



Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia

Trabajo de Diploma

Evaluación de la calidad de los minerales de Pinares de
Mayarí en el Horno Selas de la Empresa “Comandante
René Ramos Latour”

Diplomante: Yaquelin Gainza Arcaya

"Año 52 de la Revolución



Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia

Evaluación de la calidad de los minerales de Pinares de Mayarí en el Horno Selas de la Empresa “Comandante René Ramos Latour”

Diplomante: Yaquelin Gainza Arcaya

Firma: _____

Tutor Técnico: Ing Georgina Tavío González

Firma: _____

Ing Airen Garbey F

Firma: _____

"Año 52 de la Revolución



AGRADECIMIENTOS

Agradezco la ayuda brindada por mis tutoras las Ingenieras Georgina Tavío González y Airen Garbey F en la realización de este trabajo,

Al Ingeniero Ricardo Rodríguez Guerra por brindarme toda su ayuda y dedicar mayor parte de su tiempo a la conformación de este trabajo.

A la compañera Berta Abreu por darme aliento y mucho apoyo en el momento en que más lo necesitaba.

*A los compañeros del Centro de investigaciones de la Industria del Níquel (CEINNIQ) que de una forma u otra colaboraron conmigo para la culminación de esta tarea.
Ing Lisett Chapman, María Elena Magaña, María Elena Trujillo, Dr Amauri Palacio por ayudarme en la elaboración del trabajo de diploma.*

A mi querido suegro Luis Eireos Almenares por toda su colaboración y ayuda para mi formación profesional, y a la compañera Isi por su disponibilidad para la impresión de este trabajo.

A mis compañeras de Ceproniquel Yulia y Marisela.

A la bibliotecaria Ana Roque por su colaboración



¡A todos ustedes muchas gracias!

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas aquellas personas que han contribuido de una forma u otra a mi formación profesional y espiritual.

En especial a mi hijo Lisandro Eireos Gainza por ser lo más grande y hermoso que tengo en la vida.

A mis padres Nicolás Gainza García y Zaida Arcaya Sanchez por darme todo su apoyo y dedicación para mi profesión.

A mi esposo Litxander Eireo Riverón por comprenderme y darme su amor y cariño

A mis hermanos que de forma directa o indirecta me han apoyado siempre principalmente a Yamilka Gainza Arcaya y a Felix Manuel Calzadilla Arcaya.

¡A todos ustedes muchas gracias por ayudarme a crecer con espíritu de lucha y sacrificio!



PENSAMIENTO

Debemos ir con afán investigativo, y con espíritu humilde, a aprender en la gran fuente de sabiduría que es el pueblo.

Ernesto Guevara de la Serna.



RESUMEN

El presente trabajo está encaminado al procesamiento a escala de banco en el horno Selas de los minerales de Pinares de Mayarí del frente, como se desconoce sus características se realizará una serie de pruebas con el mineral beneficiado y natural con vista a mejorar la calidad del mineral alimentado a la Empresa Comandante René Ramos Latour.

Se realizaron un total de 24 pruebas con tres repeticiones aplicando el diseño experimental propuesto 2^3 para cada una de las tres muestras procesadas.

Las muestras fueron preparadas para una granulometría acorde a las exigencias de su procesamiento en la reducción que aunque bastante finas en su característica natural se llevaron a 86 % de una malla menor de 0,074 mm. Los resultados obtenidos como promedio confirmaron que para este tipo de mineral el beneficio granulométrico si se separan las fracciones mayores de 2 mm no aporta incrementos en las extracciones de níquel y cobalto donde fueron muy similares para el níquel de 87,67 % con beneficio y sin él de 87,3%, para las extracciones de cobalto de 63,76 % con beneficio y 63,34% sin él, para el promedio de las condiciones de reducción utilizadas. Los resultados del extractable de níquel y cobalto por % de aditivo para todo tipo de mineral y diferentes temperaturas se obtiene como promedio diferencias positivas a favor del extractable de



níquel y cobalto, para el níquel un 3,79 % y 2,17 % para el cobalto, con el incremento del % de petróleo aditivo.

Los resultados del diseño del extractable de níquel y cobalto por temperatura de reducción para los dos % de petróleo aditivo utilizados y tipo de mineral se obtiene como promedio que al aumentar las temperaturas el extractable de níquel se incrementa en un 5,07 % obteniéndose un incremento insignificante para el extractable de cobalto

SUMMARY

Presently work was carried out tests to bank scale in the Furnance Selas with view to the improvement of the quality of the mineral fed to the Company Major René Fields Latour, they were carried out a total of 24 tests with three repetitions applying the proposed experimental design 23 for each one of the three processed samples.

The samples were prepared for an in agreement grain to the demands of their prosecution in the reduction that although quite fine in their natural characteristic they were taken to 86 % of a mesh smaller than 0,074 mm. The results obtained as average they confirmed that for this mineral type the benefit granulometric separating the fractions bigger than 2 % doesn't contribute increments in the nickel extractions and cobalt where they were very similar for the nickel of 87,67 % with benefit and without that of 87,3 %, for the extractions of cobalt of 63,76 % with benefit and 63,34 % without him, for the average of the used reduction conditions. The results of the nickel extractable and cobalt for preservative% for all mineral type and different temperatures are obtained like average positive differences in favor of the nickel extractable and



cobalt, for the nickel 3,79 % and 2,17 % for the cobalt, when the % of petroleum preservative is increased. The results of the design of the nickel extractable and cobalt for reduction temperature for two used % of petroleum preservative and mineral type is obtained like average that is increased in 5,07 % being obtained an insignificant increment for the cobalt extractable when increasing the temperatures the nickel extractable. This increment for the nickel extractable was between 84,95 % and 90,02 %.



ÍNDICE

	pag
INTRODUCCIÓN -----	1
CAPÍTULO I Marco teórico -----	4
1.1 Introducción-----	4
1.2 Antecedentes bibliográfico-----	4
CAPÍTULO II Materiales y métodos -----	13
2.1 Introducción-----	13
2.2 Toma de muestras-----	13
2.3 Métodos empleados -----	14
2.3.1 Metodología para la homogenización y cuarteo de las muestras-----	14
2.3.2 Metodología de reducción-----	14
2.3.3 Metodología de Lixiviación (QT y QTC) -----	15
2.3.4 Mitología y desarrollo del trabajo -----	16
2.4 Diseño de experimentos. -----	18
2.5 Materiales y utensilios-----	21
2.6 Conclusiones. -----	22
Capítulo III. Análisis de los resultados. -----	23
3.1 Introducción-----	23
3.2 Resultados obtenidos-----	23
3.2.1 Composición química de las muestras del mineral natural y beneficiado. ---	23
3.2.2 Análisis químicos de las muestras del mineral reducido y lixiviado. -----	24
3.2.3 Análisis de los resultados obtenidos-----	40
3.2.4 Análisis estadístico de los resultados de extractable de Ni y Co -----	44
Conclusiones -----	46
Recomendaciones -----	47
Bibliografía -----	48
Anexo -----	49



INTRODUCCION

A finales de los años 1930, específicamente en el año 1936, apareció en la escena de Cuba, la conocida compañía con capital a arriesgo ***Pardners Mines Corporation***. El presidente del consejo de administración era el Sr. Baragwanath J.G., y el vicepresidente Sr. Philip D. Wilson, tenían la imaginación para visualizar la importancia de algunos de éstos depósitos de minerales de hierro, como una valiosa fuente de níquel tuvieron el valor para arriesgar sumas sustanciales, para lanzar un proyecto para brindar níquel al mercado. Ellos adquirieron acciones sobre estas propiedades y empezaron la prospección de los minerales.

Motivados por la II Guerra Mundial y la necesidad de níquel, el gobierno de los Estados Unidos decide construir una fábrica en la Península Lengua de Pájaro al norte de la antigua provincia de Oriente, actual Provincia Holguín, para lo cual dispone un presupuesto de 40 millones de dólares.

Tras el triunfo revolucionario de 1959 la planta de Nicaro se mantuvo en operaciones bajo el control de los obreros técnicos y especialistas cubanos, que no abandonaron el país. El 24 de Octubre de 1960, se registra como la fecha de la nacionalización de la planta de Nicaro y sus yacimientos, estos se destinan a engrosar parte del patrimonio nacional, llevando desde entonces el nombre del Comandante del Ejército Rebelde René Ramos Latour, que fue obrero de esta industria. Este hecho, de gran significación para nuestro pueblo, estuvo matizado por grandes esfuerzos de los trabajadores del níquel que supieron mantener en alto la bandera de la producción, con el método de lixiviación carbonato amoniacal de los minerales lateríticos previamente reducido que utiliza esta industria.

Los minerales lateríticos han sido objeto de estudio de diferentes investigadores, la mayoría encaminados a la recuperación del níquel y su incorporación a las plantas



metalúrgicas. De forma general, los principales resultados de las investigaciones realizadas hasta el momento, han estado dirigidas a la caracterización desde el punto de vista geológico, físico, químico y mineralógico, de los minerales lateríticos y de sus escombros, con el objetivo de un mayor aprovechamiento de estas materias primas, para la producción de níquel. La preparación y beneficio de minerales lateríticos, para garantizar los índices metalúrgicos, principalmente de los procesos de sedimentación y lixiviación en la Tecnología Ácida a Presión. La obtención de concentrados de cromo y hierro, fundamentalmente para la industria ferrosa.

El desarrollo de tecnologías para la recuperación u obtención de determinados elementos presentes en los minerales lateríticos. El encarecimiento de los procesos tecnológicos actuales producto del alto costo energético y la caída progresiva o a veces fluctuaciones del precio de los metales en el mercado, en el contexto de la actual crisis financiera mundial ha generado diversos cuestionamientos de los investigadores, tecnólogos y en general la sociedad minera, sobre la búsqueda de procesos tecnológicos alternativos, lo cual puede lograrse, entre otros, mediante beneficio del mineral de níquel a procesar con un crecimiento del contenido de níquel y cobalto y la disminución de componentes nocivos.

Por cuanto, los procesos de beneficio a emplear pueden incurrir en bajos costos de operación y el incremento en los productos separados de los componentes valiosos pueden aumentar su extracción, se justifica el estudio y la utilización de los procesos de beneficio en la preparación de los minerales lateríticos (Hernández y Falcón, 1993). El beneficio previo del mineral no solo incrementa en productos separados el contenido de uno u otro componente, sino que garantiza la uniformidad mineralógica en la alimentación al proceso extractivo.



La Empresa “Comandante Rene Ramos Latour” de Nicaro se trazó un programa de muestreo tecnológico de los minerales de Pinares de Mayarí que sustentan la minería de los años 2010-2012 con el objetivo de definir los parámetros que mejoren la eficiencia metalúrgica y la dilución minera.

A pesar de que existe una estrategia para garantizar el aprovechamiento racional de los recursos minerales, así como los contenidos de níquel y cobalto en el mineral a procesar, no se han realizado estudios de tostación que permitan definir el comportamiento de los minerales de Pinares de Mayarí durante la tostación reductora en el horno de soleras múltiples, lo cual permitiría tomar las decisiones adecuadas en cuanto al ajuste de determinadas variables operacionales durante la tostación, los cuales tributen a un incremento de los extractables en el proceso de lixiviación carbonato amoniacal.

Teniendo en cuenta los aspectos antes mencionados se considera como **Problema:** Desconocimiento del comportamiento de los minerales de Pinares de Mayarí durante la tostación reductora, para su tratamiento mediante la Tecnología Carbonato Amoniacal de la Empresa Comandante René Ramos Latour.

Campo de acción: Transformaciones físico- químico del proceso de reducción.

Objetivo general:

Evaluar la incidencia de la temperatura, el por ciento de petróleo aditivo y el diámetro de las partículas de mineral de Pinares de Mayarí en el proceso de tostación reductora.

Tareas específicas:

1. Determinación del estado de arte de la temática a tratar



2. Evaluación experimental del proceso de tostación reductora de los minerales de Pinares de Mayarí utilizando el Horno Selas
3. Determinación de los extractables de níquel y cobalto durante la lixiviación carbonato amoniacal en los turboaeradores de banco para comprobar los resultados en las diferentes condiciones de tostación.



CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.

1.1 Introducción

El desarrollo de toda investigación está estrechamente relacionado con la búsqueda y análisis bibliográfico debido a que a través de este podemos definir las condiciones bajo las cuales se ha llevado a cabo el proceso y de esta manera poder determinar el rumbo de investigaciones posteriores.

Antecedentes bibliográficos

La preparación de los minerales lateríticos para el proceso extractivo Carbonato Amoniacal, hasta el presente, se ha efectuado mediante el secado y la reducción de tamaño, al reducir el tamaño de las partículas se logra mayor eficiencia en las operaciones de reducción y lixiviación.

La preparación mecánica a que se somete el mineral actualmente no garantiza la calidad de la mena de alimentación al proceso, lo que exige durante la explotación minera la extracción de minerales de varios frentes de arranque, mezclándolos para compensar la variabilidad química y mineralógica entre zonas e ínter zonas; aunque se logra mantener la composición química de los elementos principales (Ni, Co, Fe, SiO₂ y MgO) en los límites requeridos, no se regula la composición mineralógica y se pierden recursos que al no contar con métodos de preparación ulterior pasan a los depósitos de residuales.

Varios investigadores han abordado la temática de caracterización del proceso de tostación reductora de los minerales lateríticos de diferentes frentes del yacimiento de Pinares de Mayarí, entre ellos se destacan los siguientes:



Magaña (2002), realiza un estudio sobre el tratamiento a escala de banco de muestras tecnológicas para la determinación del factor de escalado en la empresa René Ramos Latour. Para ello se utilizan 40 muestras tecnológicas obtenidas del mineral a procesar por la Planta de Hornos de Reducción en diferentes turnos de trabajo. La composición química de las muestras fue variable siendo el contenido de níquel desde 0,99 hasta 1.20 %, el de cobalto desde 0,080 hasta 0,099 %, el de hierro desde 38.6 hasta 44,7 % y la fracción magnética desde 4,5 hasta 14,2 %.

Los parámetros de reducción utilizados fueron tiempo para alcanzar la temperatura máxima de reducción 60 min y el tiempo de retención a la temperatura máxima 10 min, temperatura máxima varía entre 660-750 °C. Se simula la temperatura promedio del mineral en la reducción a escala industrial.

Al comparar los resultados obtenidos a nivel de banco con los obtenidos en la industria con las mismas muestras tecnológicas, y los resultados obtenidos para la temperatura de 750 °C, el factor de escalado es de 5,2 % y tiende a disminuir hasta alcanzar valores similares de extracción que la industria cuando la temperatura de procesamiento disminuye hasta 660 °C.

Tavio (2006), En un trabajo similar se procesan otras 14 muestras tecnológicas. En este caso la composición química de las muestras es variable siendo el contenido de níquel desde 1,07 hasta 1,13 %, el de cobalto desde 0,086 hasta 0,105 %, el de hierro desde 39,6 hasta 41,9 % y la fracción magnética desde 2,0 hasta 6,0 %.

Al comparar los resultados obtenidos a nivel de banco para la temperatura de 750 °C, con los obtenidos en la industria, el factor de escalado es de 7,87 % como promedio en la Planta Vieja y 8,36 % en la Planta Nueva.



Estos valores son superiores al valor de 5,02 % reportado en el trabajo anterior. En este período existe una diferencia sustancial en la forma de incorporar industrialmente el petróleo aditivo.

Tavío (2007), se reporta el desarrollo de pruebas de banco para la prerreducción de mineral saprolítico del yacimiento Yamanigüey para la producción de Ferroníquel. Se estudió a nivel de banco en el horno Selas el efecto sobre el extractable al variar cada uno de los factores que intervienen en el proceso de reducción de la serpentina.

La investigación es realizada en dos etapas, la primera incluye a un mineral con un 2 % de humedad y una fineza menor de 6 mm. En la segunda etapa utiliza otro mineral, este de mayor granulometría que el primero (hasta 50 mm) este mineral fue secado hasta obtener un 8 % y un 12 % de humedad.

En la primera etapa se hicieron 8 pruebas, con petróleo y carbón, con carbón y sin petróleo, y con petróleo solamente. La temperatura máxima fue de 850-900 °C con una velocidad de calentamiento de 7,5 y 8,33 °C/min. El petróleo se utilizó con 2 valores de dosificación, en 4 % y 8 % mientras que el carbón con un 4 %, 5 %, 6 % de peso del mineral. Luego de ser reducido el mineral, se enfría en un tiempo de 4 horas. En las primeras corridas, la extracción se efectúa con gas (argón).

En la segunda etapa el mineral es sometido a una preparación mecánica. Este mineral contiene fracciones mayores de 50 mm y una humedad de un 20 %. El mismo fue secado en el secador de bandejas de la Planta Piloto de Nicaro durante 4 y 8 horas hasta llevarlo a las dos humedades exigidas y necesarias (12 %, 8 %) respectivamente. El material es tamizado en un tamiz de 19 mm, las fracciones mayores fueron molidas en un martillo de quijada hasta que todo el mineral pudiera pasar por la malla, el carbón a utilizar fue sometido al mismo proceso. En estas pruebas se utilizan las mismas



condiciones de la primera etapa, pero la velocidad de calentamiento es menor (4,63 °C/min.) y el tiempo de retención en el horno fue de 110 min.

Las mejores extracciones se obtienen cuando se utiliza petróleo y carbón a la vez como aditivos (85,88 %), lo cual corresponde a 4 % de cada uno. Utilizando el carbón solamente la extracción fue sumamente pobre (55,25 %). La velocidad de calentamiento es un factor fundamental a tener en cuenta en los procesos de reducción, ya que esta influye considerablemente en el mismo.

Gainza (2008), se procesaron 10 muestras tecnológicas a escalas de banco de la Empresa Comandante René Ramos Latour. Se ejecutaron pruebas a 700 °C para las muestras de la Planta Vieja y a 730 °C para las muestras de la Planta Nueva comparando las extracciones de níquel y cobalto a menores temperaturas que son las que en esos momentos se utiliza en la Planta Metalúrgica.

Al comparar los resultados obtenidos a nivel de banco a temperaturas de 700 y 730 °C, con los obtenidos en la industria, el factor de escalado es de 3,89 % como promedio en la Planta Vieja y 5,47 % en la Planta Nueva.

Cuando las muestras son procesadas a menores temperaturas a nivel de banco, los resultados obtenidos en la extracción de níquel y cobalto se acercan más a los obtenidos en la planta metalúrgica, o sea la diferencia entre los valores de extracción es mucho menor, en comparación con las muestras procesadas a la temperatura de 750 °C donde el factor de escalado es de 7,87 % para las extracciones de níquel en la Planta Vieja y de 8,36 % para las extracciones de níquel en Planta Nueva.

Tavío (2008), En el estudio se procesan 6 muestras del depósito exterior a escala de banco en la Empresa Comandante René Ramos Latour. Se ejecutaron pruebas a 750 °C y 3 % de petróleo aditivo para 6 muestras tomadas de un muestreo transversal al



Deposito Exterior para pronosticar las extracciones de níquel y cobalto que pudieran obtenerse en la Planta Metalúrgica al procesar este tipo de mineral de Pinares de Mayarí.

El mineral muestreado presentó una composición química promedio de níquel 1,10 %, cobalto de 0,107 %, hierro de 46,7 %, SiO₂ de 6,55 % y MgO de 3,12 % para un número de mineral (Na) de 2,58. Las seis muestras fueron bastante similares ya que las variaciones de estos componentes para las 6 muestras estudiadas fue para el níquel entre 1,07-1,13 %, para el cobalto de 0,101-0,117 %, para el hierro entre 45,9-47,4 %,

Para la sílice entre 7,25-6,55 % y el magnesio entre 2,38-3,34 % para variaciones en el número de mineral entre 2,15-3,59.

En el procesamiento a 750 °C con un 3 % de petróleo aditivo que simula un procesamiento industrial con 2,5 % se obtuvieron extracciones de níquel entre 86,32 y 88,75 % para un promedio de las seis muestras de 87,51 % y para la extracción de cobalto entre 55,19 y 61,79 con promedio de 58,90 %.

El factor de escalado obtenido en el trabajo que se realizó entre el 23 de julio al 3 de agosto del 2007 al procesar las muestras a 750 °C y el mismo % de aditivo fue de 7,87 % para las extracciones de níquel en la Planta Vieja y de 8,36 % para las extracciones de níquel en Planta Nueva., por lo que si las condiciones fueran similares a las de ese período las extracciones a obtener con respecto al resultado del Horno de banco serian en la Planta Vieja de 78,45-80,88 % y en la Planta Nueva entre 77,96-80,39 %, aunque en estos momentos pudieran perfectamente superarse estos valores.



Tavío (2006), Se realiza el procesamiento en el horno Selas y posterior lixiviación de muestras del mineral de pinas depositado en la plazoleta de la planta piloto

La composición química de las muestras fue la siguiente:

Contenido de níquel 1,16 %, de cobalto 0,105 %, de hierro 47,8 % y la fracción magnética 4,0 %. La granulometría de la malla -200 mesh resultó de 91,2 %

Se ejecutó un diseño de experimento para tres variables independientes a dos niveles y un valor en el centro con dos repeticiones para un total de 27 corridas experimentales. Las variables independientes fueron % de petróleo aditivo, temperatura máxima y tiempo de retención, pero el tiempo para alcanzar la temperatura máxima se fijó siempre en 60 minutos. Se repitió el mismo diseño para petróleo crudo.

Para todos los datos obtenidos los valores promedio máximos de níquel y cobalto extractables resultaron 91,0 y 62,0 % respectivamente para el procesamiento con petróleo regular, muy similar a los obtenidos con petróleo crudo con dosis 0,5% superiores, además los niveles de temperatura estudiados de 680-720 °C no resultaron significativos, en cambio los niveles para el petróleo aditivo entre 4 % y 2 % sí presentan una alta significación sobre las extracciones de níquel, no así los tiempos de retención.

Para las extracciones de cobalto el efecto de la dosis de petróleo también es significativo, el efecto de las temperaturas es mucho mayor que para las extracciones de níquel y a medida que la temperatura aumenta es posible lograr mejores extracciones de cobalto con menores dosis de petróleo, además contrariamente a la extracción de níquel donde el tiempo de retención no fue significativo, en la extracción de cobalto si lo fue, con un coeficiente de regresión de 2,18.



Se evidenció que el tipo de mineral procesado presenta condiciones favorables de sedimentación, con velocidad de sedimentación después del imán que aumenta si se disminuyen las condiciones de reducción sobre todo el % de petróleo y varía para todas las combinaciones de tratamiento entre 1,87 y 3,12 m/h como promedio, además la densificación a las 24 horas es la mayor obtenida en comparación a todas las pruebas realizadas y varía entre 1815 y 1961 g/L procesando el mineral con petróleo regular, con petróleo crudo fueron similares, aunque se presentaron algunos licores turbios cuando el procesamiento fue a menores temperaturas y mayor dosis de petróleo, por los niveles de carbón obtenidos.

Con la combinación de tratamientos que produjo mejores extractables de níquel y de cobalto que fueron las condiciones para el máximo nivel de todas las variables, se repitieron varias pruebas en el Horno de Banco (Selas) logrando la cantidad necesaria de mineral reducido para la ejecución del resto de las corridas en la instalación con el turboaerador de mayor tamaño y cumplimentar el resto de los objetivos del trabajo cuyos resultados aparecen a continuación.

En la próxima etapa de este trabajo se ejecutan pruebas a 700 °C para las muestras de la Planta Vieja y de 730 °C para las muestras de la Planta Nueva y comparar las extracciones de níquel y cobalto a menores temperaturas que son las que en esos momentos se utiliza en la Planta Metalúrgica

En el año 2009 se realizó el procesamiento en el horno Selas de muestras de mineral alimentado a los hornos de reducción de la Empresa Ernesto Che Guevara en el mes de mayo. Se ejecutaron pruebas a 750 °C en el Horno de banco Selas a 29 muestras de mineral alimentado a los hornos de reducción de la ECG en el mes de mayo del 2009.



El mineral procesado corresponde a los días 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 y 27 de mayo del 2009. Se muestrearon las lozas 1, 2 y 3 de los Hornos de Reducción. Las mismas presentaron una composición química de níquel que varió desde 1,09 – 1,22 %, el de cobalto desde 0,080 – 0,109 %, el hierro 38,10 – 42,60 %, la sílice 6,14 – 11,13 %, el magnesio de 2,50 – 5,75 %, el aluminio de 7,89 – 9,79 %, el cromo de 2,76 -2,73 %, el manganeso de 0 ,46 -0,73 %, el cobre de 0,007 – 0,017, el zinc de 0.007 - 0.018 %, el carbón de 2.14 – 2.58 % y el azufre de 0.124 - 0.269 %. La densidad real varió desde 3,02 – 3,44 g/cm³ y la aparente entre 0,74 – 0,89 g/cm³ y la fracción magnética de 4 -14 %. Todas las muestras se procesaron a temperatura máxima de 750 °C, con un tiempo de retención de 10 minutos y 60 minutos de calentamiento. Las extracciones obtenidas son superiores a 86,37 % para el níquel y a 49,43 % para el cobalto.

Todos los antecedentes Bibliográfico que se han expuesto tienen en común que el mineral reducido se lixivió con licor con altas concentraciones de amoníaco y dióxido de carbono para determinar las extracciones máximas de níquel y cobalto y con licor de contacto para conocer la velocidad de sedimentación antes y después de magnetizada la pulpa, además de la densificación a las 24 horas.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS



2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo la tarea fundamental para la mejora de la calidad del mineral alimentado a la empresa consiste en realizar pruebas en Horno Selas para evaluar el impacto de la separación de las fracciones mayores de 2 mm en la reducción, según diseño de experimento. Para lograr este objetivo se realizan las siguientes tareas:

- Preparación de muestras naturales y beneficiadas (secado y molienda).
- Reducción en el Horno Selas de las muestras de mineral natural y beneficiado según diseño de experimento elaborado.
- Lixiviación a escala de banco para la obtención de las extracciones de níquel y cobalto, y de pruebas QTC para la determinación de las velocidades de sedimentación de las pulpas antes y después de magnetizadas y densificación a las 24 horas de las pulpas.

2.2 Toma de muestras

La muestra fue tomada del mineral de entrada a la fábrica Comandante René Ramos Latour (Yacimiento Pinares de Mayarí) En la siguiente etapa se extrajo lo planificado y se conformaron pilas por separado, según el dominio, se caracterizaron y con los resultados del muestreo se conformó el compósito final que se transportaría. A partir de este compósito final se toma una muestra de 2 ton, la cual es trasladada a las instalaciones de la UPN en 3 big – bag.

Este mineral fue secado, clasificado luego del cuarteo, se realizó la separación de los minerales más gruesos de los pequeños (cribado), se homogenizaron y luego del beneficio se separaron las fracciones con una granulometría menores de 20 mm.



Además de la muestra general de 1500 ton, se tomaron 100 ton del mineral enmarcado entre Ni de 0,9 y 1,0 %, que en la actualidad se trata como escombros, para probar su comportamiento metalúrgico.

2.3 Métodos empleados

2.3.1 Metodología y desarrollo del trabajo

La muestra distribuida en 3 Big Bag, se trató como muestras diferentes, con el objetivo de obtener repetibilidad en los resultados y mejor manejo por menor volumen a la hora de preparar y cuartear. Los bolsos fueron identificados y pesados, en la tabla 2.1 aparecen los pesos.

Tabla 2.1 Masa de las muestras de minerales de Pinares de Mayarí.

Número de muestra	Masa (kg)
Muestra -1	934
Muestra -2	930
Muestra -3	988

2.3.2 Metodología para la homogenización y cuarteo de las muestras

Las muestras 1, 2 y 3 fueron homogenizadas y cuarteadas por el método de cono y anillo cada una por separado, obteniéndose al final tres repeticiones, una para la caracterización química y granulométrica y las dos restantes para procesar en el horno Selas. Se empleó un equipamiento que constó de un montacargas, un cargador frontal, palas y carretilla.

Selección y caracterización



Las muestras para la realización de las pruebas en el Horno Selas se tomaron de la caracterización realizada, divididas en muestras naturales y beneficiadas. A estas muestras se les realizaron las siguientes determinaciones: Ni, Co, Fe, SiO₂, MgO.

Descripción de la actividad

1. Tomar un Kitasato con capacidad de 300-400 gramos de mineral reducido (puede ser de los coolers u hogares del horno, en dependencia de lo que establezca el investigador). Este recipiente tiene que estar provisto de un tapón de goma lo suficientemente ajustado y de un pedazo de manguera en el tubo lateral con una presilla ajustada de forma tal que no haya posibilidad alguna de entrada de aire para evitar la reoxidación del mineral.
2. Purgar con gas inerte el interior del Kitasato, mediante una corriente que se hará fluir a través del tubo lateral, extrayendo este momento el tapón de goma de la boca del Kitasato y colocándolo cuando se haya evacuado todo el aire, quedando el recipiente cargado de gas inerte.
3. Tomar la muestra y manipular con sumo cuidado para evitar la reoxidación del mineral.

2.3.3 Metodología de reducción

Se toma una muestra de 700 gramos de minerales previamente mezcladas con el % de petróleo se introducen en cada botella, calentándose en el Hornos Selas. Cuando se alcanza la temperatura prevista de procesamiento en un tiempo fijo de 60 minutos, las botellas se dejan durante 10 minutos de retención a esa temperatura, luego se deja enfriar hasta 100 °C dentro de la botella y es extraída en atmósfera inerte (gas argón) hacia recipientes herméticos y que contienen también gas argón para evitar la reoxidación del mineral, trasladándola al laboratorio para someterla a la lixiviación y



previamente se toman muestras de mineral reducido para el análisis del mismo (Ni, Co, Fe, Fe⁺⁺, Fe^o Ni^o).

Las pruebas fueron realizadas mediante el diseño de experimento antes mostrado y su matriz de tratamiento se muestra más adelante.

2.3.4 Metodología de Lixiviación.(QT y QTC)

QT: Prueba realizada a nivel de banco para establecer las condiciones de operación en lixiviación con vista a obtener la máximo recuperación de los metales .La parte práctica operacional se realiza mediante el siguiente procedimiento:

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

El beaker que contiene el licor, y que ha sido previamente tarado, se coloca en la balanza y mediante el sinfín se pesa 100 g del mineral reducido que contiene el kitasato. Los 1000 ml restantes de licor fresco, medidos en una probeta de boca ancha, se mezclan con el contenido del beaker y se depositan en el turbo de banco enjuagándose de tal forma que no quede mineral en el recipiente. Se ajusta el agitador a la mazorca del motor, se tapa y se pone en agitación durante 2 horas y 45 minutos.

El aire se introduce mediante un burbujeador lateral que posee el turbo, y que consiste en un tramo de tubo que descarga en el fondo de este, se mide mediante un rotámetro



colocado en la línea de flujo de aire regulando mediante este, la cantidad de aire por gramos de mineral reducido.

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

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

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

La muestra cabeza se toma en un pomo pequeño, el cual se tapa y se envía al laboratorio para ser analizado. El producto final del proceso es el sólido y el licor lixiviado.

Los parámetros para la realización de la prueba son:

- relación líquido/sólido: 14/1
- tiempo de retención: 2 horas 45 minutos
- aire: $0,64 \text{ m}^3/\text{gramos}$ de mineral
- Concentración de amoníaco en el licor fresco entre 100-120 g/l.



- Concentración de CO_2 de 60-70 g/l.

QTC: Prueba realizada a nivel de banco para simular el proceso de lixiviación de la primera etapa de la planta metalúrgica y determinar la más probable velocidad de sedimentación de la pulpa lixiviada antes y después del imán, así como la densificación.

Densificación: densidad de la pulpa al cabo de 24 horas.

Las pruebas QTC es el mismo procedimiento solo que en este es medir en un Beaker 250 mL de licor de contacto, se pesa 250 g del mineral reducido que contiene el kitasato. Los 1000 ml restantes de licor de contacto, medidos en una probeta, se van mezclando con el contenido del beaker y se depositan en el turbo de banco enjuagándose de tal forma que no quede mineral en el recipiente.

A la pulpa lixiviada se determina la velocidad de sedimentación antes y después del electroimán así como se deja densificar 24 horas.

Los parámetros para la realización de la prueba son:

- Relación líquido/sólido: 5/1
- Tiempo de retención: 60 min.
- Aire: 0.,20 m³/ kg de mineral reducido.
- Concentración de amoníaco del licor de contacto.

2.4 Diseño de experimentos

Diseño de las corridas a escala de banco en horno Selas



Se realizará pruebas a escala de banco con el mineral natural y con el beneficiado según el diseño de experimento que aparece a continuación.

Tabla 2.2 Variables de entrada y niveles.

Variablen	Nivel máximo (+)	Nivel mínimo (-)
X_1 – Temperatura (° C)	800	700
X_2 – Petróleo aditivo, (%)	3,5	2,5
X_3 – Diámetro medio de las partículas, mm	30,0	1,0

Se realiza un total de 24 corridas experimentales en el horno Selas, con 3 repeticiones, 8 corridas para cada una de las tres muestras de mineral obtenidas a las cuales se le separaron a cada una las partículas superiores a 2 mm y se denomina a esa muestra (Beneficiada). En total se obtuvieron 72 respuestas del diseño, siendo estas, extractables de níquel y cobalto, la velocidad de sedimentación de las pulpas y su densificación a las 24 horas.

Las pruebas en hornos Selas se desarrollan según la metodología establecida en la UPN con las cuales se determinará cuánto mejora la calidad del mineral alimentado.

Para la evaluación se utilizará el horno Selas que es un equipo de trabajo a escala de banco que permite el procesamiento simultáneo de 6 muestras diferentes.

Determinación del números de experimentos N.

$N = \theta^n = 2^3 = 8$ pruebas experimentales.

donde:

θ : número de niveles.

n: número de variables de entrada.



Se realizan 2 réplicas y en total se necesitan 24 pruebas experimentales. En la tabla 2.3 se muestra la matriz descodificada de los valores reales para las variables de entrada.

Tabla 2.3 Matriz descodificada del diseño de experimentos.

Exp	Temperatura (° C)	Petróleo aditivo, (%)	Diámetro medio de las partículas, mm
1	800	3,5	30
2	700	3,5	30
3	800	2,5	30
4	700	2,5	30
5	800	3,5	1
6	700	3,5	1
7	800	2,5	1
8	700	2,5	1





Figura 2.1 Vistas del Horno de banco Selas.

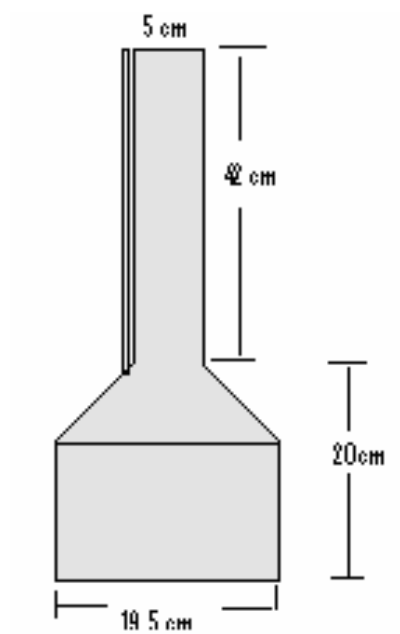


Figura 2.2 Esquema simplificado de la botella del Horno Selas.



2.5 Materiales y utensilios

Equipos utilizados

- Carretilla.
- Horno Selas.

Utensilios

- Kitasato de capacidad 1L
- Tubería de aluminio, presilla y tapón de goma
- balanza analítica (SARTORIUS)
- Rotámetros
- Embudo

Materiales

- Mineral crudo.
- Petróleo aditivo
- Gas licuado
- Argón

Materiales para las pruebas de QT y QTC

- Mineral reducido
- Argón
- balanza (SARTORIUS) 0 a 2600 g



- Licor Fresco QT(concentración 100 -120 g/l)
- Licor de contacto QTC

Utensilios para las pruebas de QT y QTC

- Probetas 1L
- Turbos de banco de hierro(2,5L)
- Rotámetros
- Becker 500 ml
- Estufa
- Papel de filtro
- Mangueras y presillas
- Kitasatos
- Embudo

2.6 Conclusiones

- Se describen los utensilios, herramientas y materiales a utilizar en los experimentos propuestos para determinar la calidad de los minerales de pinares de Mayarí con y sin beneficio granulométrico.
- Se realizó el diseño de experimentos capaz de procesar estadísticamente los resultados experimentales durante las pruebas analizadas y propuestas.
- Se describen los métodos de experimentos para el desarrollo de la investigación.



CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

En el presente capítulo se muestran los resultados de los experimentos realizados en el Horno Selas durante el período de análisis. Los resultados obtenidos como promedio confirmaron que para este tipo de mineral el beneficio granulométrico separando las fracciones mayores de 2 % no aporta incrementos en las extracciones de níquel y cobalto donde fueron muy similares para el níquel de 87,67 % con beneficio y sin el de 87,3 %, para las extracciones de cobalto de 63,76 % con beneficio y 63,34 % sin él, para el promedio de las condiciones de reducción utilizadas. También se realizó un análisis estadístico con el diseño de experimentos propuesto, donde se obtuvo una alta significación en los parámetros temperatura y % de aditivo.

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS

3.2.1 Composición química de las muestras del mineral natural y beneficiado

En las tablas 1 y 2 se muestran la composición química de los minerales alimentados con y sin beneficio.

Tabla 1 Composición química del mineral alimentado natural.

Muestras Naturales	Ni	C o	Fe	SiO₂	MgO	Na
M-1 nat	1,07	0,172	48,2	5,25	2,39	4,11
M-2 nat	1,14	0,168	49,2	6,08	3,36	2,75



Tabla 2. Composición química del mineral alimentado beneficiado.

Muestras Beneficiadas	Ni	Co	Fe	SiO₂	MgO	Na
M-1 ben	1,08	0,185	46,9	4,60	2,31	4,77
M-2 ben	1,11	0,178	48,5	4,97	2,88	3,76
M-3 ben	1,09	0,184	49,4	4,55	2,15	5,50

Para los minerales alimentados natural la composición de níquel oscila en 1,07 y 1,14 % y el Co entre 0,168 y 0,184 %. Para las muestras beneficiadas la composición del níquel oscila entre 1,08 y 1,11 y el Co entre 0,178 y 0,185 %. El número de mineral para estas muestras es superior a 3,5 por lo que se considera una materia prima en la que se puede obtener buenos resultados en la reducción.

3.2.2 Análisis químicos de las muestras del mineral reducido y lixiviado

A continuación se presentan todos los resultados obtenidos del diseño ejecutado tanto para las muestras naturales con la muestra beneficiada, para las diferentes condiciones de reducción según diseño previsto y las diferentes combinaciones obtenidas y sus tres repeticiones por lo que se obtienen 72 resultados. Se presentan los resultados



obtenidos para cada una de las combinaciones de tratamiento para los dos tipos de muestra, natural y beneficiada y con las tres repeticiones realizadas, la composición química del mineral reducido y de la cola QT, velocidad de sedimentación antes y después del imán y extracción de Ni y Co para temperaturas de 700 °C para las muestras naturales.

En la tabla 3 se muestra la composición química del mineral reducido para las muestras naturales a 700 ° C y aditivo 3,5 %.

Tabla 3. Composición química del mineral reducido para las muestras naturales a 700 ° C y aditivo 3,5 %.

Muestras naturales	MR								
	Ni	C o	Fe	Fe++	FM	Fe°	Ni°	C	S
M-1nat	1,24	0,2	54,9	28,3	48	3,9	1,01	1,7	0,1
M-1nat	1,25	0,201	55	28,1	48	3,8	1,03	1,71	0,1
M-1nat	1,24	0,201	54,4	26,6	50	3,6	0,85	1,84	0,1
M-2 nat	1,24	0,193	54,5	27,3	56	4,6	1,1	1,7	0,1
M-2 nat	1,24	0,195	54,9	25,5	50	4,3	1,11	2,15	0,1
M-2 nat	1,22	0,189	54,4	22,7	50	4,1	1,03	2,01	0,1
M-3 nat	1,29	0,213	55,7	28,7	54	2,3	1,13	1,15	0,2
M-3 nat	1,3	0,214	55,4	27,3	54	4,2	1,1	1,18	0,2
M-3 nat	1,28	0,215	55,6	26,1	52	4,2	1,07	1,01	0,2
Promedio	1,26	0,202	55	26,7	51,3	3,9	1,05	1,61	0,15
Máximo	1,3	0,215	55,7	28,7	56	4,58	1,13	2,15	0,17
Mínimo	1,22	0,189	54,4	22,7	48	2,3	0,85	1,01	0,12
Desviación	0,03	0,01	0,5	1,84	2,83	0,67	0,08	0,4	0,01



En las tablas se marcan en negrita los resultados que resultaron erróneos, muy alejados de los valores normales, puesto que se realizaron tres repeticiones para cada condición y para las tres muestras estudiadas.

Para las muestras naturales la composición promedio de Ni fue de 1,26 % con un máximo de 1,3 % y un mínimo de 1,22 %, la composición promedio del Co fue de 0,202 %, con un máximo de 0,215 % y un mínimo de 0,189 %, las desviaciones estándar están por debajo de 0,03, indica muy poca variabilidad en estos contenidos.

En la tabla 4 se muestra la composición química de las colas QT y extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Tabla 4. Composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Muestras naturales	QT					Velocidad Sedimentación		Densidad 24 horas	Extracción	
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	AI	DI		Ni	Co
M-1nat	0,15	0,079	54,8	11,3	38,0	0,5	1,31	1677	87,7	59,6
M-1nat	0,17	0,080	54,7	11,0	42,0	0,42	1,29	-	86	59,02
M-1nat	0,16	0,073	54,2	10,3	44,0	0,45	1,14	1509	86,7	62,26
M-2 nat	0,15	0,067	52,9	12,7	50,0	0,52	1,26	1514	87,8	62,91
M-2 nat	0,16	0,064	53,2	12,1	40,0	0,5	1,23	1574	87	64,77
M-2 nat	0,23	0,070	53,3	10,3	48,0	0,43	0,84	1576	81,4	61,54
M-3 nat	0,15	0,071	52,8	12,0	48,0	0,45	0,82	1893	87,6	64,77
M-3 nat	0,20	0,076	53,0	12,3	46,0	0,45	0,84	1631	83,5	62,44



M-3 nat	0,21	0,076	52,3	11,3	52,0	0,44	1,08	1572	82,4	61,93
Promedio	0,18	0,073	53,47	11,48	45,33	0,46	1,09	1618	85,55	62,14
Máximo	0,23	0,080	54,80	12,70	52,00	0,52	1,31	1893	87,76	64,77
Mínimo	0,15	0,064	52,30	10,30	38,00	0,42	0,82	1509	81,38	59,02
Desviación	0,03	0,005	0,89	0,86	4,69	0,04	0,21	124,09	2,47	1,97

De un total de 9 muestras se obtuvo una extracción promedio de Ni en 85,55 % la misma osciló entre 81,38 % hasta 87,76 %, la extracción promedio del Co fue de 62,14 % oscilando desde 59,02 % hasta 64,77 % con una desviación del Ni de 2,47 y el Co de 1,97.

El valor de velocidad de sedimentación promedió 1,09 m/h, con un mínimo de 0,82 m/h, donde se considera un valor bajo y un máximo aceptable de 1,31 m/h, de las muestras analizadas 6 valores son superiores a 1 m/h y 3 valores por debajo.

En la tabla 5 se muestra la composición química del mineral reducido Para las muestras naturales a 700 ° C y aditivo 2.5 %.

Tabla 5. Composición química del mineral reducido para las muestras naturales a 700 ° C y aditivo 2,5 %.



Muestras	MR								
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	Fe°	Ni°	C	S
M-1nat	1,25	0,198	55,4	31,1	50	3,55	0,99	1,02	0,1
M-1nat	1,23	0,197	54,3	24,1	58	3,51	0,89	1,36	0,1
M-1nat	1,23	0,196	54,7	23,6	54	3,5	0,8	1,55	0,11
M-2 nat	1,24	0,19	54,2	24,2	50	3,25	0,87	1,23	0,12
M-2 nat	1,23	0,194	53,6	23,5	44	3,15	0,74	1,24	0,14
M-2 nat	1,23	0,192	53,5	23,3	40	3,35	0,79	1,32	0,14
M-3 nat	1,28	0,218	55,5	24,5	46	4,31	0,99	1,1	
M-3 nat	1,29	0,215	55,9	24,7	46	4,25	0,99	1,11	0,12
M-3 nat	1,28	0,217	55,9	23,7	44	3,6	0,82	1,35	0,12
Promedio	1,25	0,20	54,78	24,74	48,00	3,61	0,88	1,25	0,12
Máximo	1,29	0,22	55,90	31,10	58,00	4,31	0,99	1,55	0,14
Mínimo	1,23	0,19	53,50	23,30	40,00	3,15	0,74	1,02	0,10
Desviación	0,03	0,01	0,94	2,43	5,57	0,41	0,10	0,16	0,02

Para las muestras naturales a estas condiciones la composición promedio del Ni fue de 1,25 % con un máximo de 1,29 % y un mínimo de 1,23 %, la composición promedio del Co fue de 0,2 %, con un máximo de 0,22 % y un mínimo de 0,19 %, las desviaciones estándar están por debajo de 0,03, indicando muy poca variabilidad en estos contenidos.

En la tabla 6 se muestra la composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.



Tabla 6. Composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Muestras naturales	QT					Velocidad Sedimentación		Densidad 24 horas	Extracción	
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	AI	DI		Ni	Co
M-1nat	0,3	0,076	55,5	9,6	42,0	0,24	0,84	1715	75,65	61,63
M-1nat	0,2	0,078	56,2	9,0	36,0	0,2	0,9	1763	83,97	61,11
M-2 nat	0,33	0,086	53,6	8,4	34,0	0,27	1,23	1645	73,43	53,01
M-2 nat	0,37	0,088	53,4	7,6	34,0	0,27	1,11	1678	70,10	51,74
M-2 nat	0,43	0,086	53,2	7,0	44,0	0,28	0,92	1606	65,12	52,66
M-3 nat	0,29	0,081	53,8	10,6	46,0	0,17	0,84	1645	77,12	61,79
M-3 nat	0,26	0,083	53,9	11,0	52,0	0,16	0,84	1600	79,52	60,92
M-3 nat	0,29	0,085	54,1	10,7	48,0	0,12	0,78	1541	77,24	60,12
Promedio	0,31	0,083	54,21	9,24	42,0	0,21	0,93	1649	75,27	57,9
Máximo	0,43	0,088	56,20	11,0	52,0	0,28	1,23	1763	83,97	61,8
Mínimo	0,20	0,076	53,20	7,0	34,0	0,12	0,78	1541	65,12	51,7
Desviación	0,07	0,004	1,07	1,50	6,76	0,06	0,16	69,84	5,79	4,52

Se obtuvo un promedio de extracción de Ni en 75,27 % la misma osciló desde 65,12 % hasta 83,97 %, el promedio de extracción para el Co es de 57,9 % y oscila desde 51,7 % hasta 61,8 %.

El valor de velocidad de sedimentación promedió 0,93 m/h, con un mínimo de 0,78 m/h, donde se considera un valor bajo y un máximo aceptable de 1,23 m/h, de las muestras analizadas 2 valores son superiores a 1 m/h y 6 valores por debajo.

En la tabla 7 se muestra la composición química del mineral reducido, para las muestras beneficiadas a 700 ° C y aditivo 3.5 %.



Tabla 7. Composición química del mineral reducido para las muestras beneficiadas a 700 ° C y aditivo 3,5 %.

Muestras beneficiadas	MR								
	Ni	C o	Fe	Fe++	FM	Fe°	Ni°	C	S
M-1 ben	1,33	0,217	56	27,1	59,0	4,21	1,03	2,04	0,16
M-1 ben	1,35	0,217	56,7	32,4	60,0	4,65	1,08	0,78	0,15
M-1 ben	1,35	0,215	56,6	31,3	60,0	4,18	1,04	1,51	0,15
M-2 ben	1,29	0,203	56,4	26,5	60,0	4,12	1,07	1,78	0,14
M-2 ben	1,29	0,204	56,9	29,1	62,0	4,28	1,08	1,51	0,14
M-2 ben	1,29	0,202	56,4	29,4	60,0	4,48	1,13	1,31	0,12
M-3 ben	1,26	0,215	55,7	27,4	48,0	4,71	1,12	1,24	0,2
M-3 ben	1,28	0,219	56,3	29,9	48,0	4,57	1,15	1,23	0,15
M-3 ben	1,28	0,220	56,8	31,8	52,0	4,42	1,13	1,25	0,16
Promedio	1,30	0,212	56,42	29,43	56,56	4,40	1,09	1,41	0,15
Máximo	1,35	0,220	56,90	32,40	62,00	4,71	1,15	2,04	0,20
Mínimo	1,26	0,202	55,70	26,50	48,00	4,12	1,03	0,78	0,12
Desviación	0,03	0,007	0,39	2,13	5,59	0,22	0,04	0,36	0,02

Para las muestras beneficiadas a estas condiciones la composición promedio del Ni fue de 1,3 % con un máximo de 1,35 % y un mínimo de 1,26 %, la composición del Co promedió 0,212 %, con un máximo de 0,22 % y un mínimo de 0,202 %, las desviaciones estándar están por debajo de 0,03, indicando muy poca variabilidad en estos contenidos.



En la tabla 8 se muestra la composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Tabla 8. Composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Muestras beneficiadas	QT					Velocidad Sedimentación		Densidad 24 horas	Extracción	
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	AI	DI		Ni	Co
M-1 ben	0,2	0,076	56,4	10,1	50	0,45	1,26	1514	84,6	65,8
M-1 ben	0,11	0,071	55,3	12,2	50	0,48	1,29	1566	91,4	67,5
M-1 ben	0,16	0,082	55,6	13,5	42	0,51	1,32	1622	87,5	62,6
M-2 ben	0,2	0,077	56,6	12,3	48	0,49	1,32	1594	84,6	62,9
M-2 ben	0,16	0,075	56,9	13,7	46	0,54	1,41	1572	87,7	64,1
M-2 ben	0,15	0,070	57,1	14,5	50	0,68	1,41	1547	88,5	66,6
M-3 ben	0,14	0,074	53,5	10,9	50	0,42	0,76	1656	88,1	62,9
M-3 ben	0,15	0,073	54,0	14,4	46	0,47	0,86	1624	87,4	63,7
M-3 ben	0,14	0,073	54,6	15,8	46	0,49	0,92	1614	88,4	64,1
Promedio	0,16	0,075	55,56	13,04	47,56	0,50	1,17	1590	87,58	64,5
Máximo	0,20	0,082	57,10	15,80	50,00	0,68	1,41	1656	91,40	67,5
Mínimo	0,11	0,070	53,50	10,10	42,00	0,42	0,76	1514	84,60	62,6
Desviación	0,03	0,004	1,30	1,83	2,79	0,07	0,25	44,23	2,07	1,76



Se logran obtener una extracción promedio de Ni en 87,58 % la misma se oscila desde 84,6 % hasta 91,4 %, el promedio de extracción de Co es de 64,5 % y oscila desde 62,6 % hasta 67,5 %.

El valor de velocidad de sedimentación promedió 1,17 m/h, con un mínimo de 0,76 m/h, donde se considera un valor bajo y un máximo aceptable de 1,41 m/h, de las muestras analizadas 6 valores son superiores a 1 m/h y 3 valores por debajo.

En la tabla 9 se muestra la composición química del mineral reducido, para las muestras beneficiadas a 700 ° C y aditivo 2,5 %.

Tabla 9. Composición química del mineral reducido para las muestras beneficiadas a 700 ° C y aditivo 2,5 %.

Muestras beneficiadas	MR								
	Ni	C o	Fe	Fe++	FM	Fe°	Ni°	C	S
M-1 ben	1,31	0,21	55,9	24	58	4,13	0,96	1,57	0,11
M-1 ben	1,31	0,213	56,2	27	58	3,85	0,98	1,37	0,12
M-1 ben	1,33	0,213	56,9	27,5	62	3,75	0,94	1,24	0,13
M-2 ben	1,29	0,203	53,5	24,1	54	3,57	0,82	1,32	0,15
M-2 ben	1,29	0,202	56,9	25,5	60	3,63	0,86	1,09	0,14
M-2 ben	1,27	0,197	56,1	26,1	58	3,87	1,07	1,11	0,14
M-3 ben	1,26	0,216	57,5	24,3	50	4,39	0,96	1,17	0,12
M-3 ben	1,27	0,217	57,8	26,7	52	4,44	1,07	1,03	0,12
M-3 ben	1,27	0,217	57,5	27,4	54	4,56	1,13	0,98	0,12
Promedio	1,29	0,21	56,48	25,84	56,22	4,02	0,98	1,21	0,13
Máximo	1,33	0,22	57,80	27,50	62,00	4,56	1,13	1,57	0,15
Mínimo	1,26	0,197	53,5	24	50	3,57	0,82	0,98	0,11
Desviación	0,02	0,01	1,30	1,42	3,93	0,37	0,10	0,19	0,01



Para las muestras beneficiadas a estas condiciones la composición de Ni promedió 1,29 % con un máximo de 1,33 % y un mínimo de 1,26 %, la composición del Co promedió 0,21%, con un máximo de 0,22 % y un mínimo de 0,197 %, las desviaciones estándar están por debajo de 0,02, indicando muy poca variabilidad en estos contenidos.

En la tabla 10 se muestra la composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Tabla 10. Composición química de las colas QT y extracción de Ni y Co. velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Muestras beneficiadas	QT					Velocidad Sedimentación		Densidad 24 horas	Extracción	
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	AI	DI		Ni	Co
M-1 ben	0,24	0,075	56,9	9,2	40,0	0,25	0,89	1613	81,68	66,58
M-1 ben	0,23	0,076	57,9	9,9	50,0	0,36	1,35	1591	82,75	66,72
M-1 ben	0,2	0,066	58	10,6	48,0	0,36	1,41	1606	85,03	71,15
M-2 ben	0,36	0,086	55,6	7,3	42,0	0,26	0,92	1614	71,71	57,86
M-2 ben	0,26	0,076	56,7	7,4	44,0	0,32	1,35	1503	79,96	63,48
M-2 ben	0,23	0,08	55,6	8,9		0,4	1,42	1590	81,93	60,8
M-3 ben	0,32	0,083	54,1	10,2	46,0	0,11	0,78	1557	74,33	60,56
M-3 ben	0,21	0,075	54,7	11,5	46,0	0,27	0,84	1678	83,34	64,75



M-3 ben	0,17	0,073	54,7	12,2	42,0	0,3	0,9	1616	86,51	65,69
Promedio	0,25	0,077	56,0	9,69	44,8	0,29	1,10	1596	80,80	64,2
Máximo	0,36	0,086	58,0	12,20	50,0	0,40	1,42	1678	86,51	71,2
Mínimo	0,17	0,066	54,1	7,30	40,0	0,11	0,78	1503	71,71	57,9
Desviación	0,06	0,006	1,42	1,68	3,37	0,09	0,28	47,52	4,85	4,01

Se logra obtener una extracción promedio de Ni en 80,8 % la misma osciló desde 71,71 % hasta 86,51 %, la extracción promedio del Co fue de 64,2 % oscilando desde 57,9 % hasta 71,2 %.

El valor de velocidad de sedimentación promedió 1,1 m/h, con un mínimo de 0,78 m/h, donde se considera un valor bajo y un máximo aceptable de 1,42 m/h, de las muestras analizadas 6 valores son superiores a 1 m/h y 3 valores por debajo.

En la tabla 11 se muestra la composición química del mineral reducido, para las muestras naturales a 800 ° C y aditivo 3,5 %.

Tabla 11. Composición química del mineral reducido Para las muestras naturales a 800 ° C y aditivo 3,5 %.

Muestras naturales	MR								
	Ni	C o	Fe	Fe++	FM	Fe°	Ni°	C	S
M-1 nat	1,27	0,199	56,6	43,4	32,0	4,26	0,97	0,7	0,173
M-1 nat	1,26	0,197	56,4	43,9	22,0	3,98	0,92	0,71	0,175
M-1 nat	1,24	0,198	55,7	38,3	36,0	4,82	1,14	1,24	0,176
M-2 nat	1,32	0,204	57,1	50,0	10,0	4,07	1,27	0,4	0,139
M-2 nat	1,31	0,203	56,9	46,5	16,0	4,29	0,73	0,7	0,151



M-2 nat	1,29	0,202	57,1	39,9	40,0	5,48	1,18	1,1	0,142
M-3 nat	1,31	0,221	56,7	40,4	40,0	4,9	1,21	0,54	0,14
M-3 nat	1,3	0,215	56,4	38,8	44,0	4,7	1,01	0,66	0,14
M-3 nat	1,28	0,215	55,4	35,8	48,0	4,18	0,97	1,67	0,42
Promedio	1,29	0,206	56,5	41,9	32,0	4,52	1,04	0,86	0,18
Máximo	1,32	0,221	57,1	50,0	48,0	5,48	1,27	1,67	0,42
Mínimo	1,24	0,197	55,4	35,8	10,0	3,98	0,73	0,40	0,14
Desviación	0,03	0,009	0,59	4,46	13,2	0,49	0,17	0,40	0,09

Para las muestras beneficiadas a estas condiciones la composición de Ni promedió 1,29 % con un máximo de 1,32 % y un mínimo de 1,24 %, la composición del Co es de 0,206%, con un máximo de 0,221 % y un mínimo de 0,197 %, las desviaciones estándar están por debajo de 0,03 lo que indica muy poca variabilidad en estos contenidos.

En la tabla 12 se muestra la composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Tabla 12. Composición química de las colas QT y Extracción de Ni y Co. Velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC

Muestras naturales	QT					Velocidad Sedimentación		Densidad 24 horas	Extracción	
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	AI	DI		Ni	Co



M-1 nat	0,11	0,061	54,2	23,6	28,0	0,41	1,04	1950	90,86	68,46
M-1 nat	0,12	0,067	54	23	34,0	0,52	1,07	1750	89,99	65,23
M-1 nat	0,1	0,07	53,6	18	44,0	0,47	0,96	1758	91,6	63,40
M-2 nat	0,16	0,071	54,7	28,9	4,0	0,4	0,90	1910	87,38	61,99
M-2 nat	0,11	0,062	52,9	21,6	6,0	0,37	1,26	1772	91,03	65,68
M-2 nat	0,09	0,055	52,6	16,9	24,0	0,45	1,20	1620	92,62	69,38
M-3 nat	0,11	0,076	55,2	21,2	24,0	0,39	1,32	1744	91,27	63,93
M-3 nat	0,11	0,079	54,9	19,1	24,0	0,53	1,56	1747	91,22	62,30
M-3 nat	0,1	0,082	56,0	24,7	20,0	0,44	1,47	1601	92,18	61,64
Promedio	0,11	0,069	54,2	21,9	23,1	0,44	1,20	1761	90,91	64,67
Máximo	0,16	0,082	56,0	28,9	44,0	0,53	1,56	1950	92,62	69,38
Mínimo	0,09	0,055	52,6	16,9	4,0	0,37	0,90	1601	87,38	61,64
Desviación	0,02	0,009	1,10	3,70	12,49	0,06	0,23	114	1,52	2,78

Se logró obtener una extracción promedio de Ni en 90,91 % la misma osciló desde 87,38 % hasta 92,62 %, la extracción promedio del Co fue de 64,67 %, oscila desde 61,64 % hasta 69,38 %.

El valor de velocidad de sedimentación promedió 1,2 m/h, con un mínimo de 0,9 m/h, donde se considera un valor bajo y un máximo aceptable de 1,56 m/h, de las muestras analizadas 7 valores son superiores a 1 m/h y 2 valores por debajo.

En la tabla 13 se muestra la composición química del mineral reducido, para las muestras naturales a 800 ° C y aditivo 2,5 %.



Tabla 13. Composición química del mineral reducido, para las muestras naturales a 800 ° C y aditivo 2,5 %.

Muestras naturales	MR								
	Ni	C o	Fe	Fe++	FM	Fe°	Ni°	C	S
M-1 nat	1,29	0,207	56,9	38,7	50,0	3,01	1,01	0,43	0,139
M-1 nat	1,28	0,207	57,1	40,4	42,0	3,08	0,97	0,37	0,141
M-1 nat	1,3	0,206	57,5	38,2	48,0	3,02	1,06	0,41	0,136
M-2 nat	1,29	0,202	56,4	41,2	52,0	3,21	0,98	0,2	0,133
M-2 nat	1,27	0,202	55,2	38,6	48,0	3,04	1	0,35	0,132
M-2 nat	1,26	0,199	55,5	33,2	52,0	3,37	1,06	0,81	0,136
M-3 nat	1,31	0,218	57,0	37,3	56,0	3,65	1,16	0,47	0,12
M-3 nat	1,31	0,219	57,1	36,7	52,0	3,83	1,12	0,37	0,13
M-3 nat	1,3	0,216	56,4	34,3	62,0	4,23	1,19	0,32	0,16
Promedio	1,29	0,208	56,6	37,6	51,3	3,38	1,06	0,41	0,14
Máximo	1,31	0,219	57,5	41,2	62,0	4,23	1,19	0,81	0,16
Mínimo	1,26	0,199	55,2	33,2	42,0	3,01	0,97	0,20	0,12
Desviación	0,02	0,007	0,77	2,61	5,57	0,43	0,08	0,17	0,01

Para las muestras naturales a estas condiciones la composición promedio del Ni fue de 1,29 % con un máximo de 1,31 % y un mínimo de 1,26 %, para el Co fue de 0,208 %, con un máximo de 0,219 % y un mínimo de 0,199 %, las desviaciones estándar están por debajo de 0,02, indicando muy poca variabilidad en estos contenidos.

En la tabla 14 se muestra la composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.



Tabla 14. Composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Muestras naturales	QT					Velocidad Sedimentación		Densidad 24 horas	Extracción	
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	AI	DI		Ni	Co
M-1 nat	0,15	0,087	55,8	22,3	44,0	0,52	1,56	1733	87,89	56,31
M-1 nat	0,14	0,079	55,7	21,3	44,0	0,52	1,56	1844	88,68	60,25
M-1 nat	0,12	0,074	55,3	19,5	36,0	0,53	1,6	1822	90,22	62,5
M-2 nat	0,14	0,071	56	22,7	22,0	-	-	-	89,21	62,87
M-2 nat	0,13	0,062	54,9	20,9	32,0	0,46	1,53	1909	89,78	66,93
M-2 nat	0,12	0,06	54,7	17,5	34,0	0,43	1,44	1903	90,53	67,88
M-3 nat	0,15	0,082	55,9	23,4	32,0	0,38	1,02	1674	88,24	61,57
M-3 nat	0,16	0,077	55,5	21,7	32,0	0,34	1,5	1760	87,37	63,66
M-3 nat	0,15	0,079	55,4	19,5	42,0	0,38	1,47	1621	88,14	62,65
Promedio	0,14	0,075	55,5	21,0	35,3	0,45	1,46	1783	88,90	62,74
Máximo	0,16	0,087	56,0	23,4	44,0	0,53	1,60	1909	90,53	67,88
Mínimo	0,12	0,060	54,7	17,5	22,0	0,34	1,02	1621	87,37	56,31
Desviación	0,01	0,009	0,4	1,9	7	0,07	0,19	105	1,10	3,42

Se logra obtener una extracción promedio de Ni en 88,9 % la misma osciló desde 87,37 % hasta 90,53 %, la extracción del Co fue de 62,74 % y oscila desde 56,31 % hasta 67,88 %.

El valor de velocidad de sedimentación promedió 1,46 m/h, con un mínimo de 1,02 m/h y un máximo aceptable de 1,6 m/h, de las muestras analizadas todos los valores son superiores a 1 m/h.



En la tabla 15 se muestra la composición química del mineral reducido, para las muestras naturales a 800 ° C y aditivo 3,5 %.

Tabla 15. Composición química del mineral reducido, para las muestras naturales a 800 ° C y aditivo 3,5 %.

Muestras beneficiada	MR								
	Ni	C o	Fe	Fe++	FM	Fe°	Ni°	C	S
M-1 ben	1,32	0,214	58,6	44,4	34	5,2	1,14	0,88	0,17
M-1 ben	1,35	0,215	58,2	48,8	26	3,79	0,83	0,64	0,176
M-1 ben	1,34	0,213	58,4	48,1	32	4,51	1,12	0,56	0,178
M-2 ben	1,36	0,214	59,5	44,4	50	5,84	1,16	0,76	0,153
M-2 ben	1,38	0,219	60,2	49,5	34	4,28	0,96	0,57	0,156
M-2 ben	1,36	0,216	60,5	46,5	32	3,64	1,03	0,45	0,172
M-3 ben	1,3	0,221	58,0	42,2	34	4,49	1,03	0,37	0,11
M-3 ben	1,31	0,224	58,2	45,7	22	4,84	1,14	0,58	0,17
M-3 ben	1,32	0,223	58,1	44,8	34	4,88	1,17	0,5	0,14
Promedio	1,34	0,22	58,9	46,0	33	4,61	1,06	0,59	0,16
Máximo	1,38	0,22	60,5	49,5	50	5,84	1,17	0,88	0,18
Mínimo	1,30	0,21	58,0	42,2	22	3,64	0,83	0,37	0,11
Desviación	0,03	0,00	1,0	2,4	8	0,68	0,11	0,16	0,02

Para las muestras naturales a estas condiciones la composición de Ni promedió 1,34 % con un máximo de 1,38 % y un mínimo de 1,3 %, la composición del Co es de 0,22 %, con un máximo de 0,22 % y un mínimo de 0,21 %, las desviaciones estándar están por debajo de 0,03, indicando muy poca variabilidad en estos contenidos.



En la tabla 16 se muestra la composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Tabla 16. Composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Muestras beneficiadas	QT					Velocidad Sedimentación		Densidad 24 horas	Extracción	
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	AI	DI		Ni	Co
M-1 ben	0,1	0,071	55,3	22,5	56,0	0,41	0,99	1843	92,15	67,45
M-1 ben	0,11	0,065	55,7	23,8	38,0	0,44	1,04	1907	91,42	70,42
M-1 ben	0,17	0,078	55,6	27,6	34,0	0,41	1,14	2022	86,72	64,44
M-2 ben	0,10	0,069	57,0	19,5	26,0	0,24	0,9	1766	92,33	67,02
M-2 ben	0,12	0,070	57,5	25,3	22,0	0,4	1,08	-	90,88	66,83
M-2 ben	0,13	0,070	56,9	28	26,0	0,34	1,2	-	90,02	66,48
M-3 ben	0,13	0,077	57,7	29,3	24,0	0,36	0,81	1926	89,79	64,17
M-3 ben	0,13	0,085	57,6	24,9	26,0	0,47	0,8	1714	89,77	60,38
M-3 ben	0,11	0,074	54,3	17,0	26,0	0,5	1,05	1785	90,82	63,41
Promedio	0,12	0,073	56,4	24,2	30,9	0,40	1,00	1852	90,43	65,62
Máximo	0,17	0,085	57,7	29,3	56,0	0,50	1,20	2022	92,33	70,42
Mínimo	0,10	0,065	54,3	17,0	22,0	0,24	0,80	1714	86,72	60,38
Desviación	0,02	0,006	1,2	4,0	10,7	0,08	0,14	107	1,68	2,88



Se logra obtener una extracción promedio de Ni en 90,43 % la misma osciló desde 86,72 % hasta 92,33 %, la extracción promedio del Co fue de 65,62 % oscila desde 60,38 % hasta 70,42 %.

El valor de velocidad de sedimentación promedió 1,0 m/h, con un mínimo de 0,8 m/h, donde se considera un valor bajo y un máximo aceptable de 1,2 m/h, de las muestras analizadas 5 valores son superiores a 1 m/h y 4 valores por debajo.

En la tabla 17 se muestra la composición química del mineral reducido, para las muestras beneficiadas a 800 °C y aditivo 2,5 %.

Tabla 17. Composición química del mineral reducido para las muestras beneficiadas a 800 °C y aditivo 2,5 %.

Muestras beneficiada	MR								
	Ni	C o	Fe	Fe++	FM	Fe°	Ni°	C	S
M-1 ben	1,36	0,219	58,2	39,1	58,0	3,37	1,09	0,35	0,137
M-1 ben	1,35	0,220	58,6	40,6	62,0	3,06	1,02	0,36	0,141
M-1 ben	1,34	0,212	58,4	39,1	68,0	3,19	1,09	0,33	0,141
M-2 ben	1,33	0,210	57,3	38,3	64,0	3,9	1,17	0,33	0,135
M-2 ben	1,34	0,216	58,4	40,4	62,0	3,55	1,17	0,23	0,13
M-2 ben	1,34	0,214	58,4	39,3	66,0	3,11	1,14	0,26	0,145
M-3 ben	1,31	0,220	58,1	38,2	56,0	3,98	1,1	0,37	0,15
M-3 ben	1,32	0,226	58,6	40,9	56,0	3,41	1,12	1,38	0,14
M-3 ben	1,30	0,220	58,2	38,6	54,0	3,55	1,07	1,65	0,15
Promedio	1,33	0,217	58,2	39,4	60,7	3,46	1,11	0,58	0,14



Máximo	1,36	0,226	58,6	40,9	68,0	3,98	1,17	1,65	0,15
Mínimo	1,30	0,210	57,3	38,2	54,0	3,06	1,02	0,23	0,13
Desviación	0,02	0,005	0,4	1,0	4,9	0,33	0,05	0,53	0,01

Para las muestras beneficiadas a estas condiciones la composición promedio de Ni fue de 1,33 % con un máximo de 1,36 % y un mínimo de 1,3 %, la composición del Co promedió 0,217 %, con un máximo de 0,226 % y un mínimo de 0,21 %, las desviaciones estándar están por debajo de 0,02, indicando muy poca variabilidad en estos contenidos.

En la tabla 18 se muestra la composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Tabla 18. Composición química de las colas QT, extracción de Ni y Co, velocidad de sedimentación antes y después del imán y densificación a las 24 horas de la pulpa QTC.

Muestras beneficiadas	QT					Velocidad Sedimentación		Densidad 24 horas	Extracción	
	Ni	Co	Fe	Fe++	FM	AI	DI		Ni	Co
M-1 ben	0,15	0,088	57,8	20	60,0	0,33	1,56	1809	88,73	61,4
M-1 ben	0,16	0,088	57,9	23	62,0	0,42	1,65	1815	88	61,47
M-1 ben	0,14	0,084	57,4	21,4	54,0	0,47	1,68	1998	89,41	62,9
M-2 ben	0,14	0,083	58,1	24	56,0	0,31	1,04	1864	89,47	61,08
M-2 ben	0,17	0,097	59,4	25,2	38,0	0,3	1,62	1708	87,5	55,51
M-2 ben	0,17	0,099	59,4	26,6	58,0	0,41	1,74	1822	87,5	54,59



M-3 ben	0,15	0,089	57,6	24,4	-	-	-	-	88,2	58,52
M-3 ben	0,18	0,088	57,0	28,6	42,0	0,39	1,56	1714	85,69	58,55
M-3 ben	0,17	0,083	56,0	25,6	32,0	0,40	1,57	1759	86,24	60,21
Promedio	0,16	0,089	57,8	24,3	50,3	0,38	1,55	1811	87,86	59,36
Máximo	0,18	0,099	59,4	28,6	62,0	0,47	1,74	1998	89,47	62,90
Mínimo	0,14	0,083	56,0	20,0	32,0	0,30	1,04	1708	85,69	54,59
Desviación	0,01	0,006	1,1	2,6	11,3	0,06	0,22	93	1,30	2,82

Se logra obtener una extracción promedio de Ni en 87,86 % la misma osciló entre 85,69 % y 89,47 %, la extracción promedio del Co fue de 59,36 % oscila desde 54,59 % hasta 62,9 %.

El valor de velocidad de sedimentación promedió 1,55 m/h, con un mínimo de 1,04 m/h, y un máximo aceptable de 1,74 m/h, de las muestras analizadas, todos los valores son superiores a 1 m/h.

3.2.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan las figuras que muestran el comportamiento del extractable de níquel y cobalto con los resultados anteriores sin exceptuar ningún dato, para cada uno de los tratamientos evaluados, tanto para las muestras naturales como beneficiadas, con el objetivo de comparar esos resultados en función del beneficio realizado ya que las muestras fueron sometidas a idénticas condiciones de reducción.

En las figuras 1 y 2 se comparan para las condiciones de 700 °C, variando el contenido de % de petróleo aditivo.

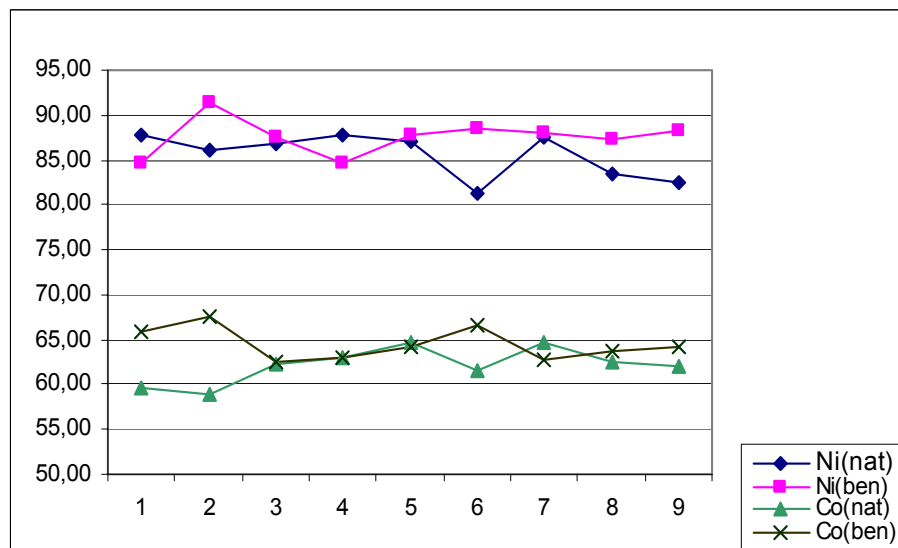


Figura 1. Comportamiento del extractable de Ni y Co de las muestras con y sin beneficio a 700 °C y un contenido de 3,5 % de petróleo aditivo.

El extractable de Ni y de Co, es superior cuando los minerales fueron beneficiados previamente, aunque en un experimento ocurrió todo lo contrario. La mayoría de los resultados fueron entre 85 y 90 % de extractable de Ni y de 62 a 68 % de extractable de Co para las muestras beneficiadas, las muestras naturales se comportaron ligeramente inferior.

En la figura 2 se muestra el comportamiento del extractable de Ni y Co de las muestras con y sin beneficio a 700 °C y un contenido de 2,5 % de petróleo aditivo.

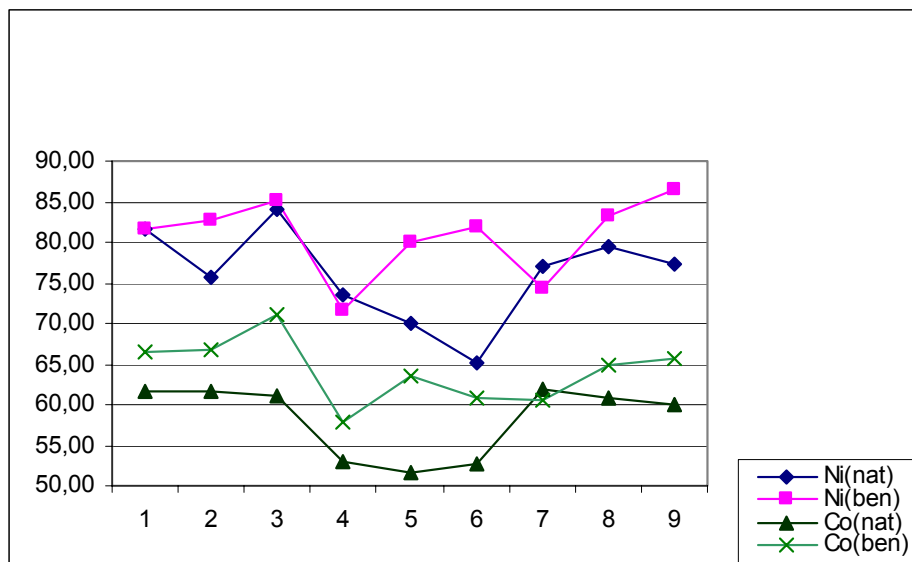


Figura 2. Comportamiento del extractable de Ni y Co de las muestras con y sin beneficio a 700 °C y un contenido de 2,5 % de petróleo aditivo.

El extractable de Ni y de Co, es superior cuando los minerales fueron beneficiados previamente, aunque en tres experimentos ocurrió todo lo contrario. La mayoría de los resultados fueron entre 72 y 85 % de extractable de Ni y de 57 a 72 % de extractable de Co para las muestras beneficiadas, las muestras naturales se comportaron con valores inferiores.

Se puede observar que con menor contenido del mismo, las extracciones tanto de níquel como de cobalto son generalmente superiores para las tres muestras beneficiadas estudiadas, no ocurriendo lo mismo cuando existe mayor porcentaje de aditivo.

En la figura 3 se muestra el comportamiento del extractable de Ni y Co de las muestras con y sin beneficio a 700 °C y un contenido de 3,5 % de petróleo aditivo.

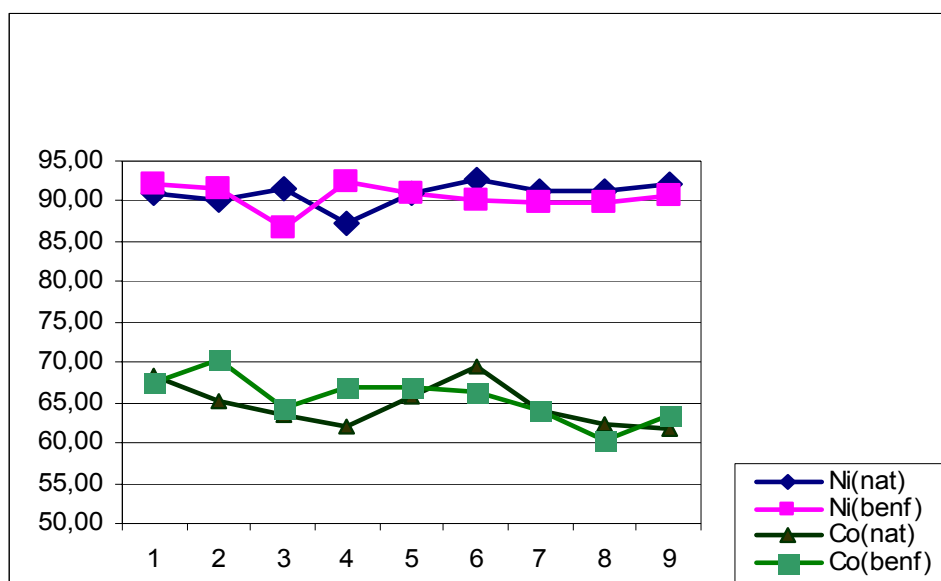


Figura 3. Comportamiento del extractable de Ni y Co de las muestras con y sin beneficio a 800 °C y un contenido de 3,5 % de petróleo aditivo.

Los resultados experimentales en estas condiciones indican que los extractables de Ni y Co para las muestras con y sin beneficio alcanzaron valores similares, aunque para el Co se alcanzan valores superiores cuando las muestras fueron beneficiadas

En la figura 4 se muestra el comportamiento del extractable de Ni y Co de las muestras con y sin beneficio a 800 °C y un contenido de 2,5 % de petróleo aditivo.

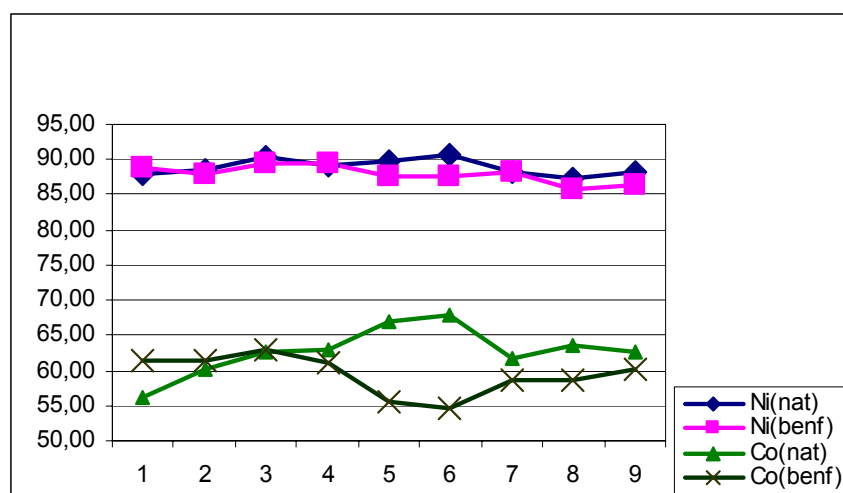


Figura 4 .Comportamiento del extractable de Ni y Co de las muestras con y sin beneficio a 800 °C y un contenido de 2,5 % de petróleo aditivo.

Los resultados experimentales en estas condiciones indican que los extractables de Ni y Co para las muestras con y sin beneficio alcanzaron valores similares, aunque para el Co se alcanzan valores inferiores cuando las muestras fueron beneficiadas.

En las figuras 3 y 4 se comparan para las condiciones de 800 °C, variando el contenido de % de petróleo aditivo observándose que el beneficio no favoreció prácticamente con



altos contenidos de % de petróleo para las extracciones de níquel, aunque si existe mejoría en las extracciones de cobalto.

3.2.4. Análisis estadístico de los resultados de extractable de Ni y Co para 700 °C y 800 °C, utilizando 3,5 y 2,5 % de aditivo

se realiza un promedio de las tres repeticiones realizadas para cada una de las tres muestras estudiadas tanto las naturales como las beneficiadas y eliminando los datos anormales se obtiene la matriz del diseño de experimento para las respuestas del extractable de níquel y cobalto que aparece en el anexo.

Si se agrupan los resultados, el extractable de níquel con beneficio fue de 87,67 % y sin beneficio de 87,3 %, el extractable de cobalto por beneficio promedió 63,76 % y sin beneficio de 63,34 %. Por lo que se aprecia que no existen diferencias significativas cuando se beneficia este tipo de mineral.

El promedio de los extractable de Ni para un 3,5 % de petróleo aditivo fue de 89,38 % y de Co de 64,63 %, sin embargo para 2,5 % de aditivación se alcanza un valor inferior de 85,59 % de extractable de Ni y 62,46 % de extractable de Co.

Se aprecia que existe diferencias positivas a favor del extractable de níquel y cobalto, para el níquel un 3,79 % y 2,17 % para el cobalto, cuando se aumenta el aditivo para un promedio de temperaturas y tipo de mineral.

Al agrupar los resultados o respuestas del diseño del extractable de níquel y cobalto por temperatura de reducción para los dos % de petróleo aditivo utilizados y tipo de mineral se obtiene como promedio de extractable de Ni 84,95 % y 63,17 % para el Co a 700 °C, para 800 °C, se obtuvo un extractable de Ni 90,02 % y 63,93 % para el Co.



Concluyendo que al aumentar las temperaturas el extractable de níquel se incrementa en un 5,07 % siendo despreciable para el extractable de cobalto.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos como promedio confirmaron que para este tipo de mineral el beneficio no aporta incrementos en las extracciones de níquel y cobalto donde fueron muy similares para el níquel de 87,67 % con beneficio y sin el de 87,3 %, para las extracciones de cobalto de 63,76 % con beneficio y 63,34 % sin él, para un promedio de las condiciones de reducción utilizadas.
- Agrupando los resultados del extractable de níquel y cobalto por % de aditivo para todo tipo de mineral y diferentes temperaturas se obtiene como promedio, diferencias positivas a favor del extractable de níquel y cobalto, para el níquel un 3,79 % y 2,17 % para el cobalto, cuando se incrementa el % de petróleo aditivo



entre 2,5 % y 3,5 %. Los valores resultaron 89,38 y 85,59 % en el extractable de níquel y de 62,46 y 64,63 % en la de cobalto.

- Al agrupar los resultados o respuestas del diseño del extractable de níquel y cobalto por temperatura de reducción para los dos % de petróleo aditivo utilizados y tipo de mineral se obtiene como promedio que al aumentar las temperaturas el extractable de níquel se incrementa en un 5,07 % obteniéndose un incremento insignificante para el extractable de cobalto.

RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas a escala piloto y corroborar los resultados obtenidos a escala de banco.



BIBLIOGRAFÍA

1. RADCLIFFE, GARY. "*Reservas de Pinares de Mayarí*". Informe final. Febrero 2. 1960.
📁 Citado en la página 3.



2. HERRERA JUVER, VENTURA. *“Reporte técnico sobre el procesamiento de los minerales de Pinares”*. Ministerio de Minería y Metalurgia. 1965.
☐ Citado en las páginas 3, 4, 5, 6 y 7
3. DIAZ, RAFAEL. *“Consideraciones generales sobre los efectos del Plan de minería de 20 años en el proceso metalúrgico”*. 1973.
☐ Citado en la página 9
4. GARCIA PÉREZ, AMANCIA. *“Informes pruebas con mineral Plancheta 10 de Pinares (muestras 1 y 2)”*. Planta Piloto de Nicaro. 1985- 1986.
☐ Citado en la página 10
5. MIRANDA LÓPEZ, JORGE. *“Cronología de los antecedentes históricos de la explotación de los Yacimientos Lateríticos por la Tecnología de Lixiviación Ácida a Presión (LAP)”*. 2002.
6. Tavío González G *procesamiento de 14 muestras tecnológicas a escala de banco* de la E.C.R.R.L Marzo 2006
7. Magaña Maria E *tratamiento a escala de banco de muestras tecnológicas para la determinación del factor de escalado* en la empresa R.R.L 2002
8. Tavío González G *informe pruebas de banco para la prerreducción de mineral saprolítico del yacimiento Yamanigüey para la producción de ferroníquel* 2007
9. Gainza Delgado Yarylis *procesamiento de 10 muestras tecnológicas a escala de banco* de la ECRRL JULIO 2008
10. Tavío González G *Procesamiento en el Horno Selas y posterior lixiviación de muestras del mineral de pinares depositado en la plazoleta de la planta piloto* 2006

ANEXO



Muestras	X₁	X₂	X₃	Ext Ni	Ext Co
M1ben	-1	1	-1	88,71	61,92
M1nat	-1	-1	1	83,97	61,11
M1ben	1	-1	-1	87,50	62,61
M1ben	1	1	-1	91,79	67,45
M1nat	1	-1	1	86,79	60,29
M1nat	-1	1	1	88,93	61,38
M1ben	-1	-1	-1	83,15	66,65
M1nat	1	1	1	90,81	65,70
M2ben	-1	1	-1	89,47	61,08
M2nat	-1	-1	1	81,53	61,54
M2ben	1	-1	-1	88,12	65,34
M2ben	1	1	-1	91,08	66,78
M2nat	1	-1	1	87,39	63,84
M2nat	-1	1	1	89,84	65,89
M2ben	-1	-1	-1	80,94	62,14
M2nat	1	1	1	91,82	67,53
M3ben	-1	1	-1	88,20	58,52
M3nat	-1	-1	1	79,52	60,92
M3ben	1	-1	-1	87,98	63,56
M3ben	1	1	-1	90,13	63,79
M3nat	1	-1	1	87,55	64,77
M3nat	-1	1	1	87,92	63,15
M3ben	-1	-1	-1	84,93	65,22
M3nat	1	1	1	91,55	63,93