



**Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia**

Tesis en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

**IMPACTO DEL BENEFICIO DE LA MENA
EN LOS PRINCIPALES INDICADORES
TÉCNICO ECONÓMICO DE LA EMPRESA
COMANDANTE ERNESTO GUEVARA**

XIOMARA LIRANZA BARALLOBRE

**MOA
2010**



**Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia**

Tesis en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

**IMPACTO DEL BENEFICIO DE LA MENA EN
LOS PRINCIPALES INDICADORES TÉCNICO
ECONÓMICO DE LA EMPRESA
COMANDANTE ERNESTO GUEVARA**

XIOMARA LIRANZA BARALLOBRE

TUTORES

**Dr. ALBERTO HERNÁNDEZ FLORES _____
OFICINA NACIONAL DE RECURSOS MINERALES**

**ING. ORLEIDY LOYOLA BREFFE _____
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO**

**MOA
2010**



Dedicatorias y Agradecimientos.

***"A mis hijos,
.....por ser mi fuente de inspiración.***

***"Azarías Bresler,
.....por su incondicional apoyo***

***"A mis tutores,
....por su empeño en el éxito del proyecto.***

***.....y a todos aquellos amigos que hicieron posible la
realización de este trabajo."***

•A todos muchas gracias,

Xliranza



Frase

*Solo se respetan a los que combaten,
solo vencen los que luchan,
solo triunfan los que resisten...*

Fidel



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1 ESTADO DEL ARTE DE LA PREPARACIÓN DE LA MENA.....	4
1.1 TRABAJOS PRECEDENTES.....	4
1.2 COMPOSICIÓN MINERALÓGICA, GRANULOMÉTRICA Y QUÍMICA DE LA BASE MINERA DE LA ECECG.....	9
1.3 ESQUEMA TECNOLÓGICO ANTES DE LA APLICACIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIO DEL MINERAL EN LA ECECG.....	11
CONCLUSIONES PARCIALES	13
CAPÍTULO 2 INTRODUCCIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIO EN LA ECECG.....	14
2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL EN LA DESCARGA DE LOS SECADEROS.....	14
2.1.1 RESULTADOS DE LAS CORRIDAS EN LOS TRANSPORTADORES 11 Y 11A.....	15
2.2 DISEÑO DEL ESQUEMA DEL BENEFICIO E IMPLEMENTACION EN LA ECECG.....	18
CONCLUSIONES PARCIALES.....	22
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	23
3.1 INFLUENCIA DEL BENEFICIO EN EL APROVECHAMIENTO EFICIENTE DE LA BASE MINERA	23
3.2 IMPACTO DEL BENEFICIO CON RELACIÓN AL INCREMENTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL NÍQUEL Y EL COBALTO EN EL MATERIAL PROCESADO.....	24
3.3 IMPACTO DEL BENEFICIO EN LA PLANTA LIXIVIACIÓN Y LAVADO.....	29
3.4 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO A LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN EL PERÍODO ANTERIOR Y POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIO	31
3.5 IMPACTO DEL BENEFICIO SOBRE EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS.....	37
3.6 IMPACTO DEL BENEFICIO CON RELACIÓN AL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA OPERATIVA DE LOS EQUIPOS.	39
3.7 INFLUENCIA EN LOS PRINCIPALES INDICADORES TÉCNICO ECONÓMICO E INSUMOS FUNDAMENTALES	42
3.8 EVALUACIÓN MEDIO AMBIENTAL	45
3.9 VALORACIÓN ECONÓMICA	47
3.10 RESUMEN DE LOS PARÁMETROS TECNOLÓGICOS FUNDAMENTALES EN LAS PLANTAS DE PROCESO	48
CONCLUSIONES PARCIALES..	49
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52



Resumen

En el trabajo se evalúa la relación del proceso de beneficio introducido en la preparación de la mena con los parámetros tecnológicos en las plantas de Lixiviación, Recuperación y Calcinación, así como con los indicadores económicos fundamentales de la ECECG.

Para la evaluación del impacto de la introducción de la innovación tecnológica o beneficio de la mena, se realizó el análisis estadístico comparativo a los principales indicadores técnico económico de los procesos tecnológicos en las plantas de procesos, comprendida en dos períodos; antes y después de la introducción del proceso de beneficio en la empresa.

Los resultados obtenidos muestran que con la introducción del proceso de beneficio en la industria se logra la separación de fracciones granulométricas con un alto contenido de componentes nocivos para el proceso, como la sílice y el óxido de magnesio, lo que favorece los indicadores técnico económico en la planta de Lixiviación y Lavado, incide en la disminución del consumo de ácido sulfúrico y en los mantenimientos a equipos, tuberías y accesorios. También se producen mejoras en indicadores como: la densidad de la pulpa en los sedimentadores de primera etapa se incrementan en 85,88 g/L después del beneficio; la eficiencia metalúrgica de la empresa para el níquel creció 1,37 %. El costo de producción disminuyó en más de 6 millones de CUC los ingresos brutos superiores a los 12 millones de CUC al año y las utilidades crecieron en 18,2 millones de CUC.

(Palabras claves: Procesos de beneficio. Mineral laterítico. Influencia del SiO_2 y MgO)



Summary.

In the work the relationship of the process of benefit is evaluated introduced in the preparation of the ore with the technological parameters in the Leaching Plants, recovery and Calcination, as well as with the fundamental economic indicators of the ECECG".

For the evaluation of the impact of the introduction of the technological innovation or I benefit of the ore was carried out the comparative statistical analysis to the main economic technical indicators of the technological processes in the plants of processes, understood in two periods; before and after the introduction of the process of benefit in the company.

The obtained results show that with the introduction of the process of benefit in the industry the separation of grain fractions is achieved with a high content of noxious components for the process like, SiO_2 and MgO , what favors the economic technical indicators in the Plant of Leaching and Wash, impacts in the decrease of the consumption of sulfuric acid and in the maintenances to teams, pipes and accessories. Improvements also take place in the indicators as: the densities of the pulp in the sedimentadores of I^{ra} stage are increased in 85,88 g/L after the benefit; the metallurgist efficiency of the company for the nickel grew 1,37 %. The production cost diminished in more than 6 million dollars, the gross revenues are superior to 12 million dollars a year and the utilities grew in 18,2 MMP.

(Key words: Processes of benefit. Lateritic Ore. It influences of the SiO_2 and MgO)

INTRODUCCIÓN

La industria cubana del níquel cuenta con más de 60 años de experiencia en la obtención del Níquel y Cobalto a partir de los minerales lateríticos, estos recursos han sido la base para el desarrollo de una prominente industria extractiva especializada en la recuperación de los valores de níquel y cobalto presentes en estos minerales, para su procesamiento se utilizan dos tecnologías, la ácida, basada en la lixiviación a presión que utiliza el ácido sulfúrico, y la tecnología Carbonato Amoniacal basada en la lixiviación atmosférica que utiliza el amoniaco. Ambas tecnologías requieren de la preparación del mineral para la aplicación de la tecnología de lixiviación.

La Tecnología Carbonato Amoniacal realiza la preparación del mineral sobre la base de la extracción de la humedad del mineral, o sea el secado y la molienda seca hasta valores por debajo de 0,074 mm, en correspondencia con el proceso de reducción química que se aplica para reducir los valores que se extraen y se tratan posteriormente para obtener el producto final. Este proceso de molienda involucra varios factores, como son: carga de bolas, régimen aerodinámico, propiedades físico químicas del mineral, esquema instalado y otras, que inciden en los parámetros fundamentales como la productividad del equipamiento y la calidad del producto final.

Existen dos fábricas en explotación con esta tecnología, la Empresa Comandante Rene Ramos Latour (ECRRL), en Nicaro, desde los años 40 y la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECECG), desde 1986, cuyos esquemas de preparación difieren en su diseño, lo que contribuye a diferencias en la influencia de factores como tamaño máximo de alimentación, humedad del mineral, diseño del equipamiento, etc. sobre la operación. En ambas se establece la mezcla de las fracciones limoníticas y serpentiniticas a razón de 3:1 siendo difícil en la práctica mantener dicha relación, por lo que cualquier desviación hacia uno u otro punto trae consigo alteraciones que incidirán negativamente en la calidad de los productos intermedios y final.

En las últimas cuatro décadas la preparación de los minerales lateríticos ha sido objeto de estudio con el fin de profundizar en los complejos fenómenos que tienen lugar en el proceso industrial y sus altos consumos energéticos, en la molienda se considera un consumo de 3,33 % de toda la energía de cualquier proceso en que se utilice, de aquí que en términos de costos la etapa de molienda es la más significativa en el procesamiento de los minerales.

Durante 1 año, en la ECRRL Nicaro se implementó la separación de las fracciones mayores de 6,3 mm del flujo de mineral después de secado para la eliminación de los nocivos.

La empresa niquelífera ECECG fue diseñada para producir 30.000 t de níquel (Ni) y cobalto (Co) anuales, teniendo como materia prima un material con contenido industrial de níquel (Ni) de 1,32 %, hierro (Fe) 38,5 % y cobalto (Co) 0,105 % que fueron los obtenidos en las muestras tecnológicas que se emplearon en la valoración de los yacimientos y sirvieron de base para el diseño de la fábrica. Debido al alto grado de complejidad de los yacimientos y la tecnología empleada para realizar los trabajos mineros, se produce la incorporación de elementos nocivos que tienen un efecto negativo en el proceso y que influyen desde el régimen de preparación de mineral hasta el producto final.

Es por ello que se decide llevar a cabo un sistema de beneficio de la mena en la salida de los hornos de secado con el objetivo de separar las partículas perjudiciales al proceso (de forma inicial a fracciones menores de 10 mm), así como mejorar la calidad del mineral seco y molido que se alimenta al proceso de reducción y estabilizar las operaciones en las plantas de Hornos de Reducción y Lixiviación – Lavado, lo que incide en la elevación de la eficiencia de la industria.

Problema científico que se estudia

Desconocimiento del efecto del beneficio de los materiales sobre los indicadores técnico económico principales de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECECG).

Objetivo

Evaluar el efecto del beneficio de la mena en los principales indicadores técnico económico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Hipótesis

Si se establece la relación entre el beneficio del material aplicado a la mena alimentada al proceso extractivo en la ECECG y el comportamiento de los parámetros de control en las plantas de proceso, se determinará su impacto en los principales indicadores técnico económico de la empresa.

Objeto de estudio

Eficiencia en la tecnología carbonato amoniacal.

Objetivos específicos

- Establecer el impacto del beneficio del material sobre los principales indicadores técnico económico de la empresa en el período antes y después de implementado el proceso de beneficio
- Valorar los indicadores de mayor impacto con la modificación en la operación de la cadena productiva de la ECECG.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE DE LA PREPARACIÓN DEL BENEFICIO DE LA MENA

Para disponer de elementos básicos y las tendencias actuales que resultan esenciales para el desarrollo del trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica referente al proceso de beneficio en la tecnología Caron.

1.1. Trabajos precedentes

En relación con el proceso de obtención de níquel, Cuba ha avanzado considerablemente en las investigaciones realizadas sobre el proceso de beneficio, este adelanto también involucra a la actividad de preparación del material laterítico, hoy se cuenta con diversas investigaciones relacionadas con el objeto de estudio.

Rojas, A. L. (1995), en su trabajo caracteriza mineralógicamente el material laterítico y serpentinito mediante el empleo de técnicas instrumentales analíticas (difracción y fluorescencia de Rayos-X, espectroscopia de adsorción atómica y emisión, microscopia electrónica de transmisión y de barrido). Determina las principales características físicas del material laterítico, tales como la densidad, granulometría y colorimetría, las cuales son importantes para caracterizar esta materia prima mineral, pues influyen en su comportamiento durante determinados procesos físicos y físico químicos, determina además la composición química a través de todo el perfil de alteración por horizontes, y en las fracciones granulométrica, así como establece la tendencia de enriquecimiento de determinados elementos, tanto en el perfil como fracciones granulométricas y la correlación entre ellos.

Los materiales lateríticos han sido objeto de estudio por 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 lograr un mayor aprovechamiento de estas materias primas.

- La preparación y beneficio de materiales 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 materiales lateríticos.

Ponce (1984), en la mineralogía y composición sustancial de la mena del yacimiento Delta, Moa, trata sobre las principales características mineralógicas del mismo, y realiza un análisis granulométrico de los diferentes tipos de menas, análisis químico y valora mineralógicamente y electromagnéticamente las muestras. El análisis granulométrico se realizó con los siguientes tamices: 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,1 mm; 0,05 mm; 0,005 mm. La clase predominante es 0,05 mm con contenidos de 75 - 86 %, del análisis químico, el óxido predominante es el férrico (36 - 68 %).

Oustroumov et al (1987), hacen una valoración general sobre los minerales presentes en el yacimiento, con la utilización de Difracción de Rayos-X, ensayos térmicos, análisis granulométrico y químico, donde se indica que la granulometría del horizonte de ocre tiende a la fracción - 0,020 mm con transición de la parte superior de dicho horizonte hacia la fracción + 0,080 mm.

Peña y Rubio (1990), hacen un estudio del beneficio de escombros, el mineral primeramente será sometido a operaciones de trituración y cribado en ciclo cerrado con el objetivo de obtener un producto con una granulometría menor de 5 mm, el que luego fue alimentado a una criba pulsante hidráulica donde se obtuvieron tres productos, de ellos, dos presentan contenido de hierro entre 40 y 50 %, siendo el contenido de este elemento para el tercer producto entre el 20 y 30 %. La fracción fina fue sometida a esquemas combinados de beneficio como la tostación magnetizante con separación magnética a bajas intensidades y con flotación aniónica inversa. La separación magnética no arrojó resultados satisfactorios; además con los reactivos utilizados en el proceso de flotación no se logró el beneficio del material.

Almaguer y Zamarsky (1993), determinan la distribución del níquel, hierro y cobalto en los tamaños de los granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo. Abordan sobre la mineralogía, granulometría para posible beneficio por tamaño para el aprovechamiento integral de las lateritas; se realiza la caracterización granulométrica desde 1,6 mm hasta 0,05 mm, ofrecen el análisis estadístico del contenido de níquel, hierro y cobalto. El níquel está distribuido uniformemente coincidiendo con los resultados de (Agyei et al, 2005; Falcón y Hernández, 1993), realizan ensayos continuos con la utilización de esquemas de reducción de tamaño, lavado, separación magnética y beneficio gravitacional de muestras de espesadores de pulpa así como los de escombros de los yacimientos suministrados a la Moa Nickel S.A., donde se obtuvo como resultado que la cromita se concentra en el producto magnético y la fracción pesada del producto gravitacional. El níquel se concentra en las clases finas y los productos ligeros del beneficio gravitacional. El hierro se concentra en la clase más fina fundamentalmente, aunque aparece una cantidad con alta susceptibilidad magnética, en el caso del escombro, los perdigones también lo concentran.

Rojas et al (1993b), realizan la valoración mineralógica del material procesado en la ECECG, se revelan también que las fases minerales presentes en el material alimentado a los hornos de reducción son fundamentalmente óxidos e hidróxidos de hierro, goethita e hidrogoethita, hematita y magnetita que alcanzan hasta el 70 % del peso de la muestra. Las fases minerales cristalinas presentes tanto en el material reducido como en el producto lixiviado y sedimentado son principalmente magnetita, forsterita, cuarzo y clorita. Entre las fases de magnetita y forsterita están los responsables de la retención del níquel en su estructura que no permiten su recuperación.

Falcón et al (1997a), ofrecen resultados sobre estudio de la sedimentación de la pulpa cruda del mineral laterítico de Moa Nickel S.A, con el objetivo de aumentar el porcentaje de sólido en el producto espesado. Se hace análisis granulométrico, análisis químico por Absorción Atómica, Fluorescencia de Rayos-X, Microscopía Electrónica. Se realizan ensayos de sedimentación con agua de mar, de reboso y agua destilada. El análisis de Difracción de Rayos-X también pone de manifiesto que la principal fase de todas las

capas analizadas es la goethita y como fases acompañantes: hematita y el cuarzo. En el trabajo se comprueba que las fracciones mayores que 20 μm aportan porcentajes mayores de sólidos. Más tarde, (Falcón et al,1997b), hacen análisis de la preparación mecánica de la ECECG con trituradores de mandíbula, molino de bola, tamices, tubos de Davis, analizadores por vía seca, canales cónicas y sluices, donde distribuye el estudio en bloques. El primer bloque de experimentos incluye cribado, trituración, molienda, lavado y tamizado. Se utilizan las clases siguientes: + 0,85 mm; (- 0,85 + 0,16) mm; (- 0,16 + 0,071) mm y (0,071 + 0,00) mm. Para el primer bloque se concluye que la limonita requiere de menos tiempo de lavado y tamaño de trituración que la serpentina, también el aumento de tiempo de lavado aumenta el contenido de magnesio y disminuye el contenido de níquel. Los ensayos realizados con los separadores espirales demuestran la necesidad de su uso para el enriquecimiento de níquel del producto ligero en un solo pase. El cobalto se enriquece en la fracción (- 0,83 + 0,074) mm, el hierro lo hace en - 0,074 mm. La concentración de cromo y cobalto en el producto pesado se duplica con respecto a la muestra inicial. En el producto ligero se incrementa el contenido de níquel e hierro y decrece apreciablemente el magnesio, finalizan que la trituración del material hasta 10 y 5,0 mm permite mejorar la operación de lavado.

Hernández et al. (2000), realizan un análisis teórico del beneficio de la mena laterítica, tuvo como propiedades contrastantes, el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas, donde quedaron establecidos los principales índices tecnológicos de la separación, cuyos resultados muestran que es posible un incremento de níquel hacia el producto fino de separación en 0,01 % y una disminución del contenido de aluminio y magnesio de 8,56 % y 6,58 % respectivamente, lo que es muy beneficioso para el proceso de lixiviación ácida. Además el producto magnético se caracteriza por un alto contenido de cobalto.

Ramírez (2002), también realiza una caracterización de los escombros lateríticos, desde el punto de vista físico, químico y mineralógico para una mejor beneficiabilidad, y así lograr un mejor aprovechamiento de esta materia prima.

Los métodos clásicos para el estudio de la beneficiabilidad de la laterita no permiten obtener información real de sus características para su posible tratamiento dada la complejidad mineralógica del material. La separación de la laterita en varios componentes que considera una sola propiedad es imposible, (Hernández, 1997; Coello et al, 1998; Hernández et al., 2000)

A pesar de los avances que se han logrado, existe un problema en la distribución fraccional de la mena niquelífera, que hasta este momento está latente. Muchos de los factores analizados no están estudiados con suficiente certeza y la explicación del efecto obtenido se hace difícil, debido a que la caracterización ha sido generalmente mediante métodos clásicos, y carece de un enfoque sistémico e integral; resulta también insuficiente, el conocimiento que se tiene, en cuanto a las propiedades físicas contrastantes, lo que impide establecer las regularidades para el estudio de la capacidad de enriquecimiento que permite el aprovechamiento más integral del mismo. Por las razones mencionadas, se necesita caracterizar la materia prima utilizando, el tamaño, susceptibilidad magnética y la densidad de una manera integral.

La explotación de los yacimientos lateríticos en Cuba, se ha efectuado para la extracción del níquel y el cobalto contenidos en ellos, sin embargo, los minerales en estos yacimientos contienen en mayor cantidad otros componentes que no se utilizan, los que se acumulan como residuales, estos ocupan grandes extensiones y contaminan el medio circundante. Además, la extracción mineral se realiza para garantizar contenidos mayores de 0,9 % de níquel en el material alimentado a las plantas metalúrgicas, lo que obliga a hacerla más extensiva y que se acumulen mayores volúmenes de materiales fuera de balance que conforman las escombreras. Los resultados de trabajos investigativos geólogo - mineralógicos sobre estos yacimientos, indican contrastes significativos en la concentración y contenidos de diferentes elementos en las capas y partículas de diferentes tamaños que constituyen las partes del yacimiento en su conjunto. Se observa, que en la medida que disminuyen los contenidos de sílice y magnesio aumentan los de hierro y níquel. Estos dos últimos elementos tienden a concentrarse en las partículas más finas, mientras que el cobalto y el cromo lo hacen en partículas intermedias entre 200 y 20 micrones, (Hernández, 1997).

1.2 Composición mineralógica, granulométrica y química de la base minera de la ECECG.

La laterita de balance en la base minera de la ECECG es esencialmente ferrosa, donde el hierro se concentra en valores entre un 20 y un 49,7 % en las diferentes fracciones granulométricas, se encuentran además como elementos mayoritarios en esta mena el óxido de magnesio, el aluminio, la sílice, el cromo y el manganeso. El níquel y el cobalto aparecen como microelementos, pero de mucho interés desde el punto de vista técnico y económico.

En la fig. No.1 se muestra las características del tamaño de la base minera, donde de forma algorítmica se pone de manifiesto que a medida que aumenta el diámetro de las partículas, disminuye el % en peso.

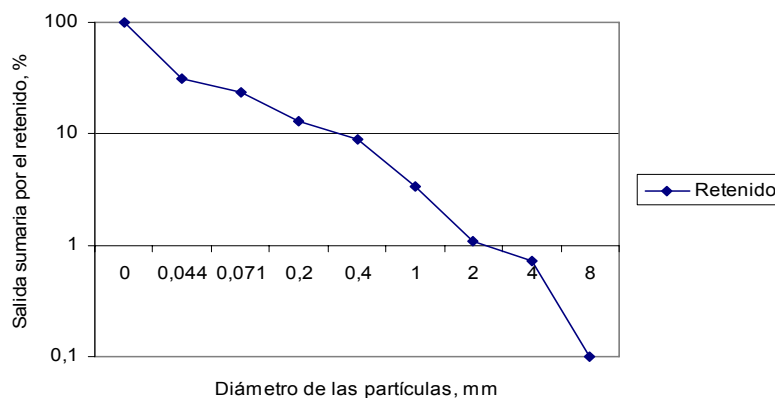


Fig. No. 1: Retenido en base minera de la ECECG.

Los resultados del análisis granulométrico y químico efectuado al yacimiento de la base minera de la ECECG, Tabla No. 1, resultan atractivos para evaluar la posibilidad y efectividad de la introducción del proceso de beneficio con vistas a concentrar y/o separar los elementos químicos y compuestos que componen la mena laterítica, se observa la tendencia del hierro a concentrarse hacia las clases de tamaño más finas, por el contrario la sílice y el magnesio lo hacen hacia las mayores granulometrías, es decir, existe contraste en la concentración de estos en virtud de la diferencia del diámetro de las partículas de la mena. Por su parte el cobalto y el manganeso presentan la tendencia a concentrarse fundamentalmente en los intervalos de tamaño intermedios.

Tabla 1. Composición química promedio de la laterita de balance, por fracciones granulométricas de la base minera de la ECECG .

Clases de Tamaño (mm)	Contenido (%)									
	Ni	Co	Fe	Mn	MgO	Cr	Al	SiO ₂	Cu	Zn
-10 + 8,0	1,80	0,365	20,69	3,08	9,40	0,27	12,76	20,16	0,043	0,037
- 8,0 + 4,0	1,56	0,229	21,85	2,18	9,18	0,23	9,83	22,16	0,028	0,034
-4,0 + 2,0	1,60	0,323	22,18	2,72	9,81	0,27	9,62	19,38	0,033	0,045
-2,0 + 1,0	1,08	0,225	34,63	1,71	3,10	1,30	5,32	6,71	0,022	0,057
-1,0 + 0,4	1,20	0,264	39,20	1,84	1,79	2,11	4,15	4,43	0,020	0,058
- 0,4 + 0,2	1,42	0,404	36,50	2,98	1,31	2,09	4,10	3,94	0,022	0,058
-0,2 + 0,071	1,50	0,349	38,91	2,57	1,16	2,37	3,65	4,01	0,019	0,046
-0,071+ 0,044	1,40	0,192	43,90	1,40	0,94	2,68	3,44	3,75	0,017	0,042
- 0,044 + 0	1,38	0,092	49,66	0,63	0,71	1,96	3,51	3,41	0,018	0,048

Las curvas que describen el comportamiento de los principales elementos químicos que componen la muestra (figura 2) manifiestan contraste en cuanto a su concentración en los intervalos granulométricos estudiados, por ejemplo el magnesio que constituye un componente nocivo tanto para la tecnología ácida como para la tecnología Caron incrementa su contenido gradualmente en la medida que aumenta el diámetro de las partículas, de manera similar resulta el comportamiento del aluminio y la sílice; por su parte el hierro elemento mayoritario disminuye en su concentración en la medida que las partículas que componen la mena inicial aumentan en su tamaño.

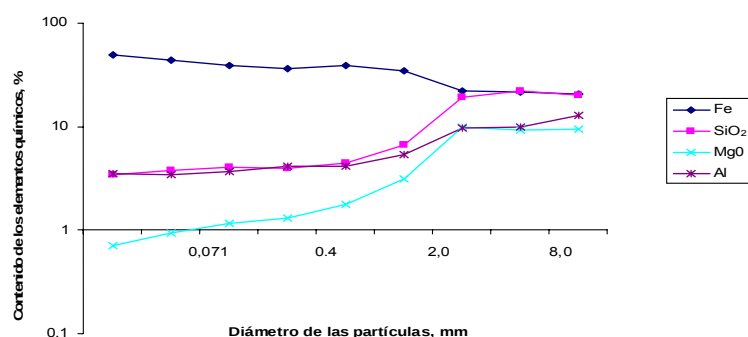


Figura No. 2: Variación de contenido de los componentes mayoritarios, Fe-Al-MgO-SiO₂ en la laterita de balance del yacimiento Punta Gorda.

1.3: Esquema tecnológico antes de la aplicación del proceso de beneficio del material en la ECECG

En la planta Preparación de Mineral es donde se inicia el proceso productivo de la Fábrica, según la tecnología carbonato amoniacal (Manual de Operaciones de la planta, 1986)

El material procedente de la mina es transportado hasta el Objeto 01 (Taller de recepción de mineral) y puede ser suministrado a la planta de Preparación de Mineral por dos vías.

- a) A través de grúas gantry.
- b) Directamente por los transportadores de enlace (No.14) ó (15).

Una vez descargado el mineral en galería es remontado y alimentado por las grúas gantry. Estas remontan el mineral y lo homogeneizan en el depósito exterior que posee una capacidad de material húmedo de 360 000 t, capaz de garantizar 28 días de trabajo en la planta.

El material suministrado por las grúas o el transportador No. 14 ó 15 es descargado en los transportadores cuyas capacidades son 750 t/h cada uno.

El paso del mineral desde las grúas hacia los transportadores 5 y 5a, 6 y 6a, se realiza a través de un alimentador que se mueve solidario con las grúas y que posee para este trabajo (de alimentación) un transportador y de capacidad 750 t/h

Los transportadores 5, 5a, 6 y 6a, alimentan a los transportadores 7 y 7a los que se encargan de llevar el material homogeneizado hasta el edificio de los secaderos. La capacidad de estas correas es de 750 t/h y todo su contenido lo vierten sobre los transportadores 8 y 8a que tiene como función la de alimentar a los transportadores 9 (del 1 al 6) de los secaderos y a los transportadores 10 (1, 2 y 3) depósito de mineral interior o de emergencia.

El tambor secador posee una longitud igual a 48 m y un diámetro 4,5 m. El mineral al entrar al secadero lo hará con una humedad aproximadamente de 36 a 38 %, la que puede ser mayor en épocas de lluvia, y saldrá del mismo con 4,0 a 5,5 % según esta establecido.

Para lograr esto cada secadero posee una cámara de combustión dotada de un quemador de petróleo. Se suministra aire de combustión, aire de pulverización aire secundario o gases procedente de la planta de Hornos.

Los gases combustionados dentro de la cámara alcanzan una temperatura de 1500 °C y bajan hasta 750 a 850 °C al ponerse en contacto con el aire en exceso que se suministra y que sirve para aumentar el volumen de gases necesarios para secar el mineral.

Con esta última temperatura es con la que entran los gases al tambor secador. La circulación de estos en el al tambor secador se realiza en dirección a concurrente con el mineral alimentado de forma que, ese contacto gases calientes-mineral permita que este ultimo se vaya secando y se obtenga al final del secadero un producto con las características adecuadas. Los gases al salir del secadero tendrán una temperatura de 85 a 95 °C.

El material después de secado, es descargado en las correas transportadoras son denominadas comúnmente correas calientes debido a que son las primeras que hacen contacto con el material caliente que sale de los secaderos. La capacidad es de 490 t/h.

En estas correas se encuentran instaladas las romanas encargadas del pesaje del material seco.

Este material seco es descargado en las correas transportadoras que son la vía de unión entre los secaderos y los molinos. Esta correa transportadora posee una capacidad de 490 t/h y descarga su contenido en 4 tolvas, una para cada molino mediante desviadores de mineral colocados sobre la correa y justamente sobre las mencionadas tolvas.

Desde cada tolva el mineral llegará a los molinos en forma dosificada de 120 t/h y tiene cómo dimensiones 5,7 m de longitud y 3,2 m de diámetro.

Estos molinos son de forma cilíndrica y para su proceso de molienda fina poseen una carga de bolas cuyo peso es de 54 t, cuyas dimensiones son:

100 mm – 10 % 5, 5 t (5500 kg)

70 mm - 10 % 5, 5 t (5500 kg)



60 mm - 15 %	8, 0 t	(8000 kg)
40 mm - 25 %	13, 5 t	(13500 kg)
32 mm - 40 %	21,5 t	(21500 kg)
Total	54 t	(54000 kg)

El producto que el molino debe entregar tendrá una humedad de 4,5 a 5,5 % y el mineral molido es transportado hacia los silos de mineral del Taller de Hornos de Reducción mediante el empleo de bombas neumáticas colocadas en la descarga de las tolvas.

Conclusiones parciales.

Se logró ampliar los conocimientos mediante los estudios realizados por diferentes investigadores, sobre las características físicas, químicas y mineralógicas de los yacimientos lateríticos.

CAPÍTULO 2

INTRODUCCIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIO EN LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA

La empresa niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara fue diseñada para producir 30.000 t de níquel y cobalto anuales, la misma tiene como materia prima una mena con contenido industrial de níquel de 1,32 %, hierro 38,5 %, cobalto 0,105 %, sílice en el rango de 10,5 % a 11,5 % y óxido de magnesio en el rango de 4 a 6 %, que fueron los resultados obtenidos con el procesamiento de una muestra tecnológica analizada en la planta piloto de Nicaro, en la misma se establecieron los parámetros para la reducción del material, así como se realizaron los estudios de sedimentación de las pulpas lixiviadas.

El producto final de la empresa está compuesto por los siguientes surtidos:

- Óxido de níquel sinterizado (SG) con un contenido de níquel en el rango de 86 % y hasta un 93 %; el contenido de cobalto máximo admisible es de 1,30 %, el contenido de hierro con un valor máximo admisible de 0,90 %.
- Óxido de níquel en polvo metalúrgico (SP) con un contenido de níquel mínimo de 75 %, el contenido de cobalto de 1,45 % valor máximo y el contenido de hierro admisible hasta 0,50 %.
- Óxido de níquel en polvo químico (PQ) con un contenido de níquel mínimo de 75 %, el contenido de cobalto de 0,80 % máximo y el contenido de hierro en 0,50 % máximo.
- Sulfuro de níquel y cobalto obtenido en el proceso de purificación de la solución lixiviada rica en níquel con un contenido de este elemento de un 25 % máximo y cobalto de 6 % mínimo.

2.1. Caracterización del material en la descarga de los secaderos

Para evaluar la necesidad de la introducción del proceso de beneficio en el esquema tecnológico de la ECECG se realizó la caracterización granulométrica y química de la mena alimentada al proceso y para ello se tomaron muestras en los transportadores 11 y 11A, o correas calientes; en las Tablas No. 2, 3 y 4 se exponen los resultados de los estudios efectuados a las muestras.

2.1.1. Resultados de las corridas en los transportadores 11 y 11A (correas calientes de Secaderos)

Se toma como base de cálculo la masa de la muestra para cada una de las fracciones y el contenido de los elementos que le corresponde a cada una de ellas, se calcula la masa de cada compuesto y a partir de esta y la masa total de cada uno para el total de la muestra, se determina el contenido de ese elemento en esa clase de tamaño para poder valorar su comportamiento en cada caso.

Para la Corrida No. 1, (Tabla No. 2), en la fracción por encima a los 12 mm, se obtiene que el contenido de níquel en esa clase de tamaño es de 10,59 % comparado con la masa total de este elemento, el hierro representa en esta fracción el 7,01 %, mientras que la sílice y el óxido de magnesio representan el 23,91 y el 28,57 % respectivamente.

Tabla No. 2: Composición granulométrica y química de la mena de alimentación al proceso, Corrida No. 1, año 2004.

Clase de tamaño, mm	Masa, kg	Salida o % en peso.(%)	Salida sumaria +	Contenido de los elementos, %						
				Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	Mn	Al
+50	623,04	3,25	3,25	0,86	0,021	17,0	30,56	20,32	0,14	1,06
-50 +25	800,28	4,18	7,43	0,72	0,013	8,9	38,10	27,77	0,13	0,90
-25 +18	716,42	3,74	11,17	0,61	0,017	13,9	34,9	24,87	0,13	0,83
-18 +12	707,46	3,69	14,86	0,80	0,016	12,6	33,16	25,49	0,11	1,90
-12 +6,3	1478,05	7,72	22,58	0,76	0,021	15,5	31,34	22,38	0,17	2,31
-6,3 +4	1624,8	8,49	31,07	0,80	0,038	21,8	24,78	16,17	0,32	4,17
-4 +0	13187,3	68,93	100	1,17	0,084	32,4	17,08	8,91	0,59	3,75
Total	19137,35	100								

Se aplica similar procedimiento realizado para la Corrida No. 1, se tiene que en la Corrida No. 2, (Tabla No. 3), en la fracción por encima a los 12 mm, el contenido de níquel representa el 7,63 % de la masa total de este elemento en la muestra, el hierro es de 4,44 %, mientras que la sílice y el óxido de magnesio representa el 20,06 y el 25,71 % respectivamente.

Tabla No. 3: Composición granulométrica y química de la mena de alimentación al proceso, Corrida No. 2, año 2004.

Clase de tamaño, mm	Masa, kg	Porcentaje en peso, %	Sumaria +	Contenido de los elementos, %						
				Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	Mn	Al
+50	462,45	2,71	2,71	0,86	0,019	12,52	35,89	24,83	0,12	0,95
-50 +25	425,66	2,5	5,21	0,92	0,021	14,05	32,40	25,08	0,16	1,50
-25 +18	394,37	2,31	7,52	0,80	0,018	11,8	37,36	25,08	0,14	1,89
-18 +12	457,62	2,67	10,19	0,84	0,021	15,1	33,28	23,21	0,16	1,66
-12 +6,3	940,76	5,52	15,71	0,92	0,035	17,6	30,22	19,69	0,35	3,22
-6,3 +4	1741,35	10,22	25,93	0,87	0,051	25,3	21,6	13,68	0,57	4,71
-4 +0	12609,7	74,07	100	1,24	0,102	35,0	13,84	6,42	0,75	3,78
Total	17031,91	100								

En la Corrida No. 3, (Tabla No. 4), en la fracción por encima de los 12 mm, el contenido de níquel representa el 13,81 % de la masa total de este elemento en la muestra, el hierro es 7,93 %, mientras que la sílice y el óxido de magnesio representan el 31,21 % y el 37,60 % respectivamente.

Tabla No. 4: Composición granulométrica y química de la mena de alimentación al proceso, Corrida No. 3, año 2004.

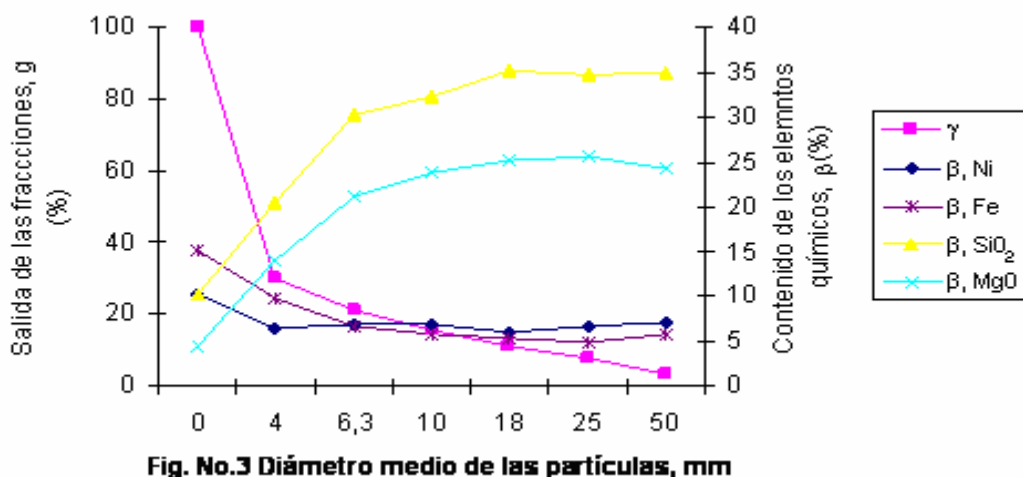
Clase de tamaño, mm	Masa, kg	Porcentaje en peso, %	Sumaria +	Contenido de los elementos, %						
				Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	Mn	Al
+50	859,7	4,36	4,36	0,91	0,018	7,9	38,34	27,36	0,12	0,38
-50 +25	1087,2	5,47	9,83	0,84	0,022	14,2	33,36	23,84	0,14	0,89
-25 +18	996,24	5,01	14,84	0,83	0,022	13,7	33,12	25,49	0,21	0,98
-18 +12	524,86	2,64	17,48	0,95	0,026	16,3	29,94	22,80	0,22	1,84
-12 +6,3	1325,9	6,66	24,014	0,93	0,027	16,6	28,84	21,55	0,22	2,32
-6,3 +4	1703,45	8,57	32,71	0,77	0,042	26,1	14,74	12,44	0,51	4,80
-4 +0	13371,3	67,3	100	1,22	0,093	33,6	14,70	7,05	0,66	3,59
Total	19868,65	100								

Al realizar la sumatoria de las masas de cada uno de los elementos, para cada una de las corridas, se encuentra el contenido de cada uno de ellos para la fracción por encima de los 12 mm, se obtiene un valor medio para el níquel de 10,80 %, el hierro es de 6,49 % mientras que la sílice y el óxido de magnesio es de 25,38 y 31,07 % respectivamente.

Estos resultados evidenciaron la necesidad de la separación de las rocas, por los valores tan elevados de sílice y magnesio conjugados con valores bajos de contenido de níquel. El material con altos contenidos de sílice y magnesio reporta resultados desfavorables en los indicadores de eficiencia en los procesos de molienda, extracciones en hornos de reducción y en el circuito de lixiviación y lavado; en esta última incrementa, además, el arenamiento, todo por las dificultades en la molienda de un material extremadamente duro.

El número de mineral, (Na), está dado por la relación del producto, del níquel y el hierro, en %, en el material de alimentación y el producto de la sílice y el magnesio, en %, en esta misma corriente; para el resto de las fracciones será muy bajo y considerarlo mena debe ser un error ya que su procesamiento industrial no sería económico, por los bajos resultados de eficiencia.

En la figura No. 3 se muestra el resumen de los valores medios de las tres muestras tomadas en las correas calientes para caracterizar la mena en los secaderos, tal y como se ilustra a continuación:



Al evaluar la composición granulométrica y química de la mena alimentada al proceso, representada en la Figura No. 3, los valores de níquel se multiplican por 20 para poder representarlo gráficamente, permitió tomar los elementos técnicos que definen la modificación. Evidentemente la separación de las rocas tiene un efecto positivo en el incremento de la ley de níquel, al separar una cantidad considerable de elementos nocivos, que nada aportan al proceso.

En la medida que se incrementa el diámetro medio de las partículas los componentes nocivos, sílice y magnesio, tienden a incrementar su contenido mientras que el níquel y el hierro tienden a disminuir su contenido. De ahí se desprende que el corte realizado en la fracción de $-10 + 6,3$ es fundamentado y se produce un arrastre no significativo de finos con el producto de alta granulometría, mayor a 10 mm, que debe incrementarse con la malla -6 mm, a no ser que se utilice un separador más eficiente que el tromell, ya que por la ingeniería de la planta no es posible alargarlo más, lo cual redundaría en un incremento de la eficiencia del proceso.

La solución a este efecto negativo se logra con la instalación de una criba vibratoria antes de la alimentación a los molinos, que permite la separación del fino arrastrado con el material estéril.

2.2. Diseño del esquema del beneficio e implementación en la empresa

El esquema de beneficio de los materiales en esta empresa se implementó en dos etapas:

1. La eliminación de las fracciones mayores de 50 mm, que en la mayoría de los estudios reportaba muy alto contenido de elementos nocivos y bajo níquel, pero por el diseño de esta fábrica entraba al proceso. Esto se hizo con la modificación de la instalación de alimentación a la fábrica, al separar la fracción superior de la zaranda que por diseño se molía en otra instalación de alto consumo eléctrico, esta innovación tecnológica tuvo un elevado efecto social debido a la eliminación del alto ruido y de la contaminación del medio ambiente por eliminar el proceso de trituración primaria.

2. La eliminación de la fracción +10 mm, donde se aprovechó las condiciones en la instalación existente en la planta, con el objetivo de eliminar las rocas estériles que acompañan el material, (Herrero A.E et.al, 2006).

En la Figura No. 4 se muestra el esquema de beneficio que se puso en marcha en Marzo del 2006: este tiene como objetivo la separación de las fracciones granulométricas mayores a 10 mm ricas en sílice y óxido de magnesio y material estéril, que son perjudiciales al proceso desde molienda hasta lixiviación fundamentalmente y el enriquecimiento de los valores metálicos de níquel, cobalto y hierro.

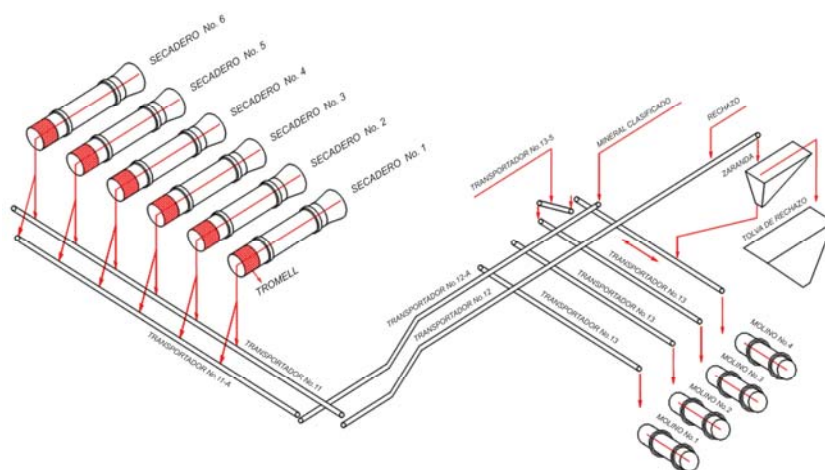


Fig. No.4 Esquema de Beneficio implementado en la descarga de los secaderos

El mismo está formado por los 6 secaderos. Una vista general del secadero se muestra en la Figura No. 5, durante la operación se puede cambiar la cantidad de estos equipos en operación como resultado del mantenimiento o por la situación real del inventario en silos.



Fig. No. 5: Vista general del secadero donde se observa el punto de alimentación, el tambor y la zona de descarga

A estos secaderos se les instaló en la descarga una criba giratoria o Tromell compuesto por una malla de orificios de 10 mm de diámetro, tal y como se observa en la Figura No. 6.



Fig. No.6: Montaje del Tromell en la descarga del secadero

El largo de la misma estuvo supeditado a la ingeniería de la planta, por lo que se limitó el mismo y como consecuencia se afectó su eficiencia, este efecto fue solucionado al someter la descarga del tromell a las dos correas donde el material clasificado en una criba vibratoria, -10 mm, se descarga en la correa 11 A y el rechazado, +10 mm, en la correa 11, el material se transfiere a las correas transportadoras 12 y 12 A de alimentación a los molinos, en la Figura No. 7 se muestran detalles de la situación de las correas.



Fig.No. 7: Detalle de la situación de las correas a la descarga de los secaderos

El producto grueso se alimenta a una criba vibratoria donde se despoja del fino arrastrado por la ineficiencia del sistema y el rechazo pasa a una tolva, desde la que se traslada a otro lugar de la empresa para otros destinos fuera del proceso con el empleo de un camión de tiro de mineral, el fino se alimenta al molino No 4; en los casos en que

el molino esté en mantenimiento o averiado este se transfiere al Molino No. 3 mediante la correa 13-5.

Los molinos, mediante este esquema, son alimentados con la fracción menor de 10 mm, lo que facilita los resultados de la molienda, al desaparecer los fragmentos grandes de más de 100 mm, que como es lógico dificultan esta operación, el producto fino que es arrastrado por el aire aparece con más facilidad, lo que incrementa la productividad del molino y disminuye el consumo de potencia. En la Figura No. 8 se ilustra uno de estos molinos de bolas con barrido por aire, existen 4 unidades instaladas en la planta, cada uno lleva una carga de bolas de 54 t y su consumo de potencia oscila entre 580 - 600 kW/h.



Fig. No.8: Representación del molino de bolas con barrido por aire

Con la implementación de este proceso de beneficio, se logra impedir que pasen al proceso tecnológico más de 250 t/d de material estéril, o sea más de 90 000 t/a, las que antes se trituraban y continuaban acompañando a la mena en todo el proceso, que representa alrededor de 3500 t de consumo de petróleo. El beneficio permite incrementar la concentración de los elementos útiles y la elevación de la ley del mineral y obtener la producción con menor costo de las operaciones y un ahorro considerable de petróleo debido a la reducción del volumen de material a procesar por hornos, y la no utilización de aditivo a esa cantidad de material que se rechaza.

En la Figura No. 9 se observa un camión donde se descarga la tolva del producto rechazado, el que se retira de la planta hacia el depósito de este producto destinado a otros fines.



Fig. No. 9: Carro donde se descarga la tolva de rechazo

El depósito de rechazo, (fracción +10 mm), se observa en la figura No. 10.



Fig. No.10 Depósito material rechazado

Este rechazo se utiliza para relleno de los caminos mineros, drenaje Francés para estabilizar taludes y caminos, dique filtrantes para las aguas procedentes de la mina, relleno de cárcavas, cubierta de taludes.

La instalación se ejecutó con el mínimo de tiempo y recursos materiales sin afectaciones a la producción, eleva la calidad del material a procesar lo que se logra por este concepto una producción adicional, permite trabajar los silos a máxima capacidad, disminuye los riesgos de tener en almacenaje una cantidad de elementos nocivos que provocaría crisis, aumenta la eficiencia metalúrgica en todas las plantas de proceso, se facilitan los trabajos de mantenimientos y reparaciones, no existe contaminación ambiental durante el beneficio.

Conclusiones parciales:

Se demostró que las fracciones + 10 mm poseen elevados contenidos de componentes nocivos para el resto de la tecnología (sílice y óxido de magnesio). Lo que determina además bajo porcentajes de los elementos de interés (níquel y cobalto).

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo está destinado fundamentalmente a presentar y analizar los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones realizadas. Para la evaluación del impacto de la introducción del proceso de beneficio en los principales indicadores técnico económico, se aplica el método comparativo para períodos de operación antes y después de la implementación del proceso de beneficio.

Durante la explotación de la industria, los yacimientos mineros se han empobrecido, cada vez se encuentran más alejados, con menor contenido de los elementos valiosos y es mayor su grado de complejidad; al no disponer de un beneficio del material, se introducen al sistema elementos nocivos que producen efectos negativos en los indicadores técnicos productivos previstos.

Para atenuar este efecto negativo se procede a la introducción del beneficio en la planta de Preparación de Mineral.

3.1. Influencia del beneficio en el aprovechamiento eficiente de la base minera

En el Proceso Carón es fundamental que la mena sea homogenizada y que mantenga una proporción limonita-serpentina estable (3 a 1), lo que garantiza la estabilidad en la calidad de la alimentación del proceso tecnológico extractivo.

Con el beneficio se logra un mejor aprovechamiento de las reservas mineras, ya que se pueden agotar las partes de los yacimientos de menos condiciones para su explotación, y aprovechar los yacimientos de forma más eficiente. Por las características del equipamiento minero, específicamente las excavadoras, no pueden seguir la configuración del fondo ni eludir las rocas estériles que encuentran en su trayecto, y mucho menos mezclar el mineral en el proceso de carga de los camiones de tiro. El espesor de las capas de estos minerales en la corteza terrestre es variable, por lo que es ilógico pensar en una mezcla proporcionada entre la laterita y la serpentina en el campo.

Después de la implantación del proceso de beneficio se observa que al proceso se alimenta un material de mayor variabilidad como resultado de la participación de más frentes de minería; en la medida que avanza el tiempo de explotación de la industria se agotan los yacimientos cercanos, el material que se alimenta es distante y de contenido de los metales valiosos más bajos. Como es lógico, este agotamiento en el material incide en la alimentación al proceso y como resultado de esta variabilidad y del empobrecimiento del material de alimentación se afecta el extractable, a esto se le suma las frecuentes averías de las excavadoras, la planificación se ve afectada por la salida de los frentes por las excavadoras averiadas y como consecuencia se afecta la calidad del material alimentado, ya que no se cuenta con ningún punto de homogenización efectiva.

El proceso de beneficio se comenzó a aplicar en la ECECG en el año 2006 y en una etapa inicial se realiza la separación de las partículas mayores de 10 mm. Al disminuir los contenidos de los nocivos y enriquecer el material se logra un incremento adicional de los componentes útiles y con ello se elevan los niveles de extracción que inciden en la eficiencia metalúrgica del proceso en general, se logra eliminar el material estéril sobre la base de la clasificación granulométrica, para de esta forma mejorar la calidad del material alimentado a la molienda y a los productos intermedios que son materia prima para cada etapa del proceso, y además mejora las condiciones de operación en la cadena productiva.

3.2. Impacto del beneficio con relación al incremento de la concentración del níquel y el cobalto en el material procesado

Para determinar el impacto del beneficio en la producción de las plantas de Lixiviación – Lavado, Cobalto, Recuperación y Calcinación se realizó el balance de materiales sin la implementación del beneficio y con el beneficio, sin tener en cuenta el mejoramiento que esto trae también a los parámetros de extracción de las plantas y a la eficiencia metalúrgica, o sea, solo por el incremento de la concentración de los metales.

Las figuras No.11 y 12 muestran dos balances de materiales del año 2007, uno sin la implementación del beneficio y otro con la implementación del proceso de beneficio.

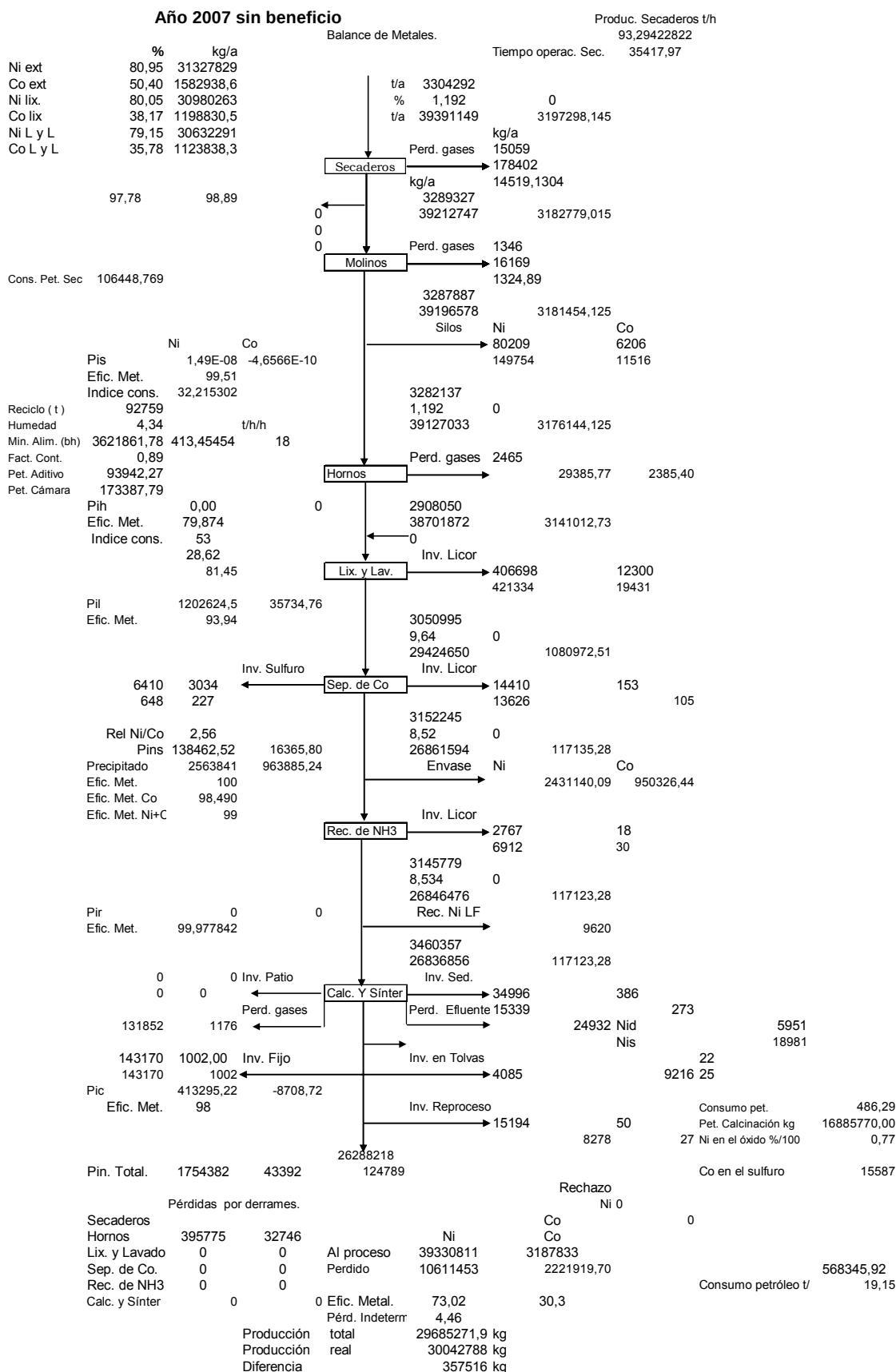


Figura No. 11: Balance de materiales del año 2007 sin la implementación del proceso de beneficio.

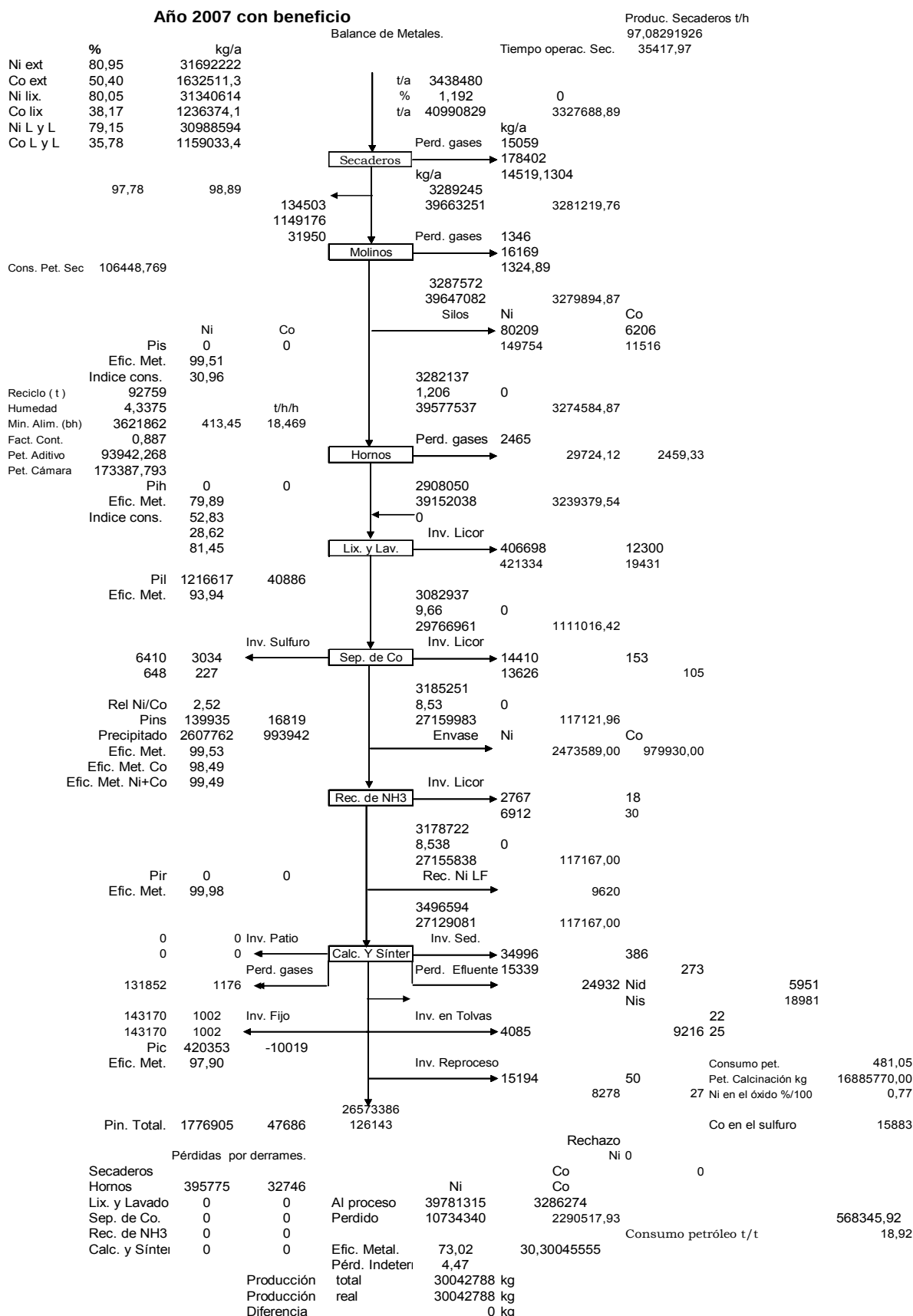


Figura No. 12: Balance de materiales del año 2007 con la implementación del proceso de beneficio.



Tabla No. 5 Resultados de la comparación de los Balances de Materiales

Año 2007		Sin beneficio	Con beneficio	
		REAL	REAL	Diferencia
1. Planta Preparación de Mineral	Mineral alimentado a secaderos (t)	3304292	3438480	
	Ley de Niquel (%)	1,192	1,192	
	Ley de Cobalto (%)	0,097	0,097	
	Cantidad de Ni (kg)	39391149	40990829	
	Cantidad de Co (kg)	3197298	3327689	
	Pérdida de mineral en secaderos (t)	15059	15059	
	Pérdida de mineral en molienda (t)	7	1346	
	Consumo de petróleo (t)	106449	106449	
	Indice de petróleo (kg/t)	32,22	30,96	
	Eficiencia metalúrgica (%)	99,51	99,51	
2. Planta Hornos de Reducción	Mineral bruto alimentado (t/h)	413,45	413,455	
	Mineral neto alimentado (t)	3282137	3282137	
	Consumo en cámara (t)	173387,793	173388	
	Indice de consumo (kg/t)	52,83	52,83	
	Consumo como aditivo (t)	93942,268	93942,268	
	Indice de consumo (kg/t)	28,62	28,62	
	Indice de consumo total (kg/t)	81,45	81,45	
	Ley de Ni (%)	1,192	1,206	
	Ley de Co (%)	0,097	0,100	
	Ley de Fe (%)	39,478	40,491	
	Ley de SiO ₂ (%)	13,000	9,769	
	Ley de MgO (%)	7,000	4,578	
	Niquel alimentado (kg)	39127033	39577537	
	Co alimentado (kg)	3176144	3274585	
	Pérdida mineral en gases (t)	2465	2465	
	Pérdida de Ni piso 0 (kg)	395775	395775	
	Extractable de Ni (%)	80,95	80,95	
	Extractable de Co (%)	50,40	50,40	
	Eficiencia metalúrgica (%)	79,87	79,89	
3. Planta Lixiviación y Lavado	Niquel recibido en la planta (kg)	38701872	39152038	
	Cobalto recibido en la planta (Kg)	3141013	3239380	
	Ni Lixiviado (%)	80,05	80,05	
	Co Lixiviado (%)	38,17	38,17	
	Ni Lixiviado y Lavado (%)	79,15	79,15	
	Co Lixiviado y Lavado (%)	35,78	35,78	
	Licor Producto bombeado (m ³)	3050995	3082937	
	Concentración de Ni (g/L)	9,64	9,655	
	Concentración de Co (g/L)	0,354	0,360	
	Niquel bombeado (kg)	29424650	29766961	
	Co bombeado (kg)	1080973	1111016	
	Pérdidas indeterminadas de Ni (kg)	1202625	1216617	
	Eficiencia Metalúrgica (%)	93,94	93,94	
4. Planta Separación de Cobalto.	Licor Producto bombeado (m ³)	3152245	3185251	
	Concentración de Ni (g/L)	8,52	8,527	
	Concentración de Co (g/L)	0,037	0,037	
	Niquel bombeado (kg)	26861594	27159983	
	Co bombeado (kg)	117135	117122	
	Pérdidas indeterminadas de Ni (kg)	138463	139935	
	Pérdidas indeterminadas de Co (kg)	16366	16819	
	Ni envasado (kg)	2431140	2473589	
	Co envasado (kg)	950326	979930	
	Relación Ni/Co en el sulfuro	2,56	2,52	
	Eficiencia Metalúrgica del Ni (%)	99,53	99,53	
	Eficiencia Metalúrgica del Co (%)	98,49	98,49	
	Eficiencia Metalúrgica del Ni+Co (%)	99,49	99,49	
				42449 29604
5. Planta Recuperación de Amoníaco	Licor Producto a destilación (m ³)	3145779	3178722	
	Concentración de Ni (g/L)	8,534	8,534	
	Concentración de Co (g/L)	0,037	0,037	
	Niquel destilado(kg)	26846476	27155838	
	Co destilado (kg)	117123	117167	
	Ni recirculado (kg)	9620	9620	
	Eficiencia Metalúrgica (%)	99,98	99,98	
6. Planta Calcinación y Sinter.	Ni recibido (t)	26836856	27129081	
	Ni perdido en el efluente (kg)	24932	24932	
	Ni perdido en gases (kg)	131852	131852	
	Niquel envasado (kg)	26288218	26573386	
	Pérdidas indeterminadas de Ni (kg)	413295	420353	
	Ni en inventario como producto final (kg)	9216	9216	
	Consumo de petróleo (t)	16885770	16885770	
	Indice de petróleo (kg/t)	486,285	481,046	
	Eficiencia Metalúrgica del Ni (%)	97,90	97,90	
7. Generales.	Producción Ni+Co (kg)	29685272	30042788	
	Consumo de petróleo fábrica (t)	568345,92	568345,915	
	Indice total de petróleo (t/t)	19,15	18,92	
	Eficiencia Metalúrgica del Ni	73,02	73,02	
	Eficiencia Metalúrgica del Co	30,30	30,30	

En la tabla No.5 se muestran los datos acumulados del año 2007, (Registro Metalúrgico de la ECECG, 2007) con los cuales se confeccionaron los dos balances, se tuvo en cuenta que ya en ese año se había aplicado el beneficio en el proceso de secado y molienda.

En el caso del balance sin beneficio se mantuvo en la planta de Hornos de Reducción el mismo contenido de níquel y cobalto que entró en la planta Preparación de Mineral, se obtuvo la producción que hubiera tenido la fábrica de no haber existido el beneficio al tener en cuenta la consideración anterior respecto a las eficiencias.

Al observar el balance metalúrgico de la empresa, a partir de la introducción del beneficio de material se aprecia que se produce una concentración significativa de los elementos útiles, níquel y cobalto, así como del hierro. Para el caso de los nocivos se nota una disminución del contenido de estos.

En la Tabla No.6 se puede observar la diferencia entre cada uno de ellos.

Tabla No.6. Diferencia entre los elementos (con beneficio y sin beneficio)

Elementos	Sin beneficio (1)	Con beneficio (2)	Diferencia (2-1)
Níquel (Ni)	1,192	1,206	-0,014
Cobalto (Co)	0,097	0,1	-0,003
Hierro (Fe)	39,48	40,49	-1,01
Sílice (SiO ₂)	13	9,77	3,23
Magnesio (MgO)	7	4,58	2,42
Número de Mineral	0,517	1,091	-0,574
Producción Ni y Co	29685,272 t	30042,788 t	357,516 t

Al comparar ambos resultados que aparecen en la tabla No.6, se observa que con beneficio se obtienen 357,516 t de níquel y cobalto por encima, con un 1,02 % de incremento con respecto al mineral no beneficiado.

Al calcular el Número de mineral, que está dado por la relación del producto, del níquel y el hierro, en %, en el mineral de alimentación y el producto de la sílice y el óxido de magnesio, en %, en esta misma corriente; o sea:

$$Na = \frac{\beta_{Ni} \cdot \beta_{Fe}}{\beta_{SiO_2} \cdot \beta_{MgO}} \quad (1)$$

donde:

Na número de mineral

β_{Ni} contenido de níquel en %

β_{Fe} contenido de hierro en %

β_{SiO_2} contenido de sílice en %

β_{MgO} contenido de óxido de magnesio en %

Se observa que sin beneficio se obtiene un Número de mineral de 0,517 y con el beneficio del material se obtiene 1,091, o sea, es superior con el beneficio lo que demuestra que las condiciones para la operación de reducción es favorable para materiales con bajos contenidos de elementos nocivos en el proceso y que argumentan la factibilidad de lograr los resultados bajo las condiciones demostradas en el balance realizado.

3.3. Impacto del beneficio en la Planta de Lixiviación y Lavado

Los datos tomados para este análisis son valores medios por mes, para el período de operación anterior al proceso de beneficio se tomaron los valores correspondientes al año 2005 y para el período posterior al beneficio los datos corresponden al 2007.

La disminución de los elementos como la sílice y el óxido de magnesio, así como el incremento del contenido de hierro favorece la extracción del níquel y el cobalto en los Hornos de Reducción, la eficiencia metalúrgica en esta etapa del proceso; además, el mayor impacto es de esperarse en la Planta de Lixiviación y Lavado, con el incremento de la eficiencia metalúrgica y la mejora en las operaciones de sedimentación de las pulpas lixiviadas y lavadas, así como en las operaciones de enfriamiento de los licores. (Manual operaciones planta Lixiviación y Lavado).

Uno de los mayores impactos de la implantación de este sistema de beneficio ha sido la disminución de un problema históricamente sin solucionarse, las incrustaciones del magnesio que se deposita en tuberías, válvulas y dispositivos, esto permite un alargamiento del tiempo de vida útil de los mismos, minimiza la intervención mecánica para su restablecimiento, así como el consumo de vapor producido por las calderas para calcinar el magnesio incrustado y poder eliminarlo manualmente, reduce el

intervalo de limpiezas. Antes del beneficio las tuberías de Ø 500 mm se limpiaban con una frecuencia de tres veces al año, en cada una de estas operaciones se le aplicaba vapor por espacio de 15 a 20 días; posterior al beneficio la limpieza se ejecuta dos veces al año y el vapor se le inyecta por espacio de 5 a 10 días para estas mismas tuberías.

En el sistema de enfriamiento de los licores de contacto en el circuito de Lixiviación diseñados para balancear térmicamente el sistema, se disponen de Enfriadores de Placas, los que requieren de forma periódica de la limpieza química de las cámaras empleadas para el paso de la solución a enfriar, con ácido sulfúrico. Con el beneficio del material disminuye la sílice y el óxido de magnesio en el material a lixiviar, por lo que disminuye el contenido de impurezas que pasa a la solución, fundamentalmente sales de magnesio que cristalizan por el arrastre de partículas en suspensión en los licores que se adhieren a las placas de los enfriadores atrapadas durante la cristalización de las sales de magnesio, por lo que se minimiza de forma proporcional las incrustaciones en las placas y se favorece la disminución del consumo de ácido sulfúrico. Durante el 2005 se consumieron 425 t, mientras que en el 2007 se redujo hasta 288 t, esto representa una disminución en el consumo de 32,24 %.

La disminución de los elementos nocivos en el material de entrada, como la sílice y el aluminio, favorece la sedimentación en las pulpas en Lixiviación y Lavado, se incrementa el contenido de hierro desde 37,14 % hasta 38,89 %, Tablas No. 7 y 8, que favorece la magnetización de las pulpas y se logra mejorar las velocidades de sedimentación. Con altos contenido de sílice y óxido de magnesio se incrementa el contenido de arena en las pulpas, que son partículas no lixiviables en los turboaeradores, esto provoca pérdida de eficiencia en los turboaeradores al disminuir el tiempo de retención por incremento de la altura de arena en el fondo de los turboaeradores, lo que incide negativamente en la eficiencias de las extracciones, provoca tupiciones en los distribuidores de aire ubicados dentro de los turboaeradores, lo que limita la inyección del mismo que es el agente oxidante de los elementos metálicos valiosos para que estos sean lixiviados, requiere de limpieza de los turboaeradores con mayor frecuencia producto al arenamiento.

3.4. Tratamiento estadístico a los parámetros de operación en el período anterior y posterior a la implementación del proceso de beneficio

En las Tablas No.7 y 8 se muestran los resultados del procesamiento estadístico realizado a los parámetros de operación correspondientes a los valores promedios comprendidos en los meses del segundo trimestre del año 2005 y similar período del año 2007. Se aplica el método de comparación para evaluar ambos períodos de operación.

Los parámetros evaluados se relacionan a continuación:

- SM-2 sílice, %.

Contenido de sílice en el material alimentado

- SM-2 óxido de magnesio, %

Contenido de óxido de magnesio en el material alimentado

- SM-3 agua, %

Humedad del material alimentado (muestra SM-3)

- SM-4 agua, %

Humedad y fineza del mineral seco

- SM-8 +100, mesh

Controlar la fineza del material molido y la eficiencia del molino

- HR-1 sílice, %

Contenido de sílice en el material alimentado a hornos de reducción

- HR-1 óxido de magnesio, %

Contenido de óxido de magnesio en el material alimentado a hornos de reducción

- Níquel extractable, %

Contenido de níquel enviado a las canales de contacto

- Cobalto extractable, %

Contenido de cobalto enviado a las canales de contacto

- Densidad, primera etapa Lixiviación, serie A,B,C, g/L

Es el peso en g de 1 litro de la pulpa del fondo de los sedimentadores de primera etapa

- Velocidad de Sedimentación, primera etapa Lixiviación, serie A,B,C, m/h

La velocidad con que precipitan las partículas de sólidos que tiene la pulpa que se almacena

- Concentración de níquel en el licor producto, L-1, g/L

Cantidad de níquel que hay en un volumen determinado de solución en el licor producto que se alimenta a Cobalto

- Concentración de amoníaco en el licor producto, L-1, g/L

Cantidad de amoníaco que hay en un volumen determinado de solución en el licor producto.

- Eficiencia metalúrgica, pLixiviación y Lavado, %

Es la cantidad de níquel o cobalto que entrega la Planta de Lixiviación y Lavado referido a la cantidad alimentada

- Concentración de magnesio en el sistema de Lixiviación, g/L

Cantidad de magnesio que hay en el sistema de Lixiviación

- Níquel lixiviado y lavado, %

Es el níquel que se logra recuperar en los licores que se envían al siguiente proceso

- Níquel en el licor producto, L-1, %

Contenido de níquel en el licor producto

- Cobalto en el licor producto, L-1, %

Contenido de cobalto en el licor producto

- Consumo de vapor específico, t/t de níquel.

Cantidad de vapor que se necesita para destilar una tonelada de licor o cola

- Níquel destilado, t/d

Es el níquel que se alimenta a los alambiques de licor y pasa al carbonato básico de níquel.

- Eficiencia metalúrgica de la planta de Calcinación, %

Cantidad de níquel que entrega la planta de Calcinación referido a la cantidad alimentada.

- Eficiencia metalúrgica del níquel, %

Cantidad de níquel que se envasó referido a la cantidad de material que se alimentó al proceso

Tabla No. 7: Estadística Descriptiva para los parámetros de operación, año 2005, anterior a la implementación del proceso de beneficio.

	SM 2 Ni, %	SM 2 Co, %	SM 2 Fe, %	SM 2 SiO ₂ , %	SM 2 MgO, %	SM 3 H ₂ O, %	SM 4 H ₂ O, %	SM 8 +100, %	HR 1 Ni, %	HR 1 Co, %	HR 1 Fe, %	HR 1 SiO ₂ , %	HR 1 MgO, %	HR -1, Petróleo aditivo	Ni extraíble, %	Co Extraíble, %	Número de mineral	Densidad Ira etapa Lixiviación, serie A, g/L	Densidad Ira etapa Lixiviación, serie B, g/L	Densidad Ira etapa Lixiviación, serie C, g/L	Velocidad de sedimentación Ira etapa Lixiviación, serie A, m/h	Velocidad de sedimentación Ira etapa Lixiviación, serie B, m/h	Velocidad de sedimentación Ira etapa Lixiviación, serie C, m/h	Concentración de Ni en el licor producto, L-1, g/L.	Co licor producto, L-1, %	Concentración de NH ₃ en el licor producto, L-1, g/L.	Eficiencia metalúrgica planta Lixiviación y Lavado, %	Concentración de MgO Lixiviación, g/L	Cantidad de magnesio, t/d	Ni Lixiviado y Lavado, %	Consumo de vapor específico, t/t de Ni	Níquel destilado, t/d	Eficiencia metalúrgica de Calcinación, %.	Eficiencia metalúrgica del Ni, %.
Media	1,25	0,10	36,33	10,58	4,90	37,97	4,61	6,39	1,29	0,11	37,14	13,20	7,16	2,30	79,94	59,57	0,53	1673,32	1668,22	1632,42	1,15	1,14	1,15	9,79	0,36	69,34	91,22	0,06	0,49	77,50	0,26	79,35	97,60	70,93
Error típico	0,00	0,00	0,62	0,45	0,53	0,07	0,03	0,02	0,01	0,00	0,74	0,65	0,73	0,05	0,23	2,67	0,09	18,63	9,55	15,33	0,02	0,02	0,02	0,07	0,02	0,38	0,45	0,00	0,03	0,45	0,00	0,25	0,64	0,97
Mediana	1,25	0,10	36,80	10,61	5,30	38,02	4,64	6,38	1,28	0,10	37,82	12,93	7,43	2,26	79,97	60,95	0,50	1678,21	1676,74	1640,10	1,17	1,16	1,16	9,73	0,34	68,97	91,54	0,06	0,52	77,06	0,26	79,51	97,65	71,27
Desviación estándar	0,01	0,00	1,08	0,78	0,92	0,11	0,05	0,04	0,02	0,01	1,29	1,13	1,26	0,08	0,40	4,62	0,15	32,27	16,54	26,56	0,04	0,03	0,03	0,12	0,03	0,66	0,77	0,01	0,05	0,78	0,00	0,44	1,12	1,68
Varianza de la muestra	0,00	0,00	1,17	0,61	0,84	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	1,27	1,59	0,01	0,16	21,36	0,02	1041,12	273,43	705,48	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,44	0,60	0,00	0,00	0,61	0,00	0,19	1,24	2,81
Coefficiente de asimetría	1,69	1,56	-1,60	-0,14	-1,58	-1,60	-1,73	1,15	1,43	1,03	-1,71	0,99	-0,94	1,72	-0,30	-1,22	0,70	-0,67	-1,70	-1,19	-1,67	-1,69	-1,37	1,72	1,73	1,73	-1,54	-1,73	-1,73	1,73	-1,73	-1,44	-0,23	-0,87
Rango	0,02	0,01	2,00	1,56	1,70	0,21	0,09	0,07	0,03	0,01	2,29	2,21	2,47	0,14	0,80	8,93	0,29	63,98	29,60	51,43	0,07	0,06	0,06	0,21	0,05	1,16	1,44	0,01	0,09	1,37	0,00	0,83	2,23	3,30
Mínimo	1,25	0,10	35,09	9,79	3,85	37,84	4,55	6,36	1,27	0,10	35,65	12,22	5,78	2,26	79,53	54,42	0,39	1638,89	1649,17	1602,87	1,11	1,10	1,11	9,72	0,34	68,94	90,34	0,05	0,44	77,03	0,26	78,85	96,45	69,11
Máximo	1,26	0,11	37,09	11,35	5,55	38,05	4,64	6,43	1,31	0,11	37,94	14,43	8,26	2,40	80,33	63,35	0,69	1702,87	1678,77	1654,30	1,18	1,16	1,17	9,93	0,39	70,10	91,78	0,06	0,52	78,40	0,26	79,68	98,68	72,41
Suma	3,76	0,31	108,98	31,74	14,70	113,91	13,83	19,17	3,87	0,32	111,41	39,59	21,47	6,91	239,83	178,72	1,58	5019,97	5004,67	4897,27	3,46	3,43	3,44	29,38	1,07	208,01	273,65	0,17	1,48	232,49	0,78	238,04	292,79	212,79
Cuenta	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Tabla No. 8: Estadística Descriptiva para los parámetros de operación, año 2007, posterior a la implementación del proceso de beneficio.

[illegible]

De las Tablas No. 7 y 8 se observa que:

- Al comparar los resultados de la muestra SM-2, el contenido de níquel y cobalto no refleja diferencias significativas; por su parte el hierro durante el año 2005 alcanza un valor de 36,33 % y en el año 2007 es de 38,68 %; que representa un incremento de un 6,47 %
- Por los resultados analíticos disponibles, se observa que no es significativa la diferencia del contenido de la sílice en el material de entrada, muestra SM-2; por el contrario, se observa en el año 2005 un contenido de magnesio de 4,90 % y en el año 2007 es de 6,37 % que representa un incremento de un 29,9 % en la masa de magnesio que entra al sistema
- Como efecto de la introducción del beneficio, en la HR-1, al comparar el año 2005 respecto al 2007 el contenido de níquel logra valor de 1,29 y 1,23 % respectivamente que representa una disminución de 4,65 %; por su parte el hierro alcanza en el 2005 un valor de 37,14 % mientras que en el 2007 es de 38,89 % que representa un incremento del 4,71 %
- En esta misma tendencia, muestra HR-1, al analizar el año 2005 respecto al 2007 la sílice disminuye desde 13,20 % hasta 11,25 %, que representa una disminución de la sílice de entrada de un 14,77 %; el contenido de magnesio disminuye desde 7,15 % en el 2005 hasta 5,86 % en el 2007, lo que representa una disminución de un 18,04 %
- El níquel extractable en el año 2005 y en el año 2007 después del beneficio se mantiene en valores similares, 79,94 y 79,90 % respectivamente, el cobalto extractable disminuye desde 59,57 % hasta 49,48 %; las condiciones para la reducción después del beneficio son favorables al incremento de los extractables por lo que las causas de esta disminución no es inherente al efecto del proceso de beneficio al material de entrada al proceso
- El Número de mineral (Na) se incrementa desde 0,53 en el 2005 hasta 0,84 en el 2007 que refleja la disminución del contenido de los elementos nocivos en el material alimentado al proceso de reducción que debe reportar efectos favorables en los extractables

- Las densidades de la pulpa en los sedimentadores de la primera etapa sin la implementación del proceso de beneficio osciló desde 1630 hasta 1673 g/L con una desviación estándar de 16,5 hasta 32; después de la modificación se alcanzan valores de 1734 hasta 1754 g/L y la desviación estándar oscila de 3,2 hasta 14,9; esta variación representa un incremento de un 4,422 hasta 6,263 %
- Los valores reportados para las velocidades de sedimentación para las pulpas alimentadas a los sedimentadores de la primera etapa de Lixiviación no reflejan diferencias antes y después de la introducción del proceso de beneficio en el mineral de alimentación al proceso; antes del beneficio la velocidad de sedimentación alcanza valores medios de 1,14 hasta 1,15 m/h mientras que después del beneficio es de 1,14 hasta 1,18 m/h
- Con respecto a la eficiencia metalúrgica del proceso de lixiviación y lavado se puede observar que antes del beneficio se alcanza 91,22 % y después del beneficio es de 93,91 % que representa una diferencia de 2,69 % superior después de la introducción del proceso de beneficio; esto es un reflejo de las afectaciones que provocan a las extracciones de los metales valiosos la presencia de los nocivos en el mineral reducido alimentado a la planta
- Con la implementación del proceso de beneficio se logra disminuir el contenido del magnesio en los licores de lixiviación desde 0,49 hasta 0,48 t/d, que representa una diferencia de un 2,04 %; este resultado favorece la disminución de las incrustaciones en tuberías, accesorios y en los enfriadores de placas
- Posterior a la implementación del proceso de beneficio se logra incrementar el níquel lixiviado y lavado desde 77,50 hasta 78,20 % que equivale un incremento de 0,7 %; demuestra el carácter nocivo para el proceso de las impurezas extraídas del sistema con el beneficio del material

- El consumo específico de vapor disminuye desde 0,26 hasta 0,25 t/t de níquel que representa una disminución en 3,84 %, está dado a que los elementos incrustantes han disminuido y por tanto las incrustaciones en tuberías y sistemas de enfriamientos son menores que antes de implementarse el proceso de beneficio
- La eficiencia metalúrgica del níquel en la industria antes del beneficio es de 70,93 %, después del beneficio es de 72,30 %; representa un incremento de un 1,931 %

3.5. Impacto del beneficio sobre el mantenimiento de los equipos

Con la introducción del sistema de beneficio al material alimentado a la planta de Preparación de mineral se experimentó un cambio substancial en el programa de reparación de equipos estáticos, estáticos dinámicos y dinámicos.

En el período en que se alimentaba al proceso los grandes volúmenes de rocas con alto contenido de sílice y magnesio en el proceso, los equipos auxiliares y fundamentales sufrieron alta afectación por el efecto de la abrasión, lo que generó una baja disponibilidad de equipos, y un alto consumo de recursos materiales.

A continuación se relacionan algunos de los efectos más significativos:

En la fig.13 se muestra uno de los componentes (voluta) de una bomba deteriorada por la acción de las costras, en la fig. 14 se observa el desgaste de uno de los elementos (plato) de las bombas del tipo Warman empleadas para el bombeo de las pulpas.



Fig. No. 13: Componente deteriorado de una bomba (Voluta)



Fig. No. 14: Vista de un elemento deteriorado de las bombas Warman (Plato)

Estos componentes sufren desgastes excesivos por la acción de las costras de los elementos nocivos contenidos en el material y las arenas que se forman al entrar en contacto con el mineral reducido a elevadas temperaturas, con la solución fría en los

tanques de contacto. Antes del beneficio, las partículas abrasivas destruían los componentes principales, impelente, voluta y el plato entre 7 y 10 días de operación, luego de implementado el beneficio estos componentes tienen una vida útil de más de 6 meses.

En la Figura No. 15, se observa una vista de las canales de tanques de contacto; en el período antes del beneficio, por la intensa abrasión de los materiales nocivos hubo que sustituir 4 canales de contacto por un acero especial de mayor resistencia; acero inoxidable AISI 316L de espesor 10 mm.

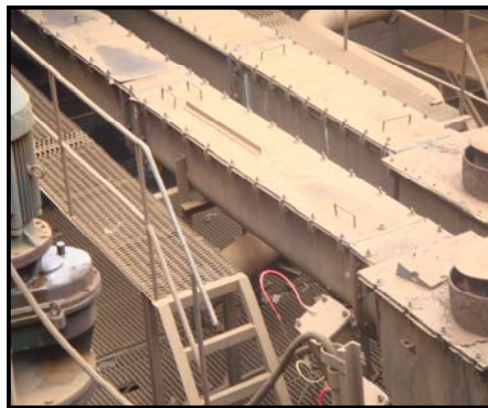


Fig. No. 15: Vista de las Canales de Tanques de Contacto

En las Figuras. No. 16 y 17 se muestran dos tuberías de 100 y 200 mm de diámetro respectivamente, usadas para el transporte de pulpas, las que se observan selladas por las costras en su interior, fundamentalmente por la acción del magnesio; fue necesario sustituir las zonas más críticas por láminas de acero inoxidable para alargar su vida útil.



**Fig. No. 16 Tubería de 100 mm
sellada por las costras**



**Fig. 17: Tuberías de 200 mm sellada
por la acción de las costras**

Los tanques de contacto, Figura No. 18, están diseñados para homogenizar la pulpa procedente de las canales de contacto, en esta área hay instalado 6, y antes del



Fig. No.18: Estado de deterioro de un Tanque de Contacto

beneficio hubo que sustituir 5 de ellos. En la figura anterior se puede apreciar el estado de destrucción ocasionado antes del beneficio por la acción de los elementos nocivos por su carácter altamente abrasivo.

En el área de Lixiviación y Lavado se sustituyeron 21 turboaeradores, en los sedimentadores hubo que sustituir en 4 de ellos la cercha, tubo de alimentación, las cuchillas y los brazos.

Antes de la implementación del sistema de beneficio o clasificación del tamaño de partículas la disponibilidad de equipos era del 70 %, al poner en funcionamiento esta instalación aumentó al 90 %. Se mejora sustancialmente la estabilidad del proceso, se disminuye prácticamente las tupiciones y los derrames ocasionados por las rocas grandes, así como la disminución de la abrasión en los equipos dinámicos y el grado de incrustación de los dispositivos y equipos en la parte hidrometalúrgica del proceso.

Con la disminución de los nocivos al proceso se incrementa la eficiencia de extracción de níquel, se eleva la producción de níquel y cobalto del año 2007 en 357,516 t, que representa un incremento del 1,02 % con respecto al material no beneficiado.

3.6. Impacto del beneficio sobre la eficiencia operativa de los equipos

Con respecto al funcionamiento de los Enfriadores de Placas se puede afirmar que después de haber sido implementado el proceso de beneficio se ha producido un incremento importante de la eficiencia operativa de estos al disminuir las incrustaciones producidas por la presencia de altos contenidos de sales de calcio y magnesio, las que al circular por estos equipos se cristalizan ante el cambio de temperaturas y se

depositan en las placas de los enfriadores, por lo que disminuye la eficiencia de transferencia térmica y provoca el incremento de las temperaturas del circuito de la planta de Lixiviación y Lavado. La eficiencia de transferencia de calor se incrementó en valores de alrededor de 77 % hasta más de 88 %; no obstante se han introducido mejoras en el sistema de limpieza química, de los mismos con la introducción del control por pH y conductividad de la solución ácida de limpieza química y no por control del tiempo de limpieza como se realizaba anteriormente.

La temperatura de los licores que llegan a los enfriadores de placas disminuyen desde valores de 44 °C hasta 42 °C en el verano, siendo algo inferiores en los meses de invierno, 35 °C y que refleja un enfriamiento del sistema.

La Figura No. 19 muestra los Enfriadores de Placas, luego de implementado el proceso de beneficio incrementaron la eficiencia de transferencia de calor.



Fig No.19: Vista de los enfriadores de placas en la planta de Lixiviación y Lavado

Los turboaeradores son equipos estáticos dinámicos, que es donde ocurre la lixiviación de los metales valiosos, (níquel y cobalto), contenidos en la pulpa procedente de los distribuidores de pulpa, proceso que ocurre en presencia de una solución carbonato amoniacal en un medio oxidante que se alcanza mediante la inyección de aire a baja presión; la pulpa lixiviada al salir de los turboaeradores se magnetiza mediante unos electroimanes para acelerar la velocidad de sedimentación, se descarga en los sedimentadores en los que mediante un proceso de sedimentación se separan las fases líquidas, licor rico en níquel y cobalto, y la pulpa mineral no lixiviados.

Los turboaereadores y los sedimentadores han sido afectados por las partículas abrasivas que ingresaron en ellos, luego de implementado el beneficio de los materiales se observa que se alarga significativamente el ciclo de limpieza, antes del beneficio el desarenamiento, operación consistente en la salida de operación del turboaereador para extraerle la arena depositada en su interior, se realizaba con una frecuencia de 45 días, después del beneficio este ciclo se incrementa a más de 120 días.

Esto representó una disminución en los costos de mantenimiento ya que se emplea con menos frecuencia la fuerza de trabajo y equipos, grúas y carros trompo, dedicada a dicha limpieza y también se estabiliza y se mantiene el tiempo de lixiviación de la pulpa, lo que incide en la eficiencia de las extracciones de los metales valiosos y en la eficiencia metalúrgica, así como en la disminución de las pérdidas de amoníaco en el circuito de lixiviación.

En la Figura No. 20 se muestra una vista de una serie de turboaereadores, en la figura No.21 se observa a el deterioro en las paredes y fondo de uno de los recipientes, lo que provoca salideros de pulpa y solución amoniacal, estas afectaciones son generadas por el material abrasivo que ingresó en él.



Fig No.20: Vista de una serie de Turboaereadores



Fig. No. 21: Afectación en el fondo de un turboaereador

Los sedimentadores son equipos estáticos dinámicos, estos han sido afectados por los elementos nocivos que llegan con la pulpa y los componentes más dañados son, el tubo de alimentación (feed weell), cercha, parte de los brazos removedores, las cuchillas de los brazos y el cilindro que sustenta la cercha y los brazos.

En la Figuras No. 22 se muestra el deterioro de los brazos por la acción de los elementos abrasivos y en la Figura No. 23 se observa las incrustaciones en el Feed Well y el deterioro provocado en los elementos del eje central por la presencia de elementos nocivos en los sedimentadores.



Fig.No. 22: Vista de los brazos de un sedimentador averiado



Fig.No.23: Deterioro del Feed Weell por incrustaciones de costras

3.7. Influencia en los principales indicadores técnico económico e insumos fundamentales

El magnesio contenido en el mineral reducido alimentado a la planta de lixiviación tiende a ser una forma activa que se disuelve rápidamente en el licor lixiviado de carbonato de amonio y luego se precipita como un carbonato complejo de magnesio básico o como una sal doble de carbonato de amonio-carbonato de magnesio, en principio el carbonato de magnesio básico precipita casi cuantitativamente con el carbonato de níquel básico y se disuelve nuevamente en la etapa de disolución del carbonato básico. La precipitación de las sales de magnesio es un problema operacional fundamental en todas las plantas de lateritas comerciales, la precipitación de los sólidos de magnesio es más rígida en los enfriadores de la solución, la pulpa lixiviada y en las tuberías que transportan la solución.

El control de la cantidad de magnesio soluble a través del ajuste de las condiciones del horno de reducción solo puede ser parcialmente exitosa, pues los valores de níquel también serían perdidos debido a los tiempos de retención mayores y a las temperaturas mayores necesarias para la formación del efecto de nuevos complejos de la sílice y el magnesio libre, sin embargo en la etapa de lixiviación mayores tiempo de

retención y menores temperatura de lixiviación incentivan la precipitación de las sales de magnesio con el residuo de la lixiviación y por tanto aligeran la formación de costras después de esta etapa.

El proceso de beneficio permite extraer componentes nocivos del material alimentado a la planta, (sílice y óxido de magnesio), los que al pasar a solución provocan afectaciones considerables a la eficiencia en las extracciones de los metales valiosos, se incrementan las incrustaciones en tuberías y en los enfriadores de placas incrementandose el índice de consumo de vapor usado en la limpieza de tuberías y el consumo del ácido sulfúrico (H_2SO_4) utilizado en la limpieza química de los enfriadores de placas, y mejoran las características de sedimentación de las pulpas lixiviadas y lavadas, con incidencias favorables en la disminución del consumo de floculantes empleado durante la sedimentación.

Floculación

Todas las plantas de producción de níquel y cobalto con minerales lateríticos utilizan la floculación magnética para aumentar la velocidad de sedimentación en el proceso de lixiviación y en el lavado del material lixiviado, estos magnetizadores son económicos y muy efectivos. Para los procesos en que el contenido de hierro en el mineral es bajo se utiliza además la floculación química, para lo cual se aplica floculantes aniónicos.

En el caso de la ECECG, a pesar de contar con un material de alto hierro, se utiliza también la floculación química para aumentar la velocidad de sedimentación, así como incrementar el área unitaria de sedimentación que permita disminuir los sólidos en suspensión en el licor de la primera y segunda etapa de lixiviación que van a los enfriadores de placas. Durante el 2005 por los altos contenidos de elementos nocivos que entraban al proceso, sistemáticamente se adicionó floculante, lo que provocó incrementos en los costos de operación de la Empresa. Las dosis de polímeros evaluadas como efectivas para la planta de Lixiviación han sido de 6, 4 y 4 g/t de material reducido para la primera, segunda y tercera etapa de lixiviación; al estimar una alimentación a esta planta de 333 t/h de material, el consumo sería de 111,88 kg/d de floculante, que con un valor comercial de \$ 3,68 USD/kg representa un gasto de \$150277,216 USD/año.

Los sedimentadores de la planta de Lixiviación y Lavado fueron diseñados con bajo torque, lo que provocaba que al aplicarle floculación química se incrementaran los amperajes de los motores del mecanismo de accionamiento, y para evitar disparos o averías en estos equipos se le dejaba de aplicar floculante; esto indica que el consumo de floculantes en esta etapa no se corresponde con los altos contenidos de nocivos en el mineral; ya en la actualidad opera un sedimentador modernizado que admite la inyección de floculante en las dosis adecuadas.

Ácido sulfúrico

En el año 2007 se disminuye el consumo de ácido sulfúrico que se utiliza para la limpieza química en lixiviación, ya que al disminuir el arrastre de partículas en licor a enfriar y al disminuir el contenido de sales de calcio y magnesio en este licor, disminuyen las incrustaciones adheridas a las placas de los enfriadores, lo que no requiere de limpieza química con la misma frecuencia. En el año 2005 se consumieron 425 t de ácido sulfúrico, mientras que en el 2007 se consumieron 288 t, esto representa una disminución en el consumo de 32,24 %.

Vapor

La generación de vapor para el mantenimiento de líneas disminuye al comparar el año 2005 (24433,14 t) con el 2007 (22226,49 t) con una disminución de 2206,65 t, lo que representa un 9,03 % de ahorro.

En las líneas de licor de descarga de enfriadores con los cabezales T-140, 141 y 142 la frecuencia de limpieza en el año 2005 era de 3 veces en el año, luego de implantado el beneficio la frecuencia de limpieza es de 2 veces al año. El plan de mantenimiento a las líneas de licor considera una revisión inicial para evaluar el estado de incrustación de la línea; a modo de ejemplo, las líneas para el bombeo del licor de reboso desde las primera y segunda etapas de lixiviación hacia los tanques colectores de los enfriadores de placas, las T-10 y T-22, son líneas de Ø 500 mm, las mismas se dejan fuera de operación y se les aplica vapor por un tiempo de alrededor de 10 días con el fin de calcinar las costras adheridas en su interior, luego se desmontan desde las estacadas para limpiarlas de forma manual con el empleo de agua por manguera, mandarrias, grúas y brigadas de limpiezas, que refleja los enormes gastos en recursos materiales y humanos en estas tareas.

Petróleo aditivo.

Con la instalación del sistema de beneficio en la descarga de los secaderos con granulometría de 10 mm se separa mas de 250 t/d de material con contenidos nocivos al proceso y de esta forma se enriquece el material útil a procesar, además de mitigar parcialmente la dilución de los componentes útiles níquel, hierro y cobalto, y con ello obtener la producción con menor costo en las operaciones y un ahorro considerable de petróleo debido a la reducción del volumen de material y por lo tanto la no utilización de aditivo a esa cantidad de mineral que se rechaza. El petróleo utilizado como aditivo en el proceso de reducción disminuyó en su consumo en 2683,5 t en al año 2007 con relación al 2005.

3.8. Evaluación medio ambiental

Posterior a la implantación del beneficio del mineral se ha demostrado el impacto que ha tenido en la disminución del consumo de ácido en un 32,24 %, en las operaciones de limpieza química con ácido sulfúrico en los enfriadores de placas provocan derrames de solución ácida al medio con deterioro y daños en las estructuras de hormigón y cimientos de equipos instalados; además, al terminar la limpieza, la solución se desecha mediante bombeo hacia la Presa de Cola de la industria. Es evidente que al disminuir la frecuencia de limpieza de los enfriadores de placas, disminuyen las afectaciones al medio ambiente

Al disminuir la frecuencia de limpieza de tuberías de licores y colas, disminuye las afectaciones al medio ambiente, al sacar de operación las líneas, estas quedan llenas del fluido que se manipula por la misma, la que se descarga al medio ambiente, además de las costras que se desprenden de su interior al realizar la limpieza manual con vapor.

Después del beneficio se extrae elementos nocivos del material que entra a la planta de Lixiviación, caracterizado por ser abrasivo, disminuyen las perforaciones en tuberías y accesorios que inciden positivamente en la disminución de salideros y derrames de licor y cola con afectaciones medio ambiental.

En la tabla No. 9 se muestra la cantidad de material de desecho que se deposita en la presa de cola después de procesado, en los períodos antes y después de implementado el proceso de beneficio.

En el período anterior se alimenta al dique 2800679 t de material con una ley de níquel de 0.334 %, mientras que el período posterior fue superior con 2908050 t, pero con una ley de 0,269 %.

Como puede verse en la tabla, a pesar de haberse procesado más material debido a que la ley de entrada al proceso fue inferior en el segundo período, la cantidad de níquel enviado a la presa de cola fue inferior, debido al incremento de eficiencia que provocó el beneficio del material.

Tabla No.9 Cantidad de material de desecho enviado a presa de cola

Antes del beneficio	Trimestres	Mineral al dique (t)	Ni enviado a presa de cola, %
Año 2005	I	677739	0,334
	II	691178	
	III	703597	
	IV	728165	
Suma		2800679	
Promedio de Ni, %			0,334
Total de Ni enviado a Cola, t		9354,27	

Después del beneficio	Trimestres	Mineral al dique (t)	Ni enviado a presa de cola, %
Año 2007	I	727701	0,269
	II	725097	
	III	729680	
	IV	725572	
Suma		2908050	
Promedio de Ni, %			0,269
Total de Ni enviado a Cola, t		7822,65	
Diferencia		(t)	1531,61

3.9. Valoración económica

Al comparar el consumo de algunos de los reactivos y materiales en el trabajo, Tabla No. 10. (Resumen económico ECECG, 2005 y 2007) se observa que a partir de la introducción de la innovación tecnológica en el proceso de preparación de la mena ocurrió una disminución en el consumo de ácido sulfúrico de 137 t al año, lo que significó un ahorro superior a los \$ 63.000,00 CUC.

El petróleo aditivo que se utiliza en el proceso de reducción disminuyó su consumo en 2683,5 t durante el año 2007 con relación al 2005.

Tabla No 10: Comparación de consumo de reactivos y materiales

Indicadores	Cantidad, t.		Precio, \$/t		Importe		
	Año 2005	Año 2007	Año 2005	Año 2007	Año 2005	Año 2007	Desviación
Ácido Sulfúrico	425	288	424,2	406,7	180266 \$	117124 \$	63141 \$
Floculantes N-30	4,08	-	3680	-	150277 \$	-	150277 \$
Petróleo aditivo	96625,8	93942,3	226	310,54	21837626,25	29172588,89	7334962,64

En la tabla No. 11 se exponen los resultados de la evaluación de la gestión económica de la empresa, (Resumen económico ECECG, 2005 y 2007), para la variante sin considerar el impacto del beneficio del material (SB), y para el caso en que se considera el impacto del proceso de beneficio (CB). El costo de producción disminuyó en más de 6 millones de CUC con la introducción del beneficio a pesar de que el petróleo, uno de los insumos fundamentales de la empresa, incrementó su precio en \$ 84,54 CUC/t. Los ingresos brutos se incrementaron en valores superiores a los 12 millones de CUC al año y las utilidades crecieron en 18,2 millones CUC.

Tabla No. 11: Evaluación económica del impacto del beneficio del material alimentado al proceso extractivo.

Indicadores	Cantidad		Costo		Importe		
	S B	C B	S B	C B	S B	C B	Desviación
Costo de producción	29685,3	30042,8	11693,1	11352,5	347112328,9	341060964	6051364,9
Ingresos brutos	29685,3	30042,8	34103,1	34,103,1	1012360087,1	1024552494,5	12192407,4
Utilidades	29685,3	30042,8	-	-	665247758,2	683491530,5	18243772,3

3.10. Resumen de los parámetros tecnológicos fundamentales en las Plantas de Procesos

En la Tabla No. 12 se muestran los principales parámetros técnico económico obtenidos en las plantas de procesos:

Tabla No.12: Resumen de los parámetros tecnológico fundamentales en las plantas de proceso

PARÁMETROS TECNOLÓGICOS FUNDAMENTALES EN LAS PLANTAS DE PROCESOS.	U/M	Antes de implementado el proceso de beneficio.	Después de implementado el proceso de beneficio	Diferencia
Contenido de hierro en el material alimentado a los hornos de reducción.	%	37,14	38,89	1,75
Contenido de sílice en el material alimentado a los hornos de reducción.	%	13,20	11,25	-1,95
Contenido de óxido de magnesio en el material alimentado a los hornos de reducción.	%	7,16	5,74	-1,42
Número de mineral en el material alimentado a los hornos de reducción.	%	0,53	0,84	0,31
Densidad media de la pulpa en los sedimentadores de la primera etapa de Lixiviación.	g/L	1657,99	1743,78	85,79
Consumo de ácido sulfúrico	t	425,00	288,00	-137,00
Consumo de vapor en la planta Lixiviación y Lavado	t	24433,14	22226,49	-2206,65
Eficiencia metalúrgica de la planta Lixiviación y Lavado.	%	91,22	93,91	2,69
Eficiencia metalúrgica del níquel en la industria.	%	70,93	72,30	1,37
Costo de producción	\$	\$347.112.328,90	\$341.060.964,00	-6051364,90
Ingresos brutos	\$	\$1.012.360.087,10	\$1.024.552.494,50	12192407,40
Utilidades brutas	\$	\$665.247.758,20	\$683.491.530,50	18243772,30

Del análisis de los elementos mostrados en la tabla anterior se pueden referir los siguientes argumentos:

- El contenido de hierro alcanza antes del beneficio del material un valor de 37,14 % mientras que después es de 38,89 %; la sílice disminuye desde 13,20 % hasta 11,25 %, y el contenido de óxido de magnesio disminuye desde 7,16 % hasta 5,74 % después del beneficio; el Número de mineral (Na) en el material alimentado se incrementa desde 0,53 en el 2005 hasta 0,84 en el 2007 que debe reportar efectos favorables en los extractables.
- Las densidades de la pulpa en los sedimentadores de la primera etapa antes del beneficio alcanza valor medio de 1657,99 g/L; después de la modificación se alcanzan valores medios de 1743,88 g/L; la eficiencia metalúrgica del proceso de lixiviación y lavado antes del beneficio alcanza 91,22 % y después del beneficio es de 93,91 % y la eficiencia metalúrgica del níquel en la industria antes del beneficio es de 70,93 %, después del beneficio es de 72,30 %; representa un incremento de un 1,931 %.
- El costo de producción disminuyó en más de 6 millones de CUC con la introducción del beneficio a pesar de que el petróleo, uno de los insumos fundamentales de la empresa, incrementó su precio en 84,54 CUC la tonelada. Los ingresos brutos se incrementaron en valores superiores a los 12 millones de CUC al año y las utilidades crecieron en 18,2 millones CUC.

Conclusiones parciales.

1. Se demostró que la introducción del proceso de beneficio en la tecnología CARON influyó positivamente en los parámetros técnico económico y ecológico de la empresa.

CONCLUSIONES

1. Se logró establecer la relación del proceso de beneficio aplicado en la preparación de la mena con los parámetros tecnológicos fundamentales en las plantas de proceso, como son:
 - El contenido de hierro aumentó desde 37,14 % hasta 38,89 %; la sílice disminuye desde 13,20 % hasta 11,25 %, y el contenido de óxido de magnesio disminuyó desde 7,15 % hasta 5,86 %.
 - Las densidades de la pulpa en los sedimentadores de la primera etapa incrementó su valor medio desde 1657,99 g/L hasta 1743,88 g/L; la eficiencia metalúrgica del proceso de lixiviación y lavado aumentó desde 91,22 % hasta 93,91 % y la eficiencia metalúrgica del níquel en la industria se incrementó en 1,93 %.
2. La introducción de la innovación tecnológica aporta ventajas desde el punto de vista económico, entre las que se relacionan:
 - El costo de producción disminuyó en más de 6 millones de CUC; los ingresos brutos se incrementaron en valores superiores a los 12 millones de CUC al año y las utilidades crecieron en 18,2 millones de CUC
3. Desde el punto de vista medio ambiental la introducción del beneficio de la mena laterítica ha aportado una disminución del consumo de ácido en un 32,24 % en los enfriadores de placas se disminuye la frecuencia de limpieza de tuberías de licores y colas; disminuyen las perforaciones en tuberías y accesorios, bombas y turboaeradores que inciden positivamente en la disminución de salideros y derrames de licor y cola con afectaciones medio ambiental.



RECOMENDACIONES:

- Realizar un análisis integral de forma anual de su efecto en los costos de mantenimiento e insumos del proceso.
- Ante la apertura de nuevos yacimientos mineros realizar un análisis previo de la granulometría óptima para el scalping.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGYEI. G. ROJAS, A. L. P., HERNANDEZ, A. F., 2005. Caracterización mineralógica de la mena níquelífera en un perfil laterítico del yacimiento Punta Gorda, Holguín, Cuba. I Congreso de Minera (Minería '2005). II Simposio Geología, Exploración y Explotación de las Lateritas Níquelíferas MIN2-P51. Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias'2005. Memorias en CD-ROM editado por Centro Nacional de Información Geológica y Instituto de Geología y Paleontología. ISBN 959-7171-03-7. Sociedad Cubana de Geología.
- ALMAGUER A, V. ZAMARSKY. 1993. Estudio de la distribución del Fe, Ni y Co en los tamaños de granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultrabásicas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralógica. Revista Minería y Geología (Cuba), No 2/93 : 17-24.
- COELLO VELÁSQUEZ, A. L., BEYRIS, P., HERNANDEZ, A. F., RAMIREZ, B., 1998. Distribución fraccional de los valores metálicos en el escombros laterítico. Revista Minería y Geología (Cuba), XV (1): 37-2.
- FALCÓN, J., HERNÁNDEZ, A., 1993. Preparación y beneficio de minerales lateríticos en el proceso ácido a presión". Revista. Minería y Geología. Vol. II, No.2: 51-58.
- FALCÓN, J. H., BEYRIS, P. E. M., FERRER, E. A. C., MONTERO, M., 1997a. Sedimentación de la pulpa cruda en la empresa Moa Níquel S.A. Revista Minería y Geología. Vol. XIV (1): 31-36.
- FALCÓN, J. H., HERNÁNDEZ, A. F., COELLO, A. L. V., 1997b. Preparación mecánica de los minerales lateríticos. Revista Tecnológica. Vol. 1. No 1: 9-17.
- HERRERO, A, E. et al, 2006 Diseño y Montaje de un sistema para disminuir los efectos (Si y Mg) en la planta de Preparación de Mineral ECECG.
- HERNÁNDEZ, A.F., 1997. Preparación por vía húmeda de la mena laterítica. [Instituto Superior Minero Metalurgico]. Moa (Tesis doctoral), Cuba : 94 p.

- HERNÁNDEZ, A., J. FALCÓN, R. TRUJILLO, M. TOIRAC, 2000. Análisis teórico del beneficio de la laterita. *Revista Minería y Geología (Cuba)* ,XVII (3-4) 73- 78.
- MANUAL DE OPERACIONES. Planta Lixiviación y Lavado. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
- MANUAL DE OPERACIONES. Planta Preparación de Mineral. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 1986
- OSTROUMOV, M. N., J. BLANCO, 1987. Caracterización mineralógica de las lateritas del sector Atlantic de la mina Moa. *Revista Minería y Geología (Cuba)*. 5(1No.): 3-20.
- PEÑA, I., RUBIO, S., 1990. Beneficio de los escombros lateríticos. [Instituto Superior Minero Metalurgico]. Moa (Trabajo de Diploma), Cuba: 94 p.
- PONCE, N., D. CARRILLO, 1984. Mineralogía y composición sustancial de las menas ferro niquelífera del yacimiento Delta, Moa. *Serie Geológica* No.3:3-16.
- RAMÍREZ, M., 2002. Estudio de beneficiabilidad de los escombros lateríticos de la región Moa". [Instituto Superior Minero Metalurgico]. Moa (Tesis Maestría), Cuba: 54 p.
- Registro Metalúrgico. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 2007.
- Resumen Económico. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 2005
- Resumen Económico. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 2007
- ROJAS PURÓN, A. L., FERNÁNDEZ, M., LAPIN, A.,1993b. Valoración mineralógica del material alimentado al proceso de la empresa Ernesto Che Guevara. *Minería y Geología*. Vol. 2 No 2: 55-9.
- ROJAS, A. L., 1995. Principales fases minerales portadores de níquel en los horizontes lateríticos. [Instituto Superior Minero Metalurgico]. Moa (Tesis doctoral), Cuba: 75 p.