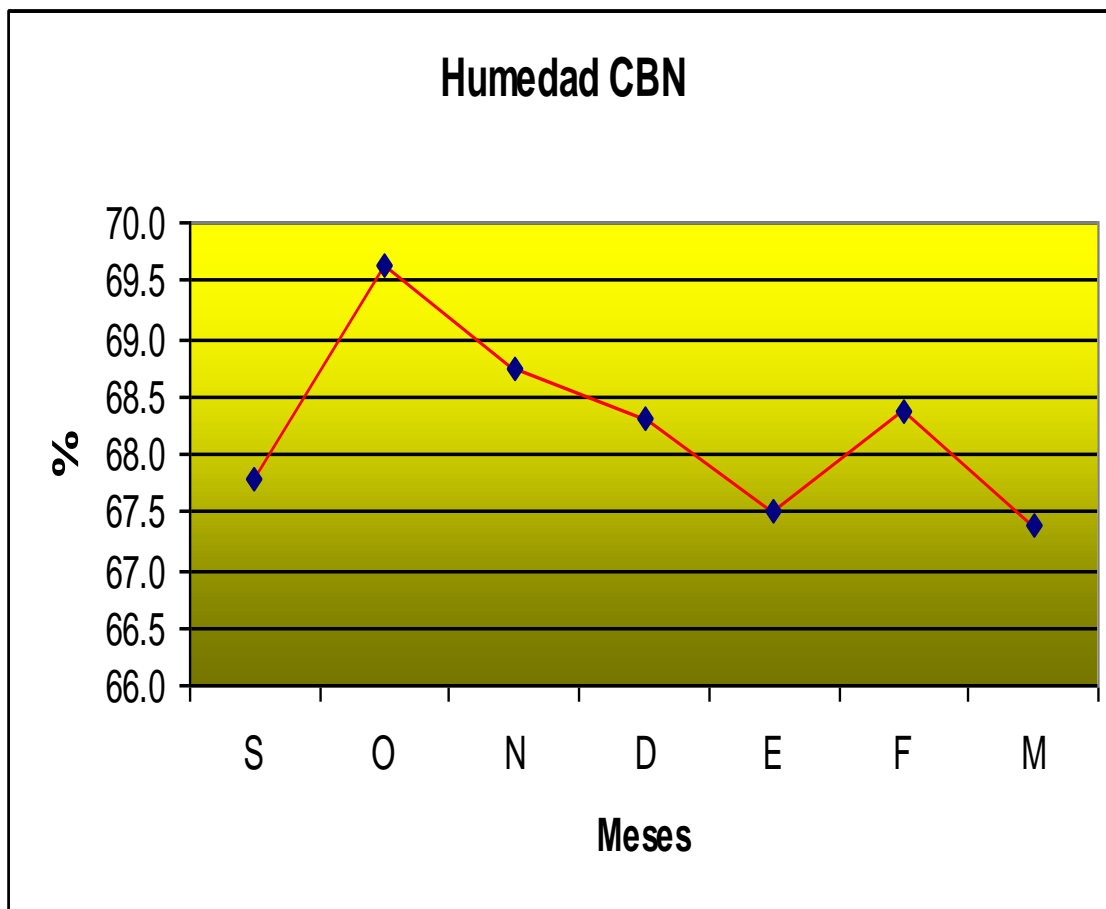


Figura 3.3 comportamiento de la humedad del carbonato básico de níquel

Se observa que en el mes de octubre existe un incremento de la humedad llegando hasta valores de 69,6 %. Disminuyendo en los meses posteriores hasta un 67,5 % en marzo, hay un incremento en el mes de febrero que no es representativo ya que en ese mes hubo afectaciones de paradas y puesta en marcha en el proceso; concluyendo que se logra ajustar el parámetro a los valores deseados.

#### **3.2.4 Comportamiento de la alimentación de carbonato básico de níquel al calcinador**

En la figura 3.4 se muestra el comportamiento de la alimentación de carbonato básico de níquel al calcinador.

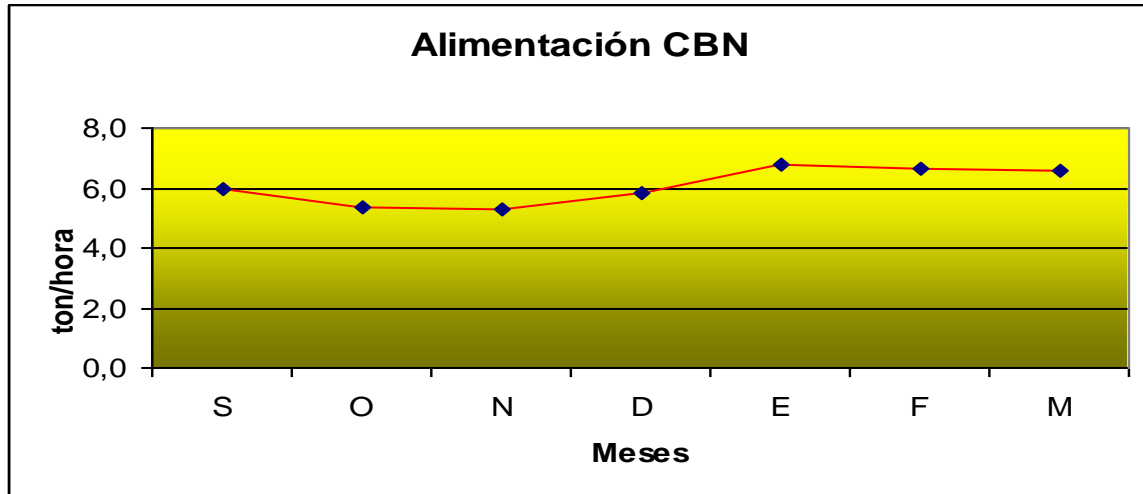


Figura 3.4 comportamiento de la alimentación de carbonato básico de níquel al calcinador

Se observa cómo en los meses de septiembre a diciembre disminuye hasta valores de 5,0 t/h y luego se incrementa la alimentación en cada mes, llegando a alcanzar valores de 6,0 y 7,0 t/h con lo que se garantiza una operación estable.

### 3.2.5 Comportamiento de la relación petróleo/aire

En la figura 3.5 se muestra el comportamiento de la relación petróleo/aire en el calcinador 1 de la empresa René Ramos Latour.

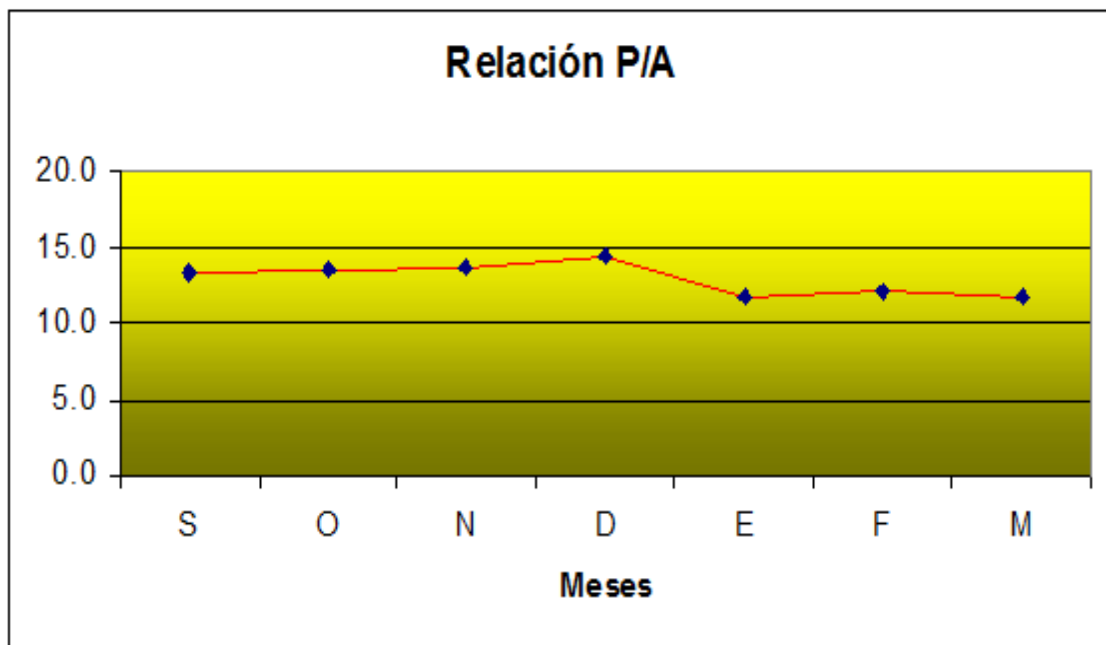


Figura 3.5 comportamiento de la relación petróleo/aire en el calcinador 1

Se aprecia como a medida que se implementa el plan de mejoras en el área de calcinación, disminuye y se ajusta la relación petróleo aire, con lo cual se mantiene el parámetro en los valores deseados, oscilando entre 11 y 12, este comportamiento es el adecuado para la operación, con la adición de una cantidad mayor de aire primario para la combustión.

### 3.2.6 Comportamiento del oxígeno en los gases de salida del calcinador

En la figura 3.6 se muestra el comportamiento del oxígeno en los gases de salida del calcinador.

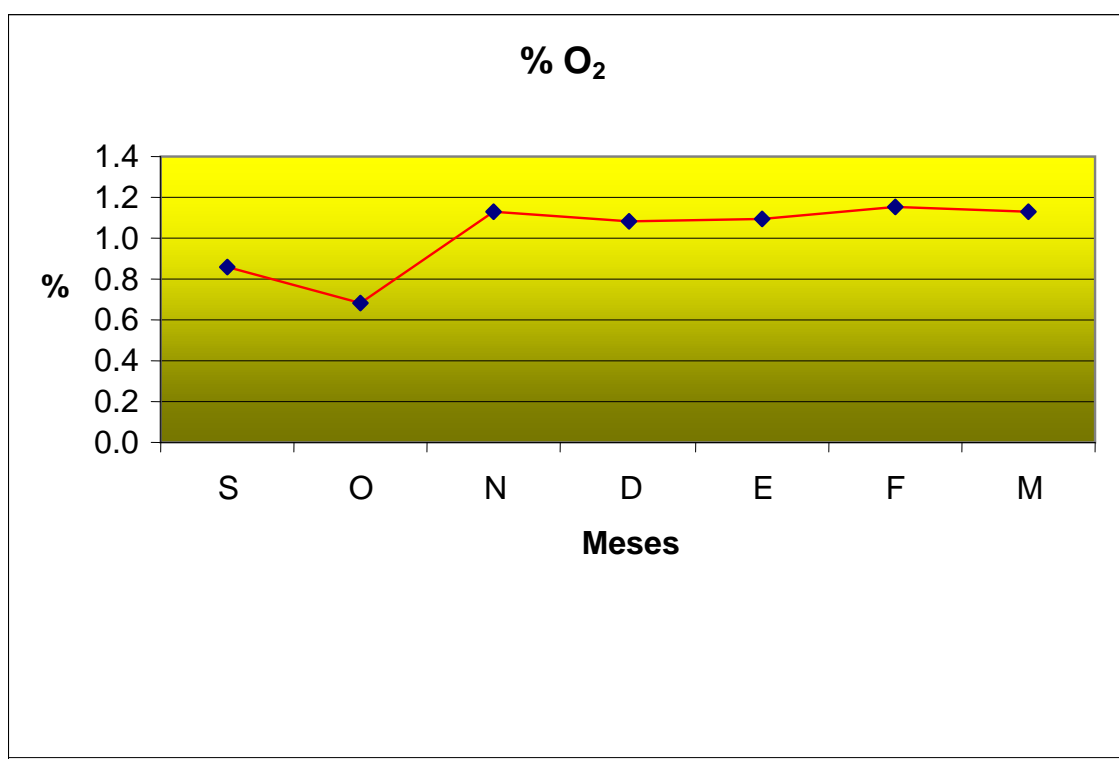


Figura 3.6 comportamiento del oxígeno en los gases de salida del calcinador

Se observa que los valores oscilan entre 1,1 y 1,2 % luego del mes octubre, cumpliéndose con los valores deseados, evitando así el alto contenido de níquel en el óxido ya que se trabaja con atmósfera oxidante y no reductora.

### 3.2.7 Comportamiento de la densidad del óxido de níquel

En la figura 3.7 se muestra el comportamiento de la densidad del óxido de níquel.

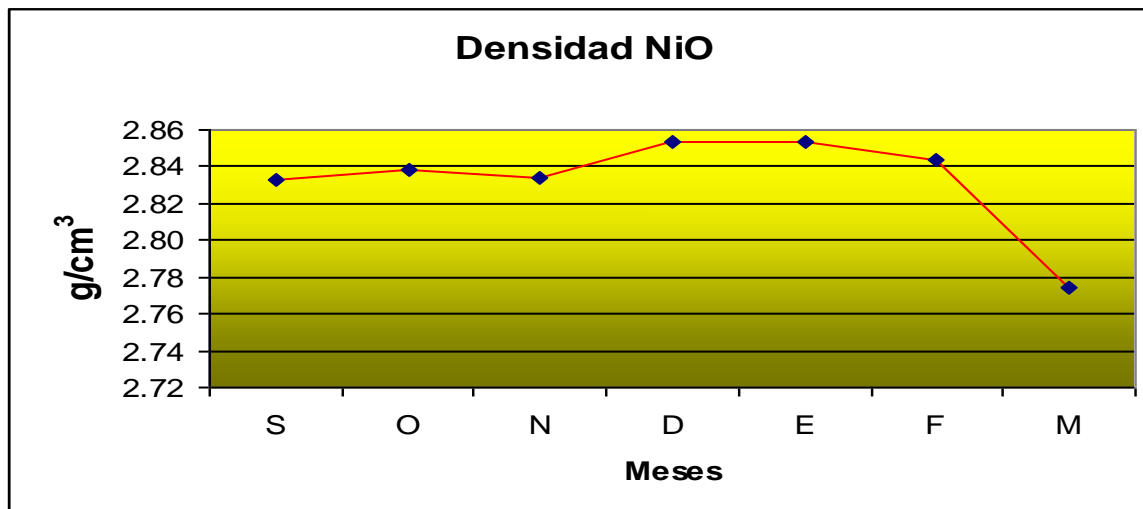


Figura 3.7 comportamiento de la densidad del óxido de níquel

Se observa cómo se logra mantener los valores de la densidad del óxido de níquel en las normas establecidas durante todos los meses y en el último mes disminuye a  $2,77 \text{ g/cm}^3$ , cumpliendo con la solicitud del cliente.

### 3.2.8 Comportamiento del (%) contenido de níquel en el óxido

En la figura 3.8 se puede observar el comportamiento del contenido de níquel en el óxido.

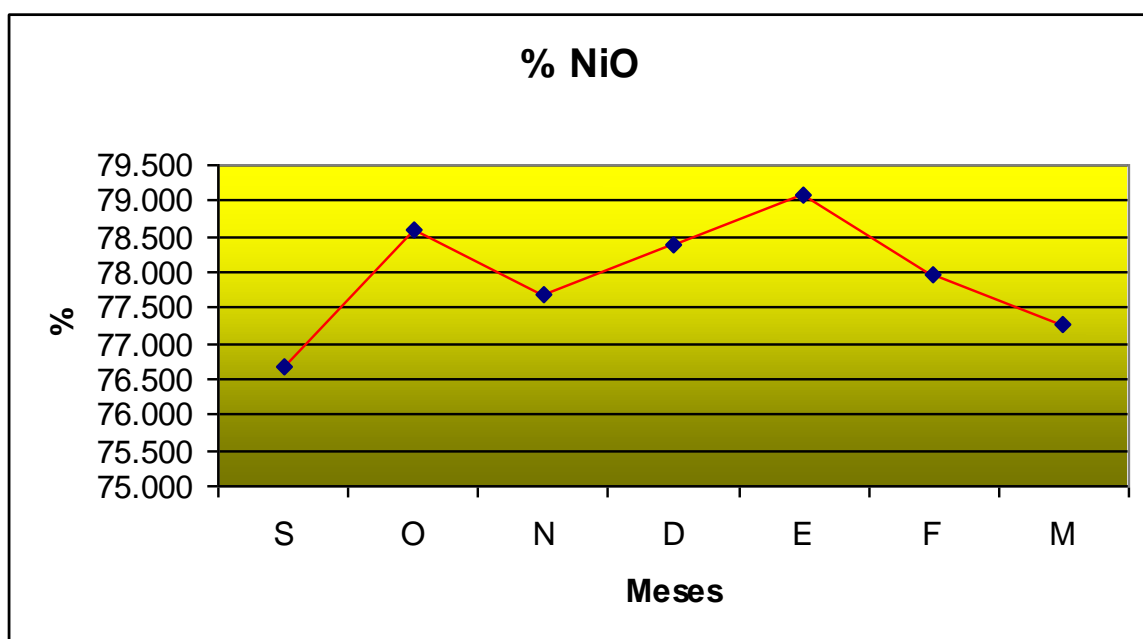


Figura 3.8 comportamiento del contenido de níquel en el óxido

Como se muestra, con la implementación del plan de mejoras y ajuste de parámetros, se logra que el contenido de níquel en el óxido se estabilice en los valores pactados en el protocolo de trabajo, el mismo se había desviado negativamente y estaba causando problemas operativos en la eficiencia de la máquina de sinterizar de la empresa Ernesto Che Guevara. Este es uno de los parámetros fundamentales que afectan la calidad del óxido.

### 3.2.9 Comportamiento de la granulometría del óxido de níquel

La figura 3.9 muestra el comportamiento de la granulometría del óxido de níquel.

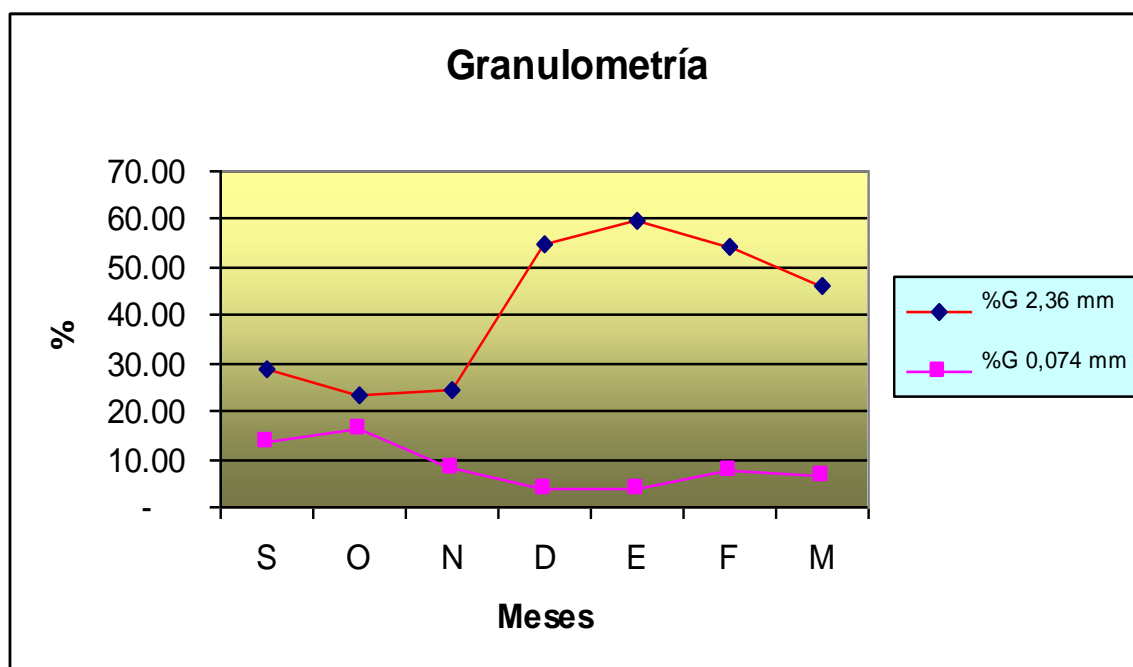


Figura 3.9 comportamiento de la granulometría del óxido de níquel

Como se observa, existe un incremento del % de las partículas con granulometría de 2,36 mm y disminuyen las partículas de 0,074 mm hasta un 6,0 %; se debe destacar que como consecuencia al ajuste de los parámetros a lo largo de la investigación se realizaron varios cambios de tamices para lograr dichos resultados.

La figura 3.10 muestra el comportamiento mínimo, medio y máximo de la humedad del carbonato básico de níquel, la alimentación al calcinador, relación petróleo/aire y contenido en por ciento de níquel en el óxido.

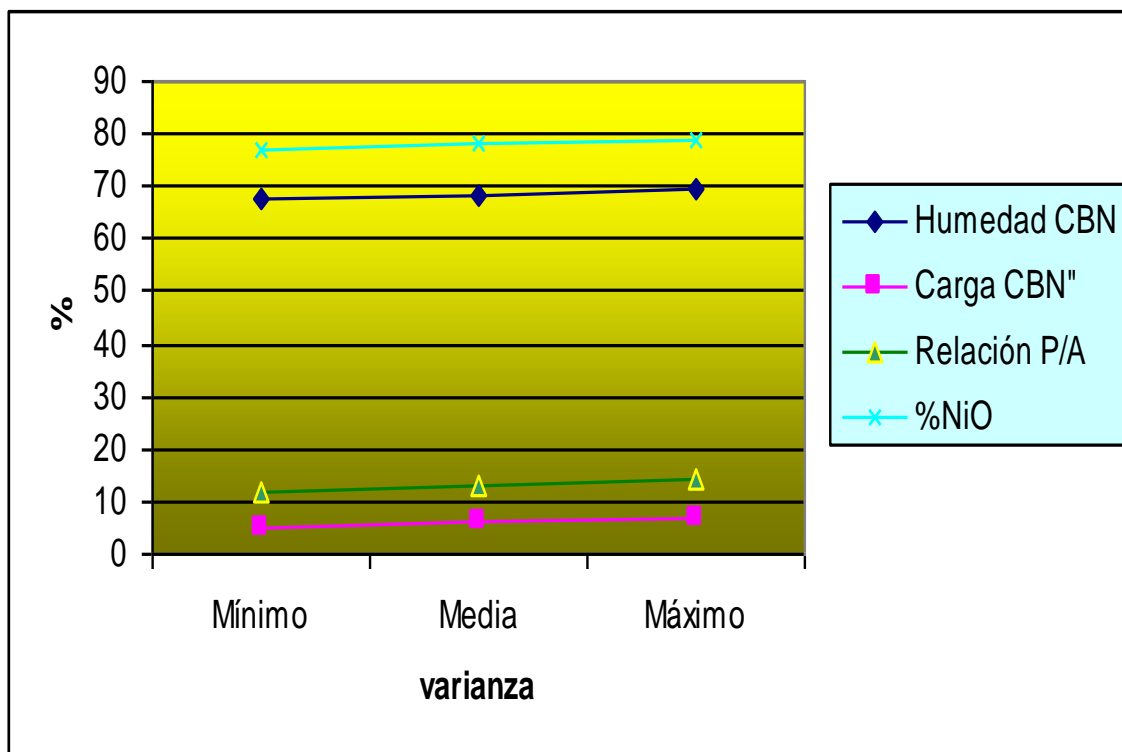


Figura 3.10 comportamiento mínimo, medio y máximo de la humedad del carbonato básico de níquel, la alimentación al calcinador, relación petróleo/aire y contenido en por ciento de níquel en el óxido

Se logra determinar los rangos y variaciones más comunes en los parámetros analizados

### 3.2.10 Movimientos de la camisa del quemador

En la figura 3.11 se expone el tramado realizado a la camisa del quemador del calcinador 1.

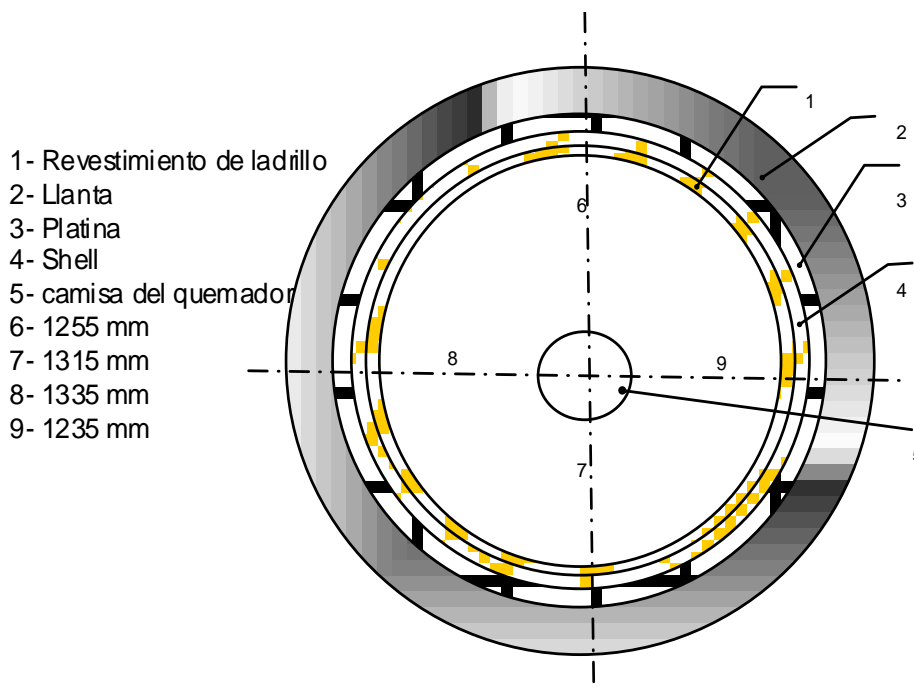


Figura 3.11 Esquema del tramado realizado a la camisa del quemador

Se muestran las dimensiones variadas, como resultado de la acción para disminuir la incidencia directa de la llama sobre el óxido y evitar sobre-metalización del mismo. Se logró un óxido con un contenido de níquel por debajo del 77,50 %, no obstante se debe destacar que los demás parámetros estudiados fueron influyentes en este resultado.

### 3.3 Propuesta de la nueva carta tecnológica del proceso del calcinador 1

Durante el tiempo de trabajo de ajuste de parámetros y revisión de la operación, se estableció la nueva carta tecnológica para lograr los objetivos planteados, resultando esta la que se propone y la que permitió cumplir con la calidad del óxido que se obtiene en el calcinador 1 de la empresa René Ramos Latour.

Parámetros que contempla la nueva Carta Tecnológica del Proceso del calcinador 1:

- Temperatura No 3 (zona de calcinación) rango 750 a 850 °C
- Temperatura No 4 (zona de las cadenas) rango 600 a 700 °C
- Temperatura No 5 (zona de los gases) rango 300 a 380 °C
- Flujo de petróleo de 70 L/t carbonato
- Presión del aire primario 0 a 160 mm en columna de agua
- Relación petróleo / aire primario: 11 a 13
- Tiro: 0,0 a -18,5 mm en columna de agua
- Presión del vapor por encima a la del petróleo en quemador: 1,0 a 1,5 kg/cm<sup>2</sup>
- Composición del oxígeno: 1,0 a 1,2 %
- Amperaje del motor del horno: 14 a 19 A
- Alimentación de carbonato básico de níquel al horno: 6 a 10 t/h
- No deben efectuarse cambios en la alimentación entre hora de +/- 2 t/h
- Humedad de carbono alimentado 66,0 %
- Revoluciones por hora del horno: 45 rph
- Densidad del óxido producido: 2,75 a 2,85 g/cm<sup>3</sup>

Muestra de humedad del carbonato

H <sub>2</sub> O	66,0 %
Fe	0,15 %

Muestra de la calidad del óxido obtenido

Ni	75,5 a 77,5 %
Co	0,70 %
Fe	0,50 %
S	0,03 %



## **Conclusiones del capítulo**

- ❖ Se realiza un análisis de la influencia de los principales parámetros operacionales y factores mecánicos que influyen en la calidad del óxido de níquel que se obtienen en el calcinador 1 de la empresa René Ramos Latour.
- ❖ Los resultados obtenidos permitieron establecer e implementar una nueva carta tecnológica con los parámetros de operación y factores mecánicos que permitan obtener una mejor calidad en el producto final.

## **VALORACIÓN ECONÓMICA**

Para la realización del análisis económico del proceso de calcinación debe realizarse mediante el análisis de las pérdidas que existen actualmente por el concepto del reproceso del óxido fuera de especificación, ya que esto conlleva a un sobre consumo de combustible para garantizar la calidad del óxido de níquel, por ser en este donde tiene repercusión el proceso analizado, se determinó que las pérdidas por este concepto es de (0,04 t/h), equivalente a (1,0 t/día) que, teniendo en cuenta el costo del petróleo regular en el mercado mundial (605,95 CUC/t), el costo de las pérdidas por el reproceso en un mes es de 18 178,5 CUC; siendo el impacto económico para un año de trabajo continuo de 218 142 CUC.

El deterioro prematuro de algunos elementos y accesorios que componen el sistema de calcinación provocan las pérdidas por mantenimiento, este problema está dado por las altas temperaturas y el régimen continuo de trabajo, lo que provoca que muchas piezas sean renovadas aproximadamente cada seis meses, generando una pérdida de 15 147 CUC por concepto de materiales.

Aparejado a esto, se encuentra el costo de la mano de obra que asciende a un valor de 985 CUC.

## **VALORACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

La empresa del níquel "Comandante René Ramos Latour" y en especial la planta de Recuperación y Calcinación desprenden al medio ambiente una gran cantidad de gases tóxicos que son dañinos para la salud humana. Se debe trabajar con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental y esto se logrará creando una conciencia ambiental sólida en la empresa para así garantizar una vida sana y agradable a las generaciones venideras ya que este es uno de los factores que incide sobre el nivel de vida de la población del municipio de Mayarí.

En la industria se violan muchas regulaciones internacionales del medio ambiente y se debe tratar de cumplirlas porque hay una gran cantidad de la población del municipio que vive cerca de la zona industrial, como es el caso de Levisa, Nicaro y otras zonas aledañas.

En esta planta la contaminación es provocada por salideros de gases, vapores y mineral en los alambiques de licor y cola, en los sistemas de absorción, filtros, electro filtros, etc. El derrame de mineral cae a los pisos y este es eliminado mediante el baldeo, provocando contaminación en el área y en el exterior de la planta.

El derrame y salideros de mineral en la planta se somete a la limpieza con agua y es trasladado por canales hacia los distintos desagües, mediante bombas la pulpa se envía hacia la canalización de la fábrica, que lo descarga a la presa de cola ubicada en el mar (este residual contiene gran cantidades de sólidos y grasas) sin tratamiento previo.

Otro contaminante que se encuentra es el amoníaco. El amoníaco, tanto el líquido como el vapor es fuertemente irritante para la piel, los ojos y las vías respiratorias. Este es muy tóxico y la exposición a altas concentraciones puede producir quemaduras, cegueras y hasta la muerte.

Las concentraciones bajas de amoniaco pueden cortar la respiración, pero sin provocar efectos nocivos.

Las concentraciones medias de amoniaco pueden provocar decaimiento, irritación, congestión, hinchazón, entumecimiento de las membranas mucosas e los ojos, nariz y garganta.

El líquido produce quemaduras graves, parecidas a las quemaduras cáusticas y estas varían de acuerdo con la concentración de amoniaco y del tiempo que se encuentra expuesto al mismo.

Cuando el amoniaco líquido se pone en contacto con la piel, produce congelaciones rápidas e intensas en la zona afectada. La ingestión del amoniaco líquido origina una severa acción corrosiva en la boca, la garganta y el estómago.

El amoniaco gaseoso tiene una gran acción irritante en cualquier parte húmeda de los tejidos, da taquicardia (agitación de la respiración y los latidos del corazón respectivamente), son algunos de los efectos originados por la irritación de la vías respiratorias, pudiendo llega hasta detener la respiración.

Este inhalado produce efectos de los tejidos superficiales ya que no es absorbido por el organismo. Debido a su alta solubilidad del amoniaco con el agua, este tiene gran facilidad de disolverse en el sudor del cuerpo humano.

Impactos ambientales generados por la planta Recuperación y Calcinación.

- Afectaciones a la estética laboral durante el montaje y desmontaje de los equipos y componentes de la planta.
- Altos ruidos producto a los equipos dinámicos de la operación.
- Elevadas temperaturas en las zonas de trabajo.
- Generación de polvo y gases calientes por sistema de alimentación y descarga.
- Arrastre de mineral a las canalizaciones.

### **Caracterización de los impactos**

El proceso de caracterización de los impactos ambientales es de gran importancia, pues posibilita la comprensión de la dimensión exacta del análisis desarrollado, determinando como repercuten sobre el medio ambiente cada uno de los impactos ambientales que tienen lugar tanto en el objeto como en los elementos externos a este. En la tabla se muestran los impactos ambientales en la planta de Recuperación y Calcinación, la misma servirá como base para el establecimiento de los impactos para el objeto de estudio.

Identificación de los impactos ambientales en la planta Recuperación y Calcinación.

Acciones o Actividades	Factores ambientales	Impactos Ambientales
Derrame de mineral	Económico	Pérdidas por concepto económico
Escape de gases contaminantes	Aire	Disminución de la calidad del aire
Escape de gases contaminantes	Hombre	Aumento de enfermedades respiratorias
Escape de gases contaminantes	Económico	Pérdidas por concepto económico
Emisiones de polvo	Hombre	Aumento de enfermedades respiratorias
Emisiones de Ruido continuo	Hombre	Pérdidas de la sensibilidad auditiva

### **Efectos de las partículas (en el aire) sobre la salud humana**

Las partículas, solas o en combinación con otras contaminantes representan un peligro muy grave para la salud. Los contaminantes entran principalmente al cuerpo humano por las vías respiratorias, los daños pueden presentarse directamente, se ha estimado que el 50 % de las partículas que penetran a las cavidades pulmonares se depositan en el mismo.

## **CONCLUSIONES**

- Se estableció la nueva carta tecnológica de los parámetros de operación y los factores mecánicos con los que se logró una mejora de la calidad del óxido de níquel hasta valores de 86,85 %.
- Se logró satisfacer las demandas del cliente al mejorar la calidad del óxido en cuanto a sus características físicas y químicas.

## **RECOMENDACIONES**

- Que se cumplan los parámetros establecidos en la nueva carta tecnológica elaborada para la operación del calcinador 1.
- Realizar el mantenimiento a la instalación según lo planificado, para garantizar una operación estable.
- Implementar sistema de clasificación y molienda del óxido a la salida de los calcinadores en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, similar a la existente en la empresa René Ramos Latour.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Columbié, A. et al. 1992. Modelación matemática del proceso de calcinación del carbonato básico de níquel en el horno tubular rotatorio, *Minería y Geología*, 9 (1): 27-29.

Columbié, A. et al. 2000. Modelo matemático del proceso de calcinación del carbonato básico de níquel en el horno tubular rotatorio, *Minería y Geología*, 17 (2): 47-53.

Columbié, A. 2001. Modelación matemática del proceso de calcinación del carbonato básico de níquel en el horno tubular rotatorio. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas, ISMMM, Departamento de Eléctrica, 100 pp, Moa. Cuba

Colectivo de profesores, 2003. Operaciones unitarias para operadores de plantas. Departamento de Metalurgia y Materiales, ISMM, Moa. Cuba

Chang, A. 1997. Cálculo de los principales procesos en los hornos metalúrgicos. Editorial Félix Varela, La Habana, 227 p.

Chang, A. et al. 2003. Balance energético del calcinador de carbonato básico de níquel con adición de sulfuro de níquel. *Revista minería y geología*. Vol. XVII, Nos. 2.

Davinson, M. et al. 1981. Modelación de las regularidades de la calcinación del coque en un horno rotatorio", *Revista Metalurgia*, 5: 44-46.

Domínguez, H.; Selva, A. 1977. Informe parcial del trabajo de automatización del horno de calcinación. Empresa "Comandante René Ramos Latour", Informe técnico.

Falcón, LL. et al. 1977. Informe sobre la automatización del horno no.2 de calcinación. Empresa "Cdte. René Ramos Latour", Informe técnico.



Fernández, R. et al. 1990. Incremento de la calidad de los productos finales actuales de la tecnología carbonato amoniacal. Informe final de la investigación quinquenio 1986-1990, empresa "Comandante René Ramos Latour".

Font, G. 1975. Operación del kiln # 1 de la empresa "Comandante René Ramos Latour". Informe técnico.

García, E.; Palacios, A. 2012. Determinación de la eficiencia metalúrgica de la planta de calcinación y sínter de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara". Moa. Cuba.

Hernández, E. et al. 1972. Metalurgia Extractiva de los Minerales Oxidados de Níquel en Cuba. Instituto Cubano del Libro: La Habana. Cuba.

Martín, M. 2007. Calcinación del óxido de níquel en polvo, en atmósfera oxidante. Informe técnico. Manual de Operaciones de la planta de Recuperación y sínter de la empresa "René Ramos Latour", 61 p.

Milanés, E. et al. 1973. *Chem. Ing. Proc. Tech.* May, 17 (5): 17-25. Pruebas operativas del calcinador # 2. Empresa "Comandante René Ramos Latour". Informe técnico.

Peña, A. et al. 2006. Una aplicación del análisis en componentes principales y de clasificación al estudio de los procesos industriales. *Revista cubana química*. Vol. XVII.

Ramírez, P. et al. 1998. Caracterización de la pulpa del carbonato básico de níquel. *Revista Tecnología Química vol.18, No.1 y 2*.

Ramírez, P. et al. 2005. Caracterización de la pulpa del carbonato básico de níquel. *Revista Tecnología Química*, Vol. XXV, No. 3.

Riffaud, B. 1972. Modelling and simulation of an Alumine.

Rodríguez, L. et al, 1970. Investigación de la modelación matemática del horno de calcinación. Vol. No.2. Nicaro: Empresa "Comandante René Ramos Latour".

Romero, M. 1991. Cinética de reacciones topoquímicas y la caracterización de productos intermedios de la industria niquelífera. Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Químicas. La Habana.

Tijonov, N. 1979. Cinética de la tostación considerando la composición granulométrica de la fase sólida, *Revista. Metalurgia*, 6: 91-94.

## Anexos

Tabla 1 Base de datos utilizada para el análisis de la operación mes de septiembre.

D	Dens. CBN	N-65 H <sub>2</sub> O	Temp. 4	Temp. 5	p. pet quem.	p. vap quem.	air prim mm	relac pet/a	tiro mm	ton. CBN	Análisis gases		Cons. Fuel	óxido calc.	Dens. óxido
	g/l	%	°C	°C	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> O		H <sub>2</sub> O	t	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	l/h	t	g/cm <sup>3</sup>
1	80	68,0	521	292	4,0	5,1	28	13	6,9	5	15	0,8	351	36,39	2,82
2	paro por baja densidad														
3	100	69,0	631	292	4,1	5,5	32	13	9,7	7	15	0,9	416	30,62	2,84
4	80	68,0	604	267	4,0	5,4	29	13	7,1	6	16	1,0	377	27,74	2,84
5	80	66,0	598	283	4,1	5,1	31	13	9,0	7	15	1,0	408	27,65	2,82
6	90	66,0	567	281	4,7	6,5	29	13	8,3	7	15	0,8	389	24,87	2,82
7	90	67,0	588	277	4,1	4,8	30	13	7,5	7	15	1,0	384	22,96	2,83
8	90	67,0	527	297	4,7	5,3	31	13	10,7	6	15	0,6	418	27,84	2,83
9	95	68,0	560	294	4,6	5,8	31	12	8,8	6	15	1,0	384	24,96	2,82
10	110	69,0	519	283	4,4	5,4	29	13	7,6	6	16	0,8	367	25,92	2,84
11	80	69,0	580	288	3,8	4,8	28	13	6,9	6	16	0,9	352	23,92	2,84
12	60	69,0	560	291	4,8	6,1	27	13	6,7	5	-	-	345	21,04	2,83
13	80	68,0	598	281	4,5	6,6	31	14	8,6	6	-	-	431	27,74	2,84
14	65	69,3	594	281	4,6	6,3	28	13	7,4	6	15	0,8	371	22,96	2,83
15	80	68,4	625	293	4,5	5,0	25	13	6,5	6	-	-	335	24,00	2,82
16	90	68,0	604	310	4,5	4,8	26	14	7,2	6	-	-	364	21,12	2,83
17	100	69,0	698	282	4,5	5,8	30	13	7,4	6	-	-	387	24,96	2,84
18	100	68,0	659	302	3,8	5,0	30	14	6,9	6	15	1,0	405	24,96	2,84
19	85	67,0	613	296	3,5	5,0	27	13	6,0	6	15	0,8	363	24,00	2,83
20	80	66,0	625	291	3,8	5,1	27	13	5,6	5	15	0,6	357	28,80	2,83
21	70	68,0	612	280	4,3	5,2	25	15	6,9	5	-	-	372	28,80	2,84
22	80	68,6	615	292	4,3	5,3	27	14	7,5	5	-	-	371	28,80	2,84
23	100	68,0	641	323	4,7	5,6	26	15	9,3	6	16	1,0	400	25,92	2,83
24	80	67,5	559	290	4,5	5,0	30	13	8,5	6	15	0,9	403	27,84	2,84
25	80	66,0	543	284	4,1	5,3	28	13	6,2	6	15	1,2	363	25,92	2,84
26	80	66,0	597	284	3,9	5,0	27	14	5,7	6	16	0,9	371	23,04	2,84
27	80	68,0	528	292	3,5	5,3	28	13	6,7	6	15	1,0	374	27,84	2,83
28	100	68,0	601	329	3,4	4,3	29	13	5,1	5	15	0,6	374	11,52	2,83
29	100	67,0	538	296	3,0	4,6	31	13	9,7	7	16	0,6	414	31,68	2,83
30	80	68,6	527	285	2,9	5,3	30	12	7,6	6	15	0,8	368	24,87	2,85
prom	86	67,8	587	291	4,1	5,3	29	13	7,5	6	15	0,9	380	25,82	2,83

Tabla 2 Base de datos utilizada para el análisis de la operación mes de octubre.

D	Dens. CBN	N-65 H <sub>2</sub> O	temp 4	temp 5	p. pet quem.	p. vap quem.	air prim mm H <sub>2</sub> O	relac Pet/a	tiro mm H <sub>2</sub> O	ton. CBN	Análisis gases		Cons. Fuel	óxido calc.	Dens. óxido
	g/l	%	°C	°C	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>				t	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	l/h	t	g/cm <sup>3</sup>
1	90	69,0	531	290	2,6	4,3	25	15	7,0	6	15,4	0,1	368	21,12	2,84
2	90	69,3	592	290	2,5	4,4	26	13	6,5	5	15,4	1,0	350	19,20	2,84
3	90	70,2	628	302	2,9	4,0	27	14	6,9	6	15,0	0,1	382	26,88	2,84
4	90	69,1	624	289	2,9	4,6	26	15	5,9	6	15,2	0,1	384	28,80	2,84
5	80	70,2	610	281	3,2	4,0	26	14	6,2	5	15,8	1,0	358	23,04	2,85
6	80	69,9	687	273	3,6	4,3	26	13	6,0	5	15,8	0,1	340	21,12	2,82
7	80	70,6	623	290	4,8	5,4	25	16	7,5	5	-	-	394	25,92	2,85
8	70	70,1	633	297	6,0	5,0	25	13	6,0	5	-	-	326	23,04	2,83
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	200	71,2	700	302	4,6	5,7	31	13	7,9	5	16,1	0,8	418	24,00	2,83
14	200	70,5	682	312	2,6	3,9	33	13	6,7	6	15,8	0,9	430	36,51	2,83
15	200	69,3	614	315	2,4	4,7	22	17	4,9	4	15,0	1,1	371	18,00	2,84
16	140	68,2	665	308	2,5	3,5	29	14	8,5	6	15,2	0,8	399	32,64	2,85
17	90	67,9	602	293	3,0	4,8	23	14	3,8	4	-	-	319	21,05	2,84
18	80	67,9	688	301	2,9	4,8	22	14	4,2	4	-	-	303	19,57	2,84
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	150	70,5	630	280	3,7	5,1	33	14	11,8	6	-	-	463	33,62	2,84
21	90	71,5	632	288	3,0	4,3	28	13	8,8	6	-	-	366	22,88	2,84
22	80	69,1	645	282	3,2	4,0	29	12	6,8	6	15,6	1,1	354	20,96	2,86
23	80	70,7	650	287	2,8	4,1	25	14	6,1	5	14,8	0,8	360	19,20	2,85
24	80	70,8	540	284	3,2	4,7	27	13	6,9	6	-	-	362	15,36	2,82
25	110	69,9	552	288	3,1	5,6	26	16	9,7	5	-	-	424	20,16	2,86
26	120	70,6	577	317	2,7	3,9	34	12	9,3	7	-	-	400	30,72	2,84
27	90	70,4	584	277	3,9	5,2	27	13	5,2	5	-	-	345	32,64	2,83
28	120	67,5	600	350	3,5	4,6	32	12	6,7	5	15,6	0,8	395	21,12	2,83
29	180	68,5	597	287	3,5	4,7	37	12	9,7	6	15,4	0,8	427	32,64	2,82
30	140	68,0	626	310	4,2	5,7	28	12	6,8	5	15,8	0,8	326	19,20	2,82
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
prom	113	69,6	620	296	3,3	4,6	28	14	7,0	5	1,5	0,7	374	24,38	2,84

Tabla 3 Base de datos utilizada para el análisis de la operación mes de noviembre.

D	Dens. CBN	N-65 H <sub>2</sub> O	temp 4	temp 5	p. pet quem.	p. vap quem.	air prim mm H <sub>2</sub> O	relac Pet/a	tiro mm H <sub>2</sub> O	ton. CBN	Análisis gases		Cons. Fuel	óxido calc.	Dens. óxido
	g/l	%	°C	°C	kg/cm³	kg/cm³				t	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	l/h	t	g/cm³
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	parado por baja densidad									-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	80	68,0	504	267	4,0	5,4	35	12	7,1	6	15,8	1,2	434	27,74	2,84
5	80	66,0	498	283	4,1	5,1	32	14	9,0	5	15,4	1,0	435	27,65	2,82
6	90	69,0	497	281	4,7	6,5	33	13	8,3	5	15,4	1,2	425	35,47	2,84
7	120	70,0	617	284	4,4	5,4	33	13	11,2	6	15,2	1,0	441	36,48	2,84
8	110	70,0	665	317	3,5	5,5	32	14	10,4	6	15,2	1,2	432	34,96	2,82
9	130	69,0	631	310	4,8	5,8	34	14	10,6	5	15,2	1,0	466	30,56	2,84
10	110	69,0	649	313	3,3	4,3	30	14	7,2	5	15,8	1,2	419	14,39	2,84
11	100	71,0	662	306	3,6	4,4	31	14	7,4	5	15,6	1,1	436	37,38	2,82
12	110	71,0	629	322	3,6	4,6	35	13	9,5	6	15,2	1,2	464	30,72	2,83
13	110	68,5	632	310	3,4	4,6	36	13	9,6	6	15,6	1,2	484	33,60	2,84
14	110	69,0	640	320	4,3	5,6	32	14	8,8	5	15,2	1,1	436	26,88	2,84
15	100	68,9	620	310	4,1	5,0	34	13	7,1	4	15,8	1,0	454	29,80	2,83
16	100	69,5	651	308	3,8	5,1	32	14	6,9	4	15,6	1,2	448	29,76	2,83
17	90	69,3	633	311	4,4	5,6	35	15	10,7	4	15,8	1,2	518	31,68	2,84
18	100	68,0	641	320	3,6	4,8	33	14	7,2	6	15,2	1,0	459	23,04	2,84
19	90	69,2	658	327	3,6	5,2	31	14	6,9	6	15,2	1,2	434	28,80	2,83
20	100	68,7	642	322	3,4	5,0	37	13	8,9	4	15,4	1,1	497	28,80	2,83
21	120	68,0	628	311	3,8	4,9	34	14	7,8	6	15,8	1,2	468	30,72	2,85
22	100	68,6	637	318	3,8	4,8	33	14	7,4	6	15,2	1,2	451	27,84	2,82
23	100	68,0	541	323	4,7	5,6	34	14	9,3	6	16,0	1,0	480	25,92	2,83
24	150	67,5	647	322	4,2	5,4	33	14	6,8	6	15,0	1,2	451	31,68	2,84
25	110	66,0	638	319	4,8	6,2	35	14	7,2	4	15,2	1,2	478	31,68	2,84
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	Parado para mantenimiento														-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
prom	105	68,7	616	309	4,0	5,2	33	14	8,4	5	15,4	1,1	455	29,80	2,83

Tabla 4 Base de datos utilizada para el análisis de la operación mes de diciembre.

D	Dens. CBN	N-65 H <sub>2</sub> O	temp 4	temp 5	p. pet quem.	p. vap quem.	air prim mm H <sub>2</sub> O	relac Pet/a	tiro mm H <sub>2</sub> O	ton. CBN	Análisis gases		Cons. Fuel	óxido calc.	Dens. óxido
	g/l	%	°C	°C	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>				t	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	l/h	t	g/cm <sup>3</sup>
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	170	67,8	604	284	1,5	4,4	38	14	12,1	6	15,4	1,0	518	30,72	2,85
11	200	69,0	640	271	1,5	4,4	39	14	13,6	5	15,4	1,2	542	36,52	2,81
12	190	69,0	642	267	2,8	4,4	34	14	10,1	6	16	1,0	477	44,16	2,84
13	200	69,0	672	287	2,7	3,8	28	13	7,7	7	15,6	1,4	370	48,01	2,85
14	160	67,8	676	327	2,6	3,9	31	15	11,3	8	16	1,2	468	30,84	2,86
15	170	67,5	665	294	2,8	4,2	36	13	12,7	5	15,4	1,2	459	48,01	2,84
16	180	68,5	702	274	3,2	4,8	36	13	13,2	5	15,6	1,0	473	41,29	2,86
17	180	70,0	657	307	3,2	4,9	38	13	12,8	7	15,6	1,2	482	47,05	2,88
18	180	68,7	595	298	3,4	4,6	39	12	13,6	7	15,6	0,8	485	36,48	2,84
19	180	67,0	569	298	3,2	4,6	38	13	13,6	5	16	1,2	477	36,48	2,87
20	160	68,8	565	244	3,2	4,9	35	12	12,3	5	15,6	0,8	425	27,84	2,86
21	200	67,8	524	248	2,7	3,9	36	14	13,3	7	15,2	1,2	512	19,20	2,84
22	190	66,8	557	279	2,8	4,8	38	13	11,7	5	16	1,0	499	30,55	2,86
23	180	67,5	597	287	3,1	5,4	38	13	11,3	5	15,4	1,3	485	28,80	2,86
24	140	68,0	565	303	3,3	5,4	38	13	10,9	5	15,6	1,2	492	36,48	2,84
25	140	69,1	600	309	3,2	5,2	34	14	8,8	5	15,2	1,0	462	32,64	2,86
26	120	68,7	577	317	2,7	3,9	34	13	9,3	6	16	0,8	447	30,72	2,86
27	140	67,5	587	312	2,4	3,8	34	14	9,3	6	15	1,2	465	32,64	2,86
28	170	69,2	557	277	2,5	3,8	36	13	11,2	6	15,4	1,0	465	27,84	2,86
29	160	69,4	563	257	2,6	3,5	36	13	12,4	6	16	1,0	478	34,56	2,86
30	140	67,5	561	266	2,3	3,7	32	14	12,0	7	15,4	1,1	451	25,92	2,85
31	130	68,2	554	252	2,9	4,3	32	14	8,1	6	15,2	1,2	442	26,88	2,85
prom	170	68,3	606	287	2,8	4,4	36	13	11,6	6	15,6	1,1	474	35,04	2,85

Tabla 5 Base de datos utilizada para el análisis de la operación mes de enero.

D	Dens. CBN	N-65 H <sub>2</sub> O	temp 4	temp 5	p. pet quem.	p. vap quem.	air prim mm H <sub>2</sub> O	relac Pet/a	tiro mm H <sub>2</sub> O	ton. CBN	Análisis gases		Cons. Fuel	óxido calc.	Dens. Óxido
	g/l	%	°C	°C	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>				t	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	l/h	t	g/cm <sup>3</sup>
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	180	68,1	575	290	2,7	4,1	37	12	11,2	7	15,2	1,0	428	24,96	2,84
4	140	67,4	591	262	2,6	4,3	38	12	8,8	6	15,8	1,2	443	34,56	2,84
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	190	67,9	686	305	2,7	3,7	34	12	9,8	6	15,2	1,0	416	21,12	2,84
8	160	68,8	637	283	2,6	4,7	37	12	10,5	7	15,0	1,2	445	44,17	2,86
9	110	67,8	587	257	3,1	4,4	33	13	12,1	6	15,8	1,0	437	32,64	2,83
10	100	66,8	622	270	2,3	3,3	38	12	9,2	6	15,4	1,0	442	23,94	2,85
11	100	68,4	602	262	2,3	3,8	34	12	9,5	7	15,4	1,2	418	25,92	2,85
12	120	69,1	610	265	2,6	4,4	42	11	10,8	7	16,0	1,0	448	24,96	2,86
13	120	68,2	647	272	2,4	4,2	32	12	11,1	7	15,6	1,4	385	25,92	2,86
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	200	66,8	666	293	3,3	5,1	43	11	11,4	7	15,6	1,0	466	21,12	2,87
17	200	66,4	522	237	3,9	5,3	43	11	11,5	8	16,0	1,0	489	21,12	2,87
18	160	65,5	577	248	2,8	4,4	39	11	11,9	8	15,2	1,0	436	32,45	2,86
19	140	69,0	613	253	2,6	4,5	35	11	10,3	7	15,0	1,2	386	38,40	2,85
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	190	66,4	677	275	2,8	4,5	34	13	9,2	6	15,0	1,2	455	34,56	2,86
25	200	66,5	342	309	2,8	4,4	47	11	9,1	7	15,2	1,2	497	23,04	2,87
26	190	67,2	505	212	2,9	4,1	37	11	8,8	6	15,0	0,8	399	29,58	2,85
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	190	67,5	621	264	2,7	4,1	38	12	11,6	7	15,2	1,2	461	42,24	2,86
29	140	67,2	636	277	2,8	4,2	39	12	12,3	7	16,0	1,0	483	32,64	2,84
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
prom	157	67,5	595	269	2,8	4,3	38	12	10,5	7	15,4	1,1	441	29,63	2,85

Tabla 6 Base de datos utilizada para el análisis de la operación mes de febrero.

D	Dens. CBN	N- 65 H <sub>2</sub> O	temp 4	temp 5	p. pet quem.	p. vap quem.	air prim mm H <sub>2</sub> O	relac Pet/a	tiro mm H <sub>2</sub> O	ton. CBN	Análisis gases		Cons. Fuel	óxido calc.	Dens. óxido
	g/l	%	°C	°C	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>				t	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	l/h	t	g/cm <sup>3</sup>
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	230	67,8	610	291	3,4	4,6	41	12	9,2	6	15,4	1,2	506	23,44	2,86
5	230	68,0	569	278	3,8	4,9	40	12	11,7	8	15,4	1,0	492	40,32	2,85
6	230	67,3	606	277	4,6	6,1	40	11	14,2	8	15,6	1,4	457	38,40	2,85
7	230	67,8	640	267	4,7	5,2	36	13	10,3	7	15,4	1,2	474	37,44	2,85
8	210	67,7	758	345	3,8	5,2	31	11	5,0	4	15,4	1,4	328	19,12	2,84
9	200	67,2	655	288	3,9	5,2	31	13	8,2	5	15,4	1,2	395	32,58	2,83
10	200	66,9	564	267	4,1	5,2	39	13	12,2	7	15,4	1,0	494	26,88	2,87
11	210	67,1	604	287	4,6	5,6	41	12	12,8	7	15,6	1,2	477	46,08	2,88
12	200	66,9	652	272	3,9	5,2	33	12	11,1	6	15,2	1,2	382	36,48	2,83
13	200	68,8	672	291	3,8	5,2	39	12	10,7	6	15,0	1,0	456	36,48	2,83
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	140	68,6	600	322	4,4	5,4	38	13	11,1	7	15,6	1,2	501	32,64	2,83
16	160	68,8	668	341	4,4	5,4	36	12	9,8	7	15,4	1,2	437	21,12	2,82
17	190	69,9	617	310	4,6	5,6	39	12	12,8	7	15,6	1,2	477	35,52	2,84
18	170	69,8	574	266	4,7	6,1	36	13	11,8	7	15,4	1,1	474	30,72	2,93
19	160	68,9	597	262	3,9	4,9	38	12	12,8	7	15,6	1,2	464	29,76	2,86
20	170	70,1	595	301	4,2	5,6	38	13	13,3	7	15,4	1,0	487	32,44	2,84
21	190	68,2	591	270	4,6	5,7	39	13	14,1	7	15,6	1,0	503	32,64	2,81
22	190	67,8	612	308	4,8	5,8	39	11	13,2	7	15,2	1,2	443	36,48	2,85
23	160	69,9	629	314	4,7	5,7	37	13	12,5	7	15,4	1,1	473	26,88	2,82
24	150	69,9	635	318	4,6	5,6	39	12	10,2	6	15,6	1,2	454	22,77	2,84
25	170	68,1	671	375	4,3	5,6	38	11	9,7	6	15,8	1,0	416	23,04	2,84
26	170	67,5	600	315	4,2	5,4	41	12	11,2	7	16,1	1,2	484	31,69	2,85
27	160	68,5	581	271	4,6	6,2	40	12	11,3	7	15,6	1,1	463	29,76	2,83
28	170	69,2	577	295	4,5	5,7	41	11	11,7	7	15,2	1,2	440	37,27	2,80
prom	187	68,4	620	297	4,3	5,5	38	12	11,3	7	15,5	1,2	457	31,66	2,84

Tabla 7 Base de datos utilizada para el análisis de la operación mes de marzo.

D	Dens. CBN	N-65 H <sub>2</sub> O	temp 4	temp 5	p. pet quem.	p. vap quem.	air prim mm H <sub>2</sub> O	relac Pet/a	tiro mm H <sub>2</sub> O	ton. CBN t	Análisis gases		Cons. Fuel l/h	óxido calc. t	Dens. óxido g/cm <sup>3</sup>
	g/l	%	°C	°C	kg/³	kg/cm³					%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>			
1	170	68,0	630	350	4,0	5,4	40	11,4	10,3	7	14,8	1,1	455	25,92	2,85
2	150	68,0	664	288	3,9	5,1	32	12,1	8,1	7	15,2	1,2	388	22,08	2,82
3	180	67,0	618	291	4,4	5,6	39	11,5	11,7	6	15,2	1,1	449	27,84	2,81
4	180	68,0	602	283	4,3	5,3	39	11,9	12,4	7	15,8	1,2	463	33,60	2,81
5	150	66,0	654	299	4,4	5,4	38	11,3	9,3	7	15,4	1,0	429	23,04	2,80
6	140	66,0	556	266	4,2	5,3	34	11,2	9,7	6	15,4	1,2	381	23,04	2,79
7	150	67,0	645	295	4,2	5,2	38	11,3	1,7	6	15,2	1,0	430	25,92	2,74
8	160	67,0	685	320	4,1	5,4	36	11,3	8,2	7	15,2	1,2	405	24,01	2,74
9	160	68,0	603	325	3,9	5,2	40	11,4	8,7	6	15,2	1,0	455	25,92	2,75
10	170	67,0	583	288	4,0	5,1	38	12,0	10,1	8	15,8	1,2	456	27,84	2,75
11	170	67,5	622	294	3,9	5,1	36	11,5	8,1	8	15,6	1,1	415	21,12	2,85
12	160	67,5	602	296	3,9	5,1	38	12,1	9,2	6	15,2	1,2	461	24,96	2,77
13	180	68,0	606	306	4,0	5,1	39	12,3	10,8	7	15,6	1,2	481	25,92	2,77
14	170	67,3	503	306	4,0	5,2	41	11,9	11,6	6	15,2	1,1	488	26,88	2,78
15	150	68,4	606	292	4,0	5,1	38	12,0	10,2	6	15,8	1,0	456	25,92	2,74
16	160	66,8	569	275	4,3	5,4	40	12,2	11,8	7	15,6	1,2	486	26,88	2,77
17	140	67,4	597	275	4,0	5,0	39	12,0	12,5	7	15,8	1,2	470	25,92	2,76
18	170	68,0	622	298	3,9	4,8	38	12,1	10,2	6	15,2	1,0	461	24,00	2,77
19	160	67,0	617	289	4,4	5,3	39	11,2	9,7	6	15,2	1,2	438	23,04	2,76
20	180	66,0	618	310	4,9	5,5	39	12,3	12,4	7	15,4	1,1	479	30,72	2,77
21	170	68,0	665	303	4,1	5,4	37	10,7	12,1	7	15,8	1,2	396	20,85	2,78
22	180	68,6	576	274	5,8	7,2	39	12,2	13,4	7	15,2	1,2	477	29,76	2,77
23	180	68,0	591	304	5,9	6,8	42	11,4	12,8	7	16,0	1,0	478	27,92	2,76
24	180	67,5	617	296	5,7	6,7	39	12,1	13,4	7	15,0	1,2	471	34,38	2,76
25	130	66,0	639	303	4,9	5,7	37	12,1	12,8	6	15,2	1,2	448	26,88	2,77
26	170	66,0	607	298	5,0	5,9	35	12,5	9,8	6	15,8	0,9	436	26,88	2,77
27	160	68,0	681	295	4,9	5,8	35	10,9	10,2	6	15,4	1,0	383	21,12	2,77
28	160	68,0	605	300	5,1	5,8	38	11,8	10,4	7	15,2	1,2	448	26,88	2,77
29	170	67,0	598	290	5,3	6,4	40	11,3	12,1	6	15,8	1,2	450	24,96	2,75
30	150	68,6	626	306	5,1	6,4	34	12,3	9,5	6	15,2	1,2	418	22,50	2,74
31	paro por baja densidad - - - - - - - - - - - - - - -														
prom	163	67,4	614	297	4,5	5,6	38	11,7	10,7	7	15,4	1,1	445	25,89	2,77