



**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL
TÍTULO DE INGENIERO EN METALURGIA
Y MATERIALES.**

**TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA
EFICIENCIA DE LAS
EXTRACCIONES DE Ni + Co EN LOS
TURBOAREADORES DE LA UBP
LIXIVIACIÓN Y LAVADO.**

Autor: Leyanis Rodriguez Guilarte

Moa, 2024

Año 65 de la Revolución



**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL
TÍTULO DE INGENIERO EN METALURGIA
Y MATERIALES.**

**TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA
EFICIENCIA DE LAS
EXTRACCIONES DE Ni + Co EN LOS
TURBOAREADORES DE LA UBP
LIXIVIACIÓN Y LAVADO.**

Autor: Leyanis Rodriguez Guilarte

Tutores: Ing Henry Aguilera Batista

Ms.C Aurelia Viada Estévez

Moa 2024

Año 65 de la Revolución

Agradecimientos

Agradezco a Dios por sobre todas las cosas:

-Todos los que en el transcurso de esta investigación brindaron sus conocimientos y experiencias, relacionada con este tema.

-Mis tutores Ms.C. Aurelia Viada Estevez e Ing. Henry Aguilera Batista quienes me brindaron todo su apoyo, su colaboración y experiencia en este trabajo.

-Todos los que en el transcurso de esta carrera me ayudaron y animaron para poder terminar

Dedicatoria

A: Mis padres y hermanos que han sido los impulsores mediante su educación para formarme como una profesional.

A: El claustro de profesores que impartieron clases, tiempo y conocimiento para guiarnos durante este proceso.

A: Mis compañeros de aula y a mis amigos que me apoyaron y dieron su ayuda.

Resumen

En el presente trabajo se realizó una investigación acerca de la eficiencia de las extracciones de níquel más cobalto en la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara". En el mismo se analizaron las principales causas que han provocado la baja productividad de la planta de Lixiviación, así como la baja eficiencia metalúrgica del proceso en la extracción del mineral en la primera etapa de lixiviación mediante los turboaeradores. Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se emplearon métodos físico-químicos de análisis como absorción atómica. De acuerdo a los resultados obtenidos se analizó que la eficiencia de extracción de enero es de 94,60 % y el porcentaje de extracción más bajo corresponde a marzo con un 61,36 %. Se determinó que entre las principales causas de la baja productividad de la planta se debe a la incorrecta operación del proceso, de concentraciones en primera etapa de lixiviación, falta de mantenimiento de los turboaeradores y una mala distribución de la pulpa de mineral en la primera etapa de lixiviación.

Palabras claves: turboaeradores, lixiviación, níquel, cobalto, extracciones.

Summary

In the present work, an investigation was carried out about the efficiency of nickel plus cobalt extraction in the Leaching and Washing plant of the “Comandante Ernesto Che Guevara” Company. It analyzed the main causes that have caused the low productivity of the Leaching plant, as well as the low metallurgical efficiency of the process in the extraction of the mineral in the first stage of leaching using turboaerators. To achieve the stated objectives, physical and chemical methods of analysis such as atomic absorption were used. According to the results obtained, it was analyzed that the extraction efficiency for January is 94.60% and the lowest extraction percentage corresponds to March with 61.36%. It was determined that among the main causes of the low productivity of the plant is due to the incorrect operation of the process, concentrations in the first stage of leaching, lack of maintenance of the turboaerators and a poor distribution of the mineral pulp in the first stage. leaching.

Key words: turboaerators, leaching, nickel, cobalt, extractions.

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	5
1.1 Tecnología Carbonato Amoniacal.....	5
1.1.1 Desarrollo de la tecnología carbonato amoniacal	5
1.1.2 Esquema tecnológico de la UBP Lixiviación y Lavado.....	6
1.2 Análisis del efecto de las variables de operación sobre las extracciones de Níquel.....	12
1.3 Antecedentes de la investigación.....	14
Conclusiones parciales del capítulo 1	23
CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.2 Materiales empleados en la investigación.....	24
2.2.1 Materiales auxiliares	25
2.3 Parámetros tecnológicos que se analizan en el proceso de lixiviación amoniacal.....	26
2.4 Alteraciones Tecnológicas del Proceso	27
2.5 Causas que inciden en la extracción de níquel y Cobalto en la primera etapa. ..	28
2.5 Método de muestreo y análisis	31
2.5.2 Determinación volumétrica de níquel en licores amoniacaes. Método complejométrico con la sal disódica del EDTA. Manual de Procedimientos Químicos. UEBT-LC-MPQ-2.....	32
2.5.4 Determinación de dióxido de carbono en licores amoniacaes. Método gasométrico. Manual de Procedimientos Químicos UEBT-LC-MPO-5.....	34
2.6 Mineral reducido y lixiviado. Determinación de níquel y cobalto. Método espectrofotométrico por absorción atómica	36
2.7 Método empleado para determinar el contenido de los elementos valiosos.	38
2.8 Técnica de absorción:	39
Conclusiones Parciales del capítulo 2	40
Capítulo 3 Análisis y discusión de los resultados.....	41
3.1 Análisis del níquel que llega al sistema de lixiviación	41
3.2 Análisis del extractable de Ni y Co.....	42
3.3 Análisis de la eficiencia de extracción del Ni y Co.	43
3.4 Análisis de la densidad de la pulpa.....	44
3.5 Análisis de la temperatura de la pulpa	45
3.6 Análisis del consumo de aire.	46

3.7 Análisis del contenido de amoníaco y dióxido de carbono en el licor producto...	46
3.8 Análisis del inventario de amónico y dióxido de carbono en el sistema de lixiviación.....	48
3.9 Análisis de las extracciones en el período.....	49
Conclusiones Parciales del capítulo 3	50
CONCLUSIONES GENERALES	51
Bibliografía.....	53

INTRODUCCIÓN

El mundo actualmente se encuentra en constante transformaciones, sobre todo en el desarrollo industrial específicamente en el sector minero, donde se realizan o investigaciones para modernizar las tecnologías existentes o innovar nuevas que aseguren la vida de las futuras generaciones y que estas a su vez tengan en cuenta el factor medioambiental y el tratamiento de residuales a partir de su incorporación en el esquema de tratamiento de las materias primas.

Nuestro país no está ajeno a estos cambios existentes en el mundo, por lo que se plantea en las asambleas del PCC potenciar la industria del Ni cubana, para dar así cumplimiento a los objetivos trazados en la agenda 20 - 30 con el objetivo de desarrollar nuestro país respondiendo a las necesidades de nuestra sociedad. Por lo planteado anteriormente muchos investigadores cubanos han realizado investigaciones en busca de perfeccionar los procesos tecnológicos empleados en la industria Comandante Ernesto Che Guevara con el objetivo de aumentar la eficiencia metalúrgica, obtener nuevos productos comerciales y disminuir los costos económicos por concepto de producción.

La tecnología carbonato amoniacal implementada en la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara, diseñada en sus inicios para la extracción de níquel y se consideraba la presencia de cobalto en el producto final como una impureza y constituye una pérdida económica importante para el proceso, por lo que se decide realizar investigaciones para transformar esta impureza en un producto final de interés en el mercado mundial, nuestra institución no estuvo ajena a estas modificaciones en busca del perfeccionamiento de la UBP Lixiviación y Lavado, ya que varios de los investigadores de la Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez se convirtieron en líderes científicos en la metalurgia extractiva de minerales lateríticos, siendo esta última la Fuente principal de material prima de las industrias del níquel cubana.

Según Garrido, 2000 analizaron la influencia de los factores tecnológicos siguientes: porcentaje de semilla, temperatura, agitación y tiempo de residencia en la eficiencia del proceso de precipitación obteniendo los modelos matemáticos que caracterizan el proceso. Además, se corroboró que en la

etapa de en semillamiento no tiene lugar la reacción de intercambio entre el níquel precipitado y el cobalto en solución. En este estudio no se analizó el proceso de reducción de cobalto(III) a cobalto(II), ni se realizó una caracterización de los sulfuros de níquel y cobalto obtenidos en la experimentación.

De acuerdo al trabajo realizado por Jiménez, 2023 donde se plantea que muchas fueron las modificaciones realizadas en el proceso con el objetivo de disminuir el contenido de cobalto. Una de las modificaciones introducida fue la precipitación selectiva del cobalto en forma de sulfuro, con los objetivos siguientes:

- Controlar la concentración del cobalto en el licor de la lixiviación carbonato amoniacal, evitando el alto contenido de cobalto en el producto final.
- Diversificar la producción de la industria obteniendo un concentrado de sulfuros de níquel y cobalto.
- Incrementar la eficiencia metalúrgica de cobalto en la empresa.

En la práctica la modificación introducida al proceso tecnológico no satisface los objetivos planteados al caracterizarse por:

- Recuperación de cobalto inferior al 90 %.
- Alta relación níquel - cobalto en el sulfuro.

En la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG) a partir de Julio de 2009 se instaló un nuevo esquema de precipitación de cobalto (cobalto fase II o segunda etapa) similar al propuesto por Sherrit, donde se trata el cobalto contenido en parte del licor de segunda etapa de lixiviación, el mismo tiene como principales objetivos:

- Obtener sulfuro seco con relación níquel - cobalto menor de 2.
- Alcanzar valores de precipitación de cobalto en primera etapa por encima del 9 %.

- Incrementar la eficiencia metalúrgica del cobalto en ECG
- Incrementar la eficiencia metalúrgica del níquel en ECG.

Si bien es cierto que se han revisado los resultados obtenidos en el período aún no existe una evaluación de rigor con respecto al logro de los objetivos propuestos para el nuevo esquema, por tanto, podemos definir como **problema de investigación:**

El insuficiente conocimiento de los parámetros tecnológicos del proceso de lixiviación en los turboaeradores, de la empresa comandante Ernesto Che Guevara, limitan las extracciones de Ni y Co en la tecnología carbonato amoniacal de Moa.

Objeto de estudio:

Lixiviación en los turboaeradores de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Como **hipótesis de la investigación** se plantea

Si se analizan los parámetros Tecnológicos que influyen en los índices de extracción de Ni + Co durante la lixiviación de la tecnología carbonato amoniacal se podrá hacer una evaluación sobre la eficacia metalúrgica del proceso CARON en Moa.

El presente trabajo tiene como **objetivo general:**

Evaluar la eficacia de los índices de extracciones de Ni y Co en los turboaeradores de la UBP Lixiviación y Lavado de la tecnología CARON en Moa.

Y como objetivos específicos:

1. Evaluar la eficiencia metalúrgica de la tecnología carbonato amoniacal de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa de Níquel Comandante Ernesto Che Guevara.

2. Analizar los parámetros tecnológicos que influyen durante el proceso de lixiviación desarrollado en los turboaeradores de la UBP de Lixiviación y Lavado.
3. Analizar los índices de extracción del proceso de lixiviación en la tecnología carbonato amoniacal.
4. Poner variantes tecnológicas para el incremento de la eficiencia de los mismos durante el proceso CARON en Moa.

Y para dar cumplimiento a los objetivos, se plantea como tareas de investigación

1. Búsqueda bibliográfica relacionada con la temática tratada en la investigación
2. Recopilación de datos del proceso antes y después de puesta en marcha. Tratamiento estadístico de los datos.

Metodología de la Investigación.

Obtenida la información bibliográfica, se analizaron las principales variables que intervienen en el proceso de lixiviación para el análisis de la pulpa, de la tecnología carbonato amoniacal de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. El análisis estadístico de correlación y regresión, fueron auxiliados por el método computacional como el EXCEL, para analizar la influencia de las principales variables en el proceso de lixiviación para las pulpas de la tecnología carbonato amoniacal de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

Introducción

El presente capítulo se realiza un análisis sobre el estado del arte de la temática abordada en este trabajo, el cual nos permitió conocer de investigaciones precedentes que trataron el tema para dar cumplimiento a los objetivos trazados.

1.1 Tecnología Carbonato Amoniacal

En este epígrafe se analizará la historia del desarrollo de la tecnología carbonato amoniacal; los esquemas tecnológicos utilizados para la aplicación de la tecnología; el flujo tecnológico del proceso de Lixiviación Carbonato Amoniacal en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara y específicamente en la planta de lixiviación y lavado.

1.1.1 Desarrollo de la tecnología carbonato amoniacal

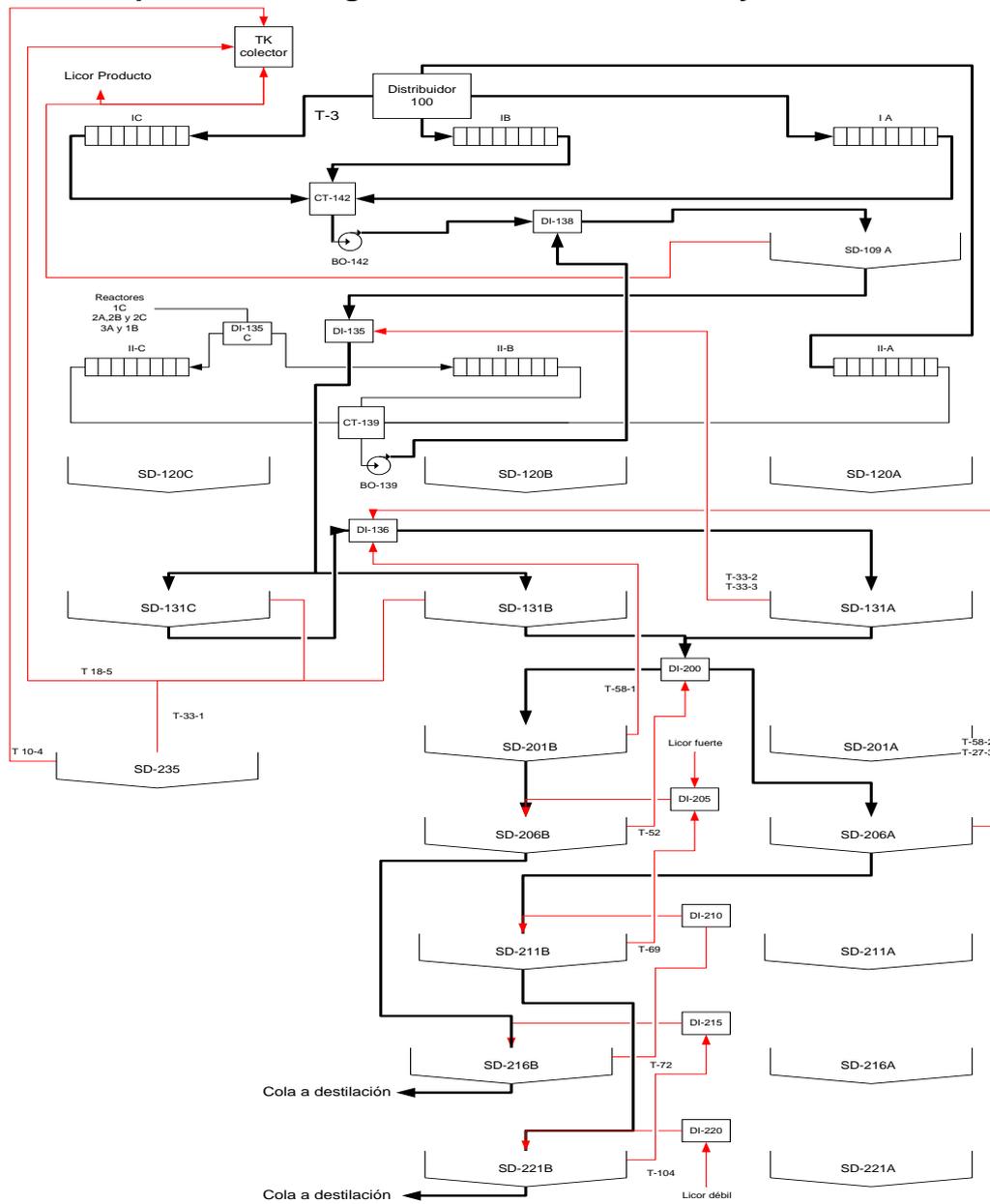
El estudio del procesamiento del mineral limonita se remonta a los años 20, cuando el profesor Caron de Delf University, Holanda, emprendió el estudio del mineral de Dutch East Indies (Indonesia). De este trabajo dedujo que la vía de procesamiento más económico consistía en un horno de reducción seguido de una lixiviación a presión atmosférica en una solución de amoníaco carbonato de amonio. No fue hasta 1943 en que se aplicó este proceso comercialmente, cuando la Freeport Sulphur Company de Louisiana inició el diseño y la construcción de una planta en Nicaro, Cuba. La planta fue presupuestada y administrada por el gobierno de Estados Unidos de América, como parte del esfuerzo de la guerra.

En 1947, la planta fue preservada y la Freeport fue sustituida por la Nacional Lead, quien reinició la planta en 1952 para proporcionar níquel para la guerra de Corea.

Inmediatamente comenzó la construcción de diez nuevos hornos de reducción para complementar la producción de los doce construidos en 1944 (un incremento de la capacidad en un 80 % a 22000 t/año de níquel). La expansión de la planta se completó en 1957. Los depósitos de Nicaro fueron parcialmente explotados por el gobierno de los Estados Unidos de América y

por la Freeport Sulphur Company y otros. La planta de tratamiento, la que procesa todo el mineral de Nicaro, fue explotada por el gobierno de los EUA entre los años 1944 – 1947. En 1951 esta fue rehabilitada y operada por la Níquel Prossing Corporation con la Nacional Lead Company y Fomento de Minerales Cubanos, S.A. La producción aumentó hasta 22679,6185 t/año de níquel en 1957. En 1960 la planta fue nacionalizada pasando a ser una de las principales fuentes de divisa para el país (Jiménez 2023).

1.1.2 Esquema tecnológico de la UBP Lixiviación y Lavado.



1.1.3 Descripción del flujo tecnológico planta lixiviación y lavado

Esta planta es la encargada de llevar desde la fase sólida hasta la fase líquida los componentes del mineral níquel (Ni) y cobalto (Co) aunque pasan también a la fase líquida componentes no deseados como por ejemplo el magnesio (Mg). Este proceso químico es llamado Lixiviación, que no es más que una extracción selectiva de determinado componente de una fase sólida, utilizando un solvente que posibilite esta extracción, en este caso una solución carbonato - amoniacal. El proceso de Lixiviación comienza por los tanques de contacto donde ocurre un mezclado entre el mineral reducido enviado por los Hornos, a través de los enfriadores de mineral y el licor de reciclaje proveniente de la primera y segunda etapa de lixiviación, previamente enfriado hasta una temperatura de 30- 35 °C. Este mezclado ocurre en dos plantas, Planta Vieja (PV) y Planta Nueva (PN); Planta Vieja con una canal donde descargan seis enfriadores de mineral a una temperatura de alrededor de 205 °C y PN donde descarga cinco enfriadores de mineral aproximadamente una temperatura 175 °C. En cada planta existen dos canales (1 y 2), una en operación y la otra de repuesto. La pulpa formada en las canales de Planta vieja cae a los tanques de contacto (2) de capacidad. 29 30 m³ cada uno (uno en operación y el otro de repuesto) y con un sistema de agitación; desde estos tanques es succionada la pulpa formada, por bombas tipo Wilfrey (4), tres trabajando y una de repuesto, y es descargada al tanque de contacto que se encuentra en operación en PN donde es mezclado con la pulpa que se forma en las canales de dicha planta; estos tanques de contacto (2) de Planta Nueva tienen una capacidad de 40 m³ cada uno y además están provistos de un sistema de agitación, con el objetivo de homogenizar la mezcla. La mezcla total formada, cuya densidad debe estar entre 1130-1160 g/L y una temperatura de 40 – 44 °C, es bombeada hacia el distribuidor general de pulpa (DGP), mediante bombas tipo Morris (4), dos en operación y dos de repuesto, una de ellas (la Morris # 4) trabaja automáticamente, es decir cuando el tanque alcanza un determinado nivel, la misma arranca automáticamente. El DGP es circular y tiene un sistema de distribución rotatorio equitativo, que hace caer la pulpa a las cinco secciones del distribuidor en igualdad de carga para cada serie. Existen dos DGP, uno trabajando y el otro de repuesto o en mantenimiento. La descarga de cada uno

de las secciones se hace llegar a cada una de las series de lixiviación de primera etapa que son denominadas serie A, B, C, Norte (N) y Sur (S).

La distribución de turboareadores en cada serie es la siguiente:

Serie A: Miniserie 1- 100, 101, 102, 103 A

Miniserie 2 - 99, 107, 108, 109 A

Serie B: 99, 100, 101, 102, 103 B

Serie C: 99, 100, 101, 102, 103 C

Serie Norte: 100, 101, 102, 103 N

Serie Sur: 100, 101, 102, 103 S

En los turboareadores es donde ocurre la mayor parte de la reacción química, es decir, es donde se lixivia el níquel, por lo que, entre más turboareadores tengas en operación mejor va ser la extracción de níquel, con la concentración de amoníaco normada. Los mismos están provistos de un sistema de agitación y suministro de aire que es el que garantiza el oxígeno necesario para que ocurra la reacción química y además ayuda a la agitación de la pulpa. El consumo de aire de estos turboareadores es de 120 m³ /t mineral reducido. También contienen un sistema de succión de gases a través de un ciclón que es el que permite arrastrar los gases evaporados hasta las torres de absorción de amoníaco. La pulpa areada de las series A, B, y C se mezclan en una caja colectora donde existen cuatro bombas tipo Warman, dos o tres trabajando y una o dos de repuesto en dependencia del tonelaje, encargada de enviar la pulpa mezclada y areada hacia el distribuidor circular. El distribuidor circular es el encargado de distribuir la pulpa total para las dos series de sedimentadores que tiene la planta, Serie 1 y Serie 2. Los sedimentadores son los encargados de provocar la separación mecánica entre la fase sólida y la fase líquida, mediante el proceso de sedimentación (espesador). La serie 1 compuesta por los sedimentadores 104D, 116D, 205C, Planta Vieja y la serie 2 por los sedimentadores 110D, 201C, 209C (PN) y los sedimentadores de lavado 218V, 222V, 50-1, 214C, 222C, 226C y TR. Serie 1 El 50 % de la pulpa que sale del distribuidor circular pasa por un magnetizador, con el objetivo de formar pequeños flósculos que ayuden a la sedimentación, luego cae al sedimentador 104D. La pulpa areada que sale de la serie Sur cae directamente al sedimentador 104D. El licor de reboso del sedimentadores 104 D es

bombeado (106A y 106B), una parte va al tanque (TK) CT-22 para ser enfriado y reciclado al proceso y la otra parte al tanque CT-56 para someterlo al proceso de descobaltización, la pulpa del 104D (1650 – 1700g/L) se bombea mediante bombas tipo Wilfrey (105A y 105B) para una segunda etapa de turboareadores, mezclándose antes de entrar con el licor de reboso de la tercera etapa de sedimentadores 205C (208A y 208B) y formando una pulpa cuya densidad oscila entre 1250 – 1350 g/L. La segunda etapa está constituida por los siguientes turboareadores. Serie Norte: 107, 108, 109 N Serie Sur: 107, 108, 109 S La cantidad de aire suministrado a estos turbos de segunda etapa es de 50 m³ / t mineral reducido. La descarga de los dos últimos turboareadores caen al Sedimentador 116D. El licor de reboso de los sedimentadores 116 D (119A y 119B) va al tanque CT-22, y la pulpa (1700 – 1750 g/L) se mezcla en una caja de dilución (118A y 118B) con el 50 por ciento del licor de reboso del sedimentador 50-1 (1250 – 1350 g/L) y es bombeada (50- 1A y 50-1B) para el sedimentador 205C. La pulpa del sedimentador 205C y 209C caen por gravedad a una caja de dilución, mezclándose con el reboso del sedimentador 218V, para ser bombeado al sedimentador 50-1. Serie 2 El otro 50 % de la pulpa que sale de distribuidor circular cae al sedimentador 110D pasando de igual forma por un magnetizador. La pulpa areada que sale de la serie Norte cae directamente al sedimentador 110D. El licor de reboso hace el mismo recorrido que el reboso del sedimentador 104D (112A y 112B). La pulpa es bombeada (111A y 111B) para una segunda etapa de los turbos, en este caso son: Serie Norte: 113, 114, 115 N Serie Sur: 113, 114, 115 S La pulpa antes de entrar a estos turbos areadores se mezcla en una caja de dilución, con el licor de reboso del sedimentador 209C (212A y 212B) y se obtiene una suspensión cuya densidad esta alrededor de 1250 – 1350 g/L, la pulpa de los dos últimos turbos cae al sedimentador 201C. El reboso del sedimentador 201C hace el mismo recorrido que el del sedimentador 116D de la otra serie (204A y 204B). La pulpa del fondo (1700 – 1750 g/L) del 201C se mezcla con el otro 50 % del reboso del sedimentador 50-1 en una caja de dilución (1250-1350 g/L) y es bombeada (50-1A y 50-1B) para el sedimentador 209C. Lavado. El licor de reboso del sedimentador 218V bombeado (220A y 220B), se mezcla en una caja de dilución con la pulpa del sedimentador 205C y 209C, para luego ser

bombeada (211A y 211B) al sedimentador 50-1. La pulpa del sedimentador 50-1 se diluye en una caja de dilución con el reboso del sedimentador 222V (223A y 223B) y cae al sedimentador 218V. La pulpa del fondo del sedimentador 218V es bombeada (219A y 219B), mezclándose en una caja de dilución con el reboso del sedimentador 214C y 32 222C (217A, 217B y 225A, 225B) y descargada en el sedimentador 222V. La pulpa del sedimentador 222V (222A y 222B) se diluye con el reboso del tanque de repuesto y del sedimentador 226C (RA, RB y 227A, 227B) en una caja de dilución y descarga al sedimentador 214C y 222C respectivamente. La pulpa del sedimentador 214C y la del sedimentador 222C (216A, 216B y 224A, 224B) caen al sedimentador tanque de repuesto (TR) y sedimentador 226C respectivamente, mezclándose previamente con licor débil proveniente de la torre de absorción cuya concentración oscila entre 20 – 25 g/L. La pulpa del tanque de repuesto (TR) y la del sedimentador 226C (RA, RB y 226A, 226B) se hace llegar al pozo de cola donde existen dos bombas (1 y 2) y dos líneas, una trabajando y otra de repuesto, mediante los cuales se envía para la planta de Recuperación de Amoníaco, con una concentración de amoníaco entre 30 y 40 g/L y una densidad de 1690 – 1710 g/L. Torres de Absorción. En ambas plantas existen torres de absorción de amoníaco, estas tienen como objetivo, recuperar el amoníaco que se evapora de los sedimentadores y el que arrastra el aire que se le inyecta a los turboaeradores. El sistema se compone de cuatro torres para cada planta. De las cuatro torres trabajan tres y la otra queda de mantenimiento o de repuesto. Estas torres tienen en su interior empaques de madera con el objetivo de lograr una buena recuperación de amoníaco al entrar en contacto con el agua que se le suministra. El proceso de recuperación es muy sencillo, los gases del sistema son succionados por ventiladores de tiro forzado y se hacen pasar por las torres que están en operación. Los gases entran a las torres por la parte inferior y por la parte superior se le suministra el agua, la cual se va enriqueciendo en amoníaco a medida que pasa de una torre a otra. En estas torres se opera a contracorriente, los gases ricos en amoníaco se incorporan por la parte inferior de una torre hueca y salen por la parte superior, luego se hace pasar por una segunda torre que tiene empaques de madera y luego por otra de la misma característica que la anterior,

posteriormente pasan por el ventilador que los succiona y los envía para la atmósfera. El agua que se utiliza en el proceso hace el recorrido contrario al gas, primero se le suministra al gas que tiene menos concentración de amoníaco y luego se va bombeando para las siguientes torres hasta 33 llegar a la torre hueca, lugar en el cual se logra un licor débil con concentración de amoníaco de 20-25 g/L, el cual es bombeado para la última etapa de lavado a través de bombas soviéticas 1 y 2 (una en operación y otra de repuesto). Cada torre tiene su juego de atomizadores en la parte superior de las mismas para distribuir el agua en toda su área. La torre hueca cuenta también con atomizadores laterales. Cada torre tiene una bomba American para bombear el agua desde su parte inferior (descarga) hacia la parte superior de la otra torre que le corresponde. En caso de planta vieja cada bomba cuenta con una de repuesto. Enfriadores de placa. El objetivo fundamental de los enfriadores de placa es enfriar el licor de reciclaje (30 -35 °C) que va a los tanques de contacto, lográndose así la temperatura (40-44 °C) y la densidad (1130-1150 g/L) establecida por la norma de la pulpa. El licor a enfriadores proviene de la primera y segunda etapa de lixiviación (parte del reboso del sedimentador 104D y 110D y todo el reboso del sedimentador 116D y 201C) que se envían al tanque CT-22. Este tanque es el encargado de suministrar el licor a los enfriadores de placas mediante bombas. El rango del nivel de operación del tanque es, mínimo de 1,5 m y máximo de 5,0 m. Debe tener alarma lumínica y sonora por alto y bajo nivel. Son tres enfriadores de placa 5 APV (EX.001, EX.002 y EX.003), dos en operación y uno de reserva con capacidad de 600 m³/h cada uno. El flujo de licor se moverá en el rango de 500 -1200 m³ /h. El licor es suministrado a los enfriadores mediante un sistema de bombeo compuesto por tres bombas centrifugas PU01, PU02 y PU03 (una de reserva), de 600 m³ de capacidad cada una. La temperatura de entrada del licor es de 40 – 60 °C, con una presión de 3 – 4 kgf/cm² y la temperatura de salida de mismo es de 30 – 35 °C. Como medio de enfriamiento se utiliza el agua, Planta de Tratamiento de agua, con temperatura de 25 – 29 °C y una presión de 3,8 - 4,5 kgf/cm², calentándose hasta una temperatura mayor de 38 °C. La presión de entrada de agua de enfriamiento no debe bajar de los valores predeterminados. (3,5 – 3,8 kgf/cm²) porque provocarían un incremento ligero

en la temperatura del licor de salida, sin estar completamente cargado (sucio) el filtro para proceder a la limpieza química con ácido. Eficiencia de los enfriadores = $\frac{T_e \text{ licor} - T_s \text{ licor}}{T_e \text{ licor} - T_e \text{ H}_2\text{O}}$ x 100 Donde: $T_e \text{ licor}$ = Temperatura de entrada de licor. $T_s \text{ licor}$ = Temperatura de salida de licor. $T_e \text{ H}_2\text{O}$ = Temperatura de entrada del agua.

Condiciones del régimen tecnológico normal.

- Área de contacto: Operar con densidad en la pulpa de 1130-1150 g/L y temperatura de (40-44) °C, temperatura de licor < 35 °C, relación L/S=5/1, controlar el flujo de licor a QT a través de la instrumentación, controlar amperaje de las bombas y agitadores.

Tabla 1: Evolución del precio del Níquel en la Bolsa de Metales de Londres

Fecha	13-05-2024	14-05-2024	15-05-2024	16-05-2024	17-05-2024	20-05-2024
Níquel (US\$ / lb)	8,577	8,591	8,641	8,770	9,405	9,648

Las pulpas son las materias primas fundamental para la lixiviación, de su calidad dependen las extracciones futuras en el desarrollo de las operaciones con este fin para incrementar las producciones disminuyendo los costos. (Santana y López 2002)

1.2 Análisis del efecto de las variables de operación sobre las extracciones de Níquel.

- Temperatura
- Concentración de NH₃
- Relación NH₃/CO₂
- Flujo de aire
- Azufre
- Tiempo de retención
- Calidad del mineral reducido
- Estabilidad operativa

Las extracciones de níquel y cobalto en el sistema de lixiviación y lavado están limitadas por la magnitud de sus tipos de pérdidas por: hidrólisis de sus amoniacos, coprecipitación con los óxidos e hidróxidos de hierro (OHH) en dos variedades, la primera-formando soluciones sólidas, y la segunda-segregándose en la superficie de los óxidos e hidróxidos de hierro, y finalmente, las pérdidas por pasivación de sus ferroaleaciones. A esto hay que agregarle, el recubrimiento de algunas partículas de níquel y cobalto por los compuestos sólidos que van precipitando desde los tanques de contactos hasta el final de la aireación, que provoca una alta resistencia a la difusión de los oxidantes y reactivos hacia la superficie de dichos metales, por tanto, no le da tiempo a lixiviarse. A continuación, se analizarán los tipos de pérdidas siguientes (Chang y Rojas 2009).

Relación NH_3/CO_2

Efecto de la temperatura de lixiviación:

El aumento de la temperatura de la pulpa durante la lixiviación provoca una disminución de la extracción de níquel, pero en mayor medida- la de cobalto, lo cual es una realidad industrial reconocida por todos los productores, constituyendo el enfriamiento, una de las principales vías más económicas para elevar la extracción de cobalto. Según la práctica industrial por cada 1 °C de decrecimiento de la temperatura en lixiviación, se recupera el 1 % de cobalto. No obstante, todavía no se comprende del todo, que un pequeño aumento de la temperatura desplaza la región óptima de composición del licor lixivante hacia la zona de mayor concentración de dióxido de carbono, coincidente tanto para el níquel, como para el cobalto, lo que se ha demostrado, tanto en soluciones puras, como con menas reducidas (Menés,1998)

De todo el análisis anterior se deduce, que mientras más se enfríe el sistema de lixiviación y se incremente la CNH_3 total en su región óptima, se elevarán las extracciones de níquel y cobalto, disminuirá la solubilidad del magnesio, menos habrá que carbonatar el licor fresco en la operación de absorción del dióxido de carbono y el amoníaco, también, mermarán las pérdidas de amoníaco en dicha operación. Lo que se traducirá, en un aumento de la producción de níquel y cobalto con menos costos de explotación. Quedaría el inconveniente de lidiar

con una mayor masa de hierro en el licor lixiviante durante la aireación Jiménez (2023)

- Flujo de aire

Este último fenómeno, junto al aumento de la temperatura en lixiviación, han sido las dos principales causas que han limitado elevar los extractables de níquel y cobalto en la operación de la reducción debido al incremento de la metalización del hierro, el cual implica un mayor contenido de hierro (Fe II). Investigaciones realizadas por (Rojas 2009) plantea que las pérdidas en el proceso de lixiviación están dadas por:

1. Hidrólisis
2. Oxihidróxidos de hierro (OHH)
3. Pasivación de la superficie del mineral

Estas dependen de la calidad del mineral alimentado y del mineral reducido que considera la composición de las aleaciones metálicas formadas durante la reducción, la temperatura de la pulpa, calidad del licor de lixiviación dada principalmente por la concentración de amoníaco, relación NH_3/CO_2 , concentración de cobalto, azufre, hierro y por el régimen de aireación. Estas variables revelan que la obtención de las condiciones óptimas de lixiviación dependen tanto del minado que implica buena selección y homogeneización de la muestra, como la operación integrada de todo el proceso industrial, por ejemplo, la reducción para obtener una buena metalización de los compuestos valiosos y ofrecer un elevado extractable; la absorción de dióxido de carbono y amoníaco que asegura la calidad del licor de lixiviación; la operación del sistema de enfriamiento para mantener la temperatura de la pulpa dentro de los parámetros establecidos, estos en interrelación con el estado técnico de equipos y accesorios así como el cumplimiento con las especificaciones de diseño Baile (2013).

1.3 Antecedentes de la investigación

La evaluación de los parámetros tecnológicos que influyen en índices de extracciones de Ni + Co y por ende en la eficiencia metalúrgica del proceso de lixiviación de la tecnología carbonato amoniacal ha sido objeto de muchas investigaciones científicas con el objetivo de mejorar los índices de extracciones de los componentes útiles.

En investigaciones realizadas (Herrera y Kasavin, 1971; Suárez, 1998) se ha analizado la influencia del grado de oxidación del cobalto en la solución amoniacal en el proceso de precipitación, pues el incremento de la relación cobalto (II) / cobalto (III) favorece la cinética del proceso y la disminución del consumo de agente precipitante usado en la reducción del cobalto (III) a cobalto (II). Este resultado indica la importancia del control en el proceso tecnológico de la relación cobalto (II) / cobalto (III) en el licor producto de lixiviación pues el cobalto (III) constituye aproximadamente el 90 % del cobalto total y ese solo se precipita una vez reducido a cobalto (II), lo cual se logra al reaccionar con el hidrógeno sulfuro de amonio.

El estudio de los procesos de precipitación utilizando el sulfuro de amonio como agente precipitante Samalea (1968) demostró la influencia de la concentración inicial de cobalto, el consumo de agente precipitante y la recirculación de semilla en la eficiencia del proceso de precipitación. En esta investigación se analiza la cinética del proceso para diferentes concentraciones iniciales del cobalto (0,6; 0,306 y 0,22 g/L) y para relaciones sulfuro de hidrógeno /c (Co) de 3,6; 2,2; 1,7 veces el estequiométrico, obteniendo como tiempo óptimo de precipitación 15 segundos, alcanzando extracciones del 99 % y relación níquel – cobalto de 5:6 en el sólido, pero no determina las ecuaciones cinéticas. También se analiza el uso del ensemillamiento, el cual permita incrementar la recuperación de cobalto y disminuir el consumo de sulfuro de hidrogeno.

Investigaciones en la Empresa Comandante René Ramos Latourt, realizadas por Hernández (1996), comprobó que el ensemillamiento favorece el intercambio de níquel precipitado y la liberación de los iones sulfuros para reducir el cobalto (III) al cobalto (II), precipitar cobre y algo de cobalto, mejorando la calidad del sulfuro al variar la relación níquel-cobalto de 2,22 a 1,09 y además disminuir el consumo de agente precipitante hasta un 30 %. Los datos experimentales muestran la disminución del contenido de níquel desde 16,89 hasta 8,79 %, sin embargo, no existe un incremento del cobalto al variar de 7,6 a 8,09 %.

En trabajos realizados Menés (1998) en el ISMM, se analizan la influencia del uso del hidrógeno sulfuro de amonio y sulfuros de sodio en la precipitación de sulfuros, evaluándose la eficiencia del proceso en función de la relación (níquel-cobalto) en el licor de entrada y salida del proceso (licor carbonato amoniacal), relación (agente precipitante-metal), consumo específico de agente precipitante, porcentaje de ensemillamiento, porcentaje de precipitación de níquel y cobalto.

En la investigación realizada en la Universidad de Oriente sobre la precipitación de sulfuros por Suárez (1998) se analiza la influencia de los factores siguientes:

1. Modelo cinético de mezclado.
2. Concentración inicial de níquel en el licor.
3. Concentración inicial de cobalto en el licor.
4. Grado de oxidación del cobalto.
5. Consumo de agente precipitante.
6. Temperatura del licor.

En las conclusiones del trabajo se indica que la precipitación del níquel y cobalto se favorecen para las condiciones siguientes:

A. Precipitación del níquel.

- Alta concentración inicial de níquel.
- Baja concentración de cobalto.
- Alta concentración de cobalto (III).
- Alta dosificación del agente precipitante.
- Alta temperatura.

B. Precipitación de cobalto.

- Alta concentración inicial de cobalto total en el licor.

- Alta dosificación del agente precipitante.
- Alta concentración de cobalto (III).
- La temperatura no afecta la eficiencia de la precipitación

En esta investigación no se analiza la etapa de ensemillamiento en el proceso tecnológico, en la cual tiene lugar el proceso de reducción del cobalto (III) a cobalto (II), así como la reacción de intercambio entre el sulfuro de níquel precipitado y el cobalto (II) en solución.

Chaviano (2000), analiza la influencia del ensemillamiento en la eficiencia de la precipitación de cobalto en la tecnología carbonato amoniacal, a partir de resultados experimentales obtenidos en Marinduque y en el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica. En el mismo se comparan las eficiencias de la precipitación de cobalto al utilizar una etapa previa de ensemillamiento y sin ella, indicándose que el uso de la semilla favorece el proceso al lograr la reducción del cobalto (III) a cobalto (II). El mejor resultado se obtuvo con 148,7 % de recirculación de semilla al reducirse el 49,9 % del cobalto (III) y un ahorro del agente precipitante de un 31,68 %. En este informe no se especifican las características del sulfuro utilizado como semilla tales como densidad, porcentaje de sólido, relación níquel-cobalto y temperatura.

Otras de las investigaciones realizadas en el Instituto Superior Minero Metalúrgico (Santana y López 2002) realizaron un estudio del circuito de ensemillamiento en la planta de precipitación de sulfuros mixto de níquel y cobalto en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, evaluando la influencia de los factores que inciden en el proceso de ensemillamiento y su interrelación con la recuperación selectiva del cobalto. La investigación se realizó a escala industrial y de laboratorio. En la industria se hizo un muestreo en los reactores del circuito, para caracterizar las transformaciones químicas, controlándose la concentración de níquel, cobalto y otros elementos en la fase líquida; bajo diferentes condiciones de recirculación de semilla. Se comprobó que el porcentaje de recirculación de semilla influye positivamente en el proceso de disminución del contenido de cobalto (III) en el licor.

Garrido (2003), obtiene ecuaciones que muestran la influencia de variables independientes en el proceso de recirculación de sulfuros de cobalto y níquel a escala de laboratorio, siendo la más significativa la densidad de la pulpa. En el propio trabajo se recomienda continuar las investigaciones a una mayor escala para favorecer la precipitación selectiva del cobalto en la solución amoniacal.

(Magaña y Rojas 2013), Realizaron una investigación sobre la aplicación de la velocidad de aereación para la lixiviación amoniacal de Ni y Co a escala industrial. Estudió la lixiviación carbonato amoniacal aplicando velocidades de areación para disminuir las pérdidas de níquel y fundamentalmente de cobalto. El sistema está compuesto por 5 reactores en series. Se midió el potencial redox (E^0x) para indicar el curso de la lixiviación con un Hp-mV de electrodos combinados Pt-calomel. Se calculó la velocidad de aereación ($m^3/t \text{ min}$), al aplicar un programa de computación, para un tiempo de retención calculado entre 100 y 128 min. La modificación de la velocidad de aereación ejerció un cambio apreciable en la lixiviación de los metales mientras que para el Ni las pérdidas alcanzaron un máximo de 1,7% para el cobalto fue de un 7,4%.

(Chang y Rojas 2009). Se analizaron las causas de pérdidas de Ni y Co por la pasivación de las ferro-aleaciones con Ni y Co en la mena reducida con el objetivo de fundamentar las vías para incrementar la extracción de cobalto sin sacrificar la de níquel en la lixiviación del Proceso Caron. En el trabajo, se interrelacionan los factores de todos los tipos de pérdidas de Co y Ni para fundamentar las principales líneas de perfeccionamiento de la operación de lixiviación en las dos plantas cubanas de forma integral, analizándolas como un sistema formado, además por las operaciones de: reducción, absorción del CO_2 y NH_3 para producir licor fresco, y por la precipitación del sulfuro de Co. Se evaluaron los riesgos de la transferencia tecnológica de los turbo-aireadores de Tocantins para la empresa Punta Gorda.

Marrón (2022): Evaluación del proceso de reducción de mena laterítica con alta complejidad mineralógica. Se evalúa el impacto que genera la alimentación de menas lateríticas con alta complejidad mineralógica en los extractables de níquel y cobalto que se logran durante la tostación/reducción selectiva del proceso Caron, mediante el uso de las instalaciones y procedimientos

establecidos en la planta piloto del Centro de Investigaciones del Níquel. En ella se demostró que la mena laterítica que se alimenta al proceso metalúrgico se caracterizó un complejo comportamiento mineralógico con predominio de las fases de los óxidos y oxi-hidróxidos de minerales de hierro, siendo descritas granulométricamente por los modelos Rosin–Rammler y la función Swebrec con errores residuales inferiores a 1,95 y coeficientes de determinación superiores a 0,9850. La evaluación del proceso de tostación/reducción demostró que las características químico-físicas-mineralógicas del mineral reducido se correspondieron a un proceso adecuado de reducción con valores de Ni, Co, Fe, S y C total que presentaron como regularidad el incremento de sus porcentajes en los rangos promedios de 0,22 %, 0,01 %, 7,46 %, 0,45 % y 0,45 % respectivamente; con predominio de las fases mineralógicas de la magnetita, la maghemita y la fayalita. Los máximos extractables de níquel y cobalto que se lograron durante el proceso de reducción-lixiviación oscilaron en los rangos de 73-78 % y 33-41 % respectivamente, resultando más conveniente el uso del perfil térmico alto ya que permite el incremento de las utilidades en 81,73 millones de USD/a.

(Castellanos y Alvarez). Aborda aspectos tales como la proposición del mecanismo de lixiviación en soluciones carbonato-amoniacaes y la etapa cinética, que aparentemente limita la velocidad de disolución del níquel y cobalto. Se establecen y determinan las condiciones de intensificación del proceso de lixiviación con la inyección de CO₂ en la corriente de aire la extracción de níquel y cobalto se incrementa en un 5 % como mínimo, y se puede evitar la precipitación de sales de magnesio en reactores y tuberías lo cual disminuye la disolución del Fe +. Se mostró la posibilidad de intensificar la lixiviación en un reactor tubular con alta extracción relativa de los metales (95-100) % de Ni y (100-120) % de Co en un tiempo de 40 a 80 segundos. La introducción de los resultados de las investigaciones en la práctica permite mejorar los índices técnico-económicos del proceso, aumentar la producción de níquel y cobalto en 1 200 y 1 260 toneladas al año respectivamente en una planta como Nicaro y obtener un efecto económico mínimo.

Reyes (2022) Realiza ésta investigación para evaluar la posibilidad utilizar los residuos sólidos generados por la Empresa CIMEX, a partir del conocimiento de sus principales características, que permita reducir la contaminación que actualmente generan al medio ambiente, tomando como caso de estudio la tienda El Minero en Moa, lo que permitirá diagnosticar el estado actual, su posible destino y proponer medidas para el tratamiento de los residuos sólidos que se generan anualmente en esta entidad. El diagnóstico realizado permitió conocer la cantidad de residuales sólidos generados en la Empresa CIMEX, así como las principales insuficiencias y debilidades que impactan en el problema planteado. Los resultados demostraron que con una buena organización y tratamiento será posible proporcionarle un uso más eficiente y reducir la contaminación ambiental. El destino final propuesto garantizará un uso más adecuado de los mismos y la generación de utilidades para la empresa. Las medidas propuestas para el tratamiento de los residuos generados por la empresa, propiciarán un uso más eficiente de éstos, elevar la cultura ambiental y social de trabajadores y clientes, y la reducción de la contaminación que actualmente se provoca al medio ambiente en el municipio de Moa.

García (2022) Luego de las investigaciones realizadas se elaboró de una propuesta para el desarrollo docente de prácticas de laboratorios virtuales en la asignatura Análisis Físico Químico de la Carrera de Metalurgia y Materiales en la Universidad de Moa. Para ello fue necesario evaluar diferentes laboratorios virtuales y rediseñar el programa analítico de la asignatura. La selección de las herramientas Chemlab y PhEt como las de mayor potencial para el desarrollo docente de prácticas de laboratorios virtuales en la referida asignatura, incluye tres simulaciones a realizar con estas dos aplicaciones. La propuesta proporciona la posibilidad de emplear la tecnología de la computación y las comunicaciones de una forma eficiente, recrear situaciones reales, pero de una manera segura y superar las limitaciones que supone la carencia de algunos reactivos químicos y medios instrumentales. Además de favorecer el desarrollo de la educación a distancia.

Jiménez (2023) Al investigar la precipitación del sulfuro de níquel y cobalto a partir del licor de segunda etapa de la Planta de Lixiviación y Cobalto, de la

Empresa de Níquel, “Comandante Ernesto Che Guevara”. Se realizaron experimentos a escala de laboratorio y a escala industrial, que permitieron conocer las características físicas químicas del sulfuro obtenido mediante el diseño factorial completo para la planificación de los experimentos, se expone además un análisis de los resultados obtenidos a escala industrial con el esquema evaluado. Los contenidos de níquel y cobalto en el sulfuro obtenido en la evaluación a escala industrial reflejan la obtención de un producto con elevado contenido de cobalto y baja relación níquel-cobalto. Estos resultados confirman los obtenidos a escala de laboratorio con la inyección de semilla.

San Martín (2019) realizó un estudio de procesos metalúrgicos orientados a la producción de níquel. Al revisar los antecedentes bibliográficos se pudo analizar el estado de arte del níquel en Chile y el mundo. De este estudio se concluye que los principales procesos productivos corresponden al procesamiento de minerales de níquel del tipo sulfúricos y lateríticos mediante la ruta piro-hidrometalúrgica, y que, respecto de la relevancia y uso del níquel se sostiene que el mayor uso de éste es para la fabricación del acero inoxidable y superaleaciones y por lo tanto, debido al incremento en la fabricación e innovación de aceros y nuevas aleaciones de alta concentración de níquel, la demanda de éste subirá cuasi-exponencial durante los próximos años.

DONG. (2018): The Effect of Additives on Extraction of Ni, Fe and Co from Nickel Laterite Ores. As nickel sulfide deposits are exhausted, it becomes necessary to mine and process low-grade laterite ores to satisfy the need for nickel production. To achieve an efficient extraction of Ni, Fe and Co, additives such as chlorides, sulfur and sulfates, alkali oxides, fluorides, sodium carbonate and sodium hydroxide are introduced into the extraction process, and are applied in the reduction roasting-magnetic separation and chloridizing/sulfating/alkali roasting followed by a leaching process. In this paper, previously reported studies on the extraction of Ni, Fe and Co from nickel laterite ores have been reviewed with an emphasis on the additives' effect and reaction mechanisms. Although these additives significantly improve the enrichment effect, there is a need for further research on reaction mechanisms,

particularly with regard to hydrolysis of chlorides that generate HCl. The development of efficient additives that are environmentally friendly with low corrosivity and low cost should also be investigated.

Baile (2013) Al realizar los estudios respectivos se muestran los resultados de las extracciones de níquel y cobalto en la primera etapa de lixiviación en la Empresa Comandante René Ramos Latour de Nicaro. Esta investigación tiene como objetivo determinar la influencia de los principales parámetros que intervienen en el proceso de lixiviación y determinar las vías para dar soluciones y lograr el incremento de las extracciones teniendo en cuenta las condiciones reales de operación, así como futuras excursiones dentro de las operaciones unitarias que su conjunto serán la clave de resultados reales y precisos que definirán las extracciones seguras en el futuro. Con el estudio de las variables independientes: la temperatura, la concentración inicial de amoníaco, el contenido inicial del sólido y la concentración inicial de níquel y cobalto, cuya realización fue a escala industrial utilizando los transportadores que conducen la pulpa a los tanques de contacto. Se obtiene un modelo matemático, el que permitió analizar la influencia de los principales parámetros, determinándose que los mismos influyen positivamente en la extracción de níquel y cobalto, de la manera siguiente: la temperatura, la concentración inicial de amoníaco, el contenido inicial del sólido y la concentración inicial de níquel y cobalto.

Miranda (2016) Dedicó su trabajo a la exposición de los aspectos teórico-experimentales del proceso de lixiviación carbonato-amoniaco, donde se describen nuevos procedimientos que incrementan la recuperación de níquel y cobalto, caracterizados por el proceso de aditivación con productos químicos de producción nacional, sustitución de CO₂ por el aire en los turbos a una concentración ≥ 60 g/L, preferiblemente presurizado, sin gastos excesivos en equipamientos para su implementación. Se da un matiz negativo de la influencia que ejerce el hierro en el proceso hidrometalúrgico, su correcta y oportuna separación de las pulpas amoniacoales por el mecanismo de carbonatación en los primeros instantes de las reacciones (líquido/sólido), con este accionar se perfecciona dicha tecnología, ya que deja a este proceso sin

interferencias químico-físicas de compuestos de hierro, haciendo al mismo adecuado para el procesamiento de los minerales lateríticos después de un proceso de calcinación reductora, es decir, durante el proceso de lixiviación y lavado.

Conclusiones parciales del capítulo 1

1. Se analizaron los principales trabajos relacionados con la temática estudiada donde los aspectos teórico-experimentales del proceso de lixiviación carbonato-amoniacoal y se describen nuevos procedimientos que incrementan la recuperación de níquel y cobalto.
2. En los estudios precedentes se evaluaron los parámetros a tener en cuenta para lograr mejores extracciones en la planta de lixiviación y lavado de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

En el capítulo se presentan los materiales, métodos y procedimientos utilizados para la lixiviación carbonato amoniacal del mineral reducido de la planta de hornos de reducción para determinar la influencia de los parámetros que influyen en el proceso de extracción de níquel en la primera etapa de lixiviación.

2.2 Materiales empleados en la investigación.

El estudio se utilizó el mineral proveniente de la UBP planta de hornos de reducción de la empresa comandante Ernesto Che Guevara y el licor carbonato - amoniacal de la primera y segunda etapa de lixiviación, obteniéndose la pulpa con la cual se realizaron las evaluaciones correspondientes con el objetivo de mejorar la eficiencia de las extracciones de Ni y Co en los turboaeradores.

Materias primas

Las materias primas fundamentales para la Planta de Lixiviación y Lavado son: Mineral Reducido y Licor Amoniacal

➤ Mineral Reducido:

- Fase sólida de color negro, pegajoso, tóxico, abrasivo, adhesivo a cualquier superficie, con una densidad de (3,8 a 4,17) t/m³.

- Granulometría:

+ 0,147 mm (+100 mesh) = (13 a 15) %

+ 0,074 mm (+200 mesh) = (16 a 18) %

- 0,074 mm (-200 mesh) = (70 a 75) %

La temperatura del mineral reducido a la salida del enfriador será = 260 °C

Tabla 2: Composición Química

Contenido	Ni	Co	Fe	Fe	C	S
%	(1,10 a 1,30)	(0,09 a 0,13)	(38 a 42) (total)	(2 a 3,5) (metálico)	(1,8 a 2,8)	(0,2 a 0,4)

Licor amoniacal (licor fuerte): Disolvente utilizado en el proceso, que se incorpora en la III o IV etapa de lavado, incoloro, tóxico, de densidad igual a la del agua, con temperatura entre (32 a 35) °C. Compuesto por carbonato de amonio. Contiene un (13 a 14) % de amoniaco, un 6,85 % de CO₂ y el resto de agua.

2.2.1 Materiales auxiliares

- Aire: Fase gaseosa, incolora que se adiciona al proceso en los Turboaeradores de lixiviación a baja temperatura y presión, contiene 79 % de nitrógeno y 21 % de oxígeno (en volumen).
- Agua: Fase líquida, incolora, se adiciona al proceso en el sistema de absorción tratada químicamente. Además, se utiliza agua de retorno para el enfriamiento de licor en los enfriadores de licor.
- Ácido sulfúrico comercial: Se utiliza en la limpieza química de los enfriadores de licor, con una pureza de un (98 a 99) %.
- Vapor de agua: Se utiliza para calcinar la costra producida por las incrustaciones de magnesio en los tubos de los enfriadores y líneas por donde viaja el licor. Su temperatura y presión aproximada es de 150 °C y 882,5985 kPa (9 kgf/cm²) respectivamente.
- QUIMIZUK (QZ RDL- 814): Se utiliza en la limpieza química de los enfriadores de licor, por ser un solvente reforzado con agentes humectantes los cuales disuelven las incrustaciones de óxido de calcio, sarro, barro, herrumbre y otros depósitos formados al utilizar agua o soluciones acuosas con iones incrustantes en la operación de equipos.
- Inhibidor de corrosión (Chemadd H 805): Se utiliza para inhibir la corrosión que se produce en las placas durante la limpieza química con ácido sulfúrico. Este provoca una capa pasiva y estable en el metal, evitando que el ácido sulfúrico no incida directamente al mismo, ayudando a disminuir los salideros por perforaciones en tuberías y placas.

2.3 Parámetros tecnológicos que se analizan en el proceso de lixiviación amoniacal.

Factores que influyen en el desarrollo de la lixiviación

➤ Fineza del mineral molido: La velocidad de reacción en este sistema de lixiviación depende del tamaño de la superficie de las partículas minerales. Cuando las partículas de mineral son pequeñas, se aumenta la superficie de contacto de éstas con la solución acelerándose la lixiviación de los metales. Sin embargo, el mineral muy molido no favorece las cualidades de sedimentación y se crean dificultades con la separación del licor y el sólido de la solución. Tomando en cuenta estas influencias, el mineral se muele hasta una granulometría como sigue:

+ 0,147 mm (+100 mesh) = (13 a 15) %

+ 0,074 mm (+200 mesh) = (16 a 18) %

- 0,074 mm (-200 mesh) = (70 a 75) %

Grado de Reducción: El contenido total de Ni en el mineral reducido es aproximadamente de (1,45 a 1,55) % o sea, con la reducción se incrementa el contenido de Ni. De esta cantidad, sin embargo, no está todo el Ni y el Co en su forma metálica para que se pueda lixiviar, mientras mayor sea la eficiencia de la:

- Reducción, mayor será la lixiviación de Ni y Co aproximándose al Ni lixiviado y lavado al Ni extractable, siempre y cuando se mantenga el Fe metálico en rango normal de reducción aproximadamente 3 % (absoluto).
- Composición de la solución: Es requisito fundamental mantener las concentraciones en las soluciones de lixiviación, la disminución de la concentración de amoníaco y dióxido de carbono por debajo de un 3 % respectivamente perturba la lixiviación del Ni.
- Relación Líquido–Sólido: Es de suma importancia en este proceso de decantación a contracorriente mantener la relación líquida–sólido en los parámetros establecidos, la relación óptima es:
 - Alimentación Turboareadores:
I Etapa (6,0 a 7,0):1
 - Cono de los sedimentadores:
I Etapa 0,67:1

II, III, IV Etapa Lixiviación 0,69:1

La relación líquida/sólido de 6,6:1 y 2,7:1 en los Turboaireadores garantiza la extracción del níquel y el cobalto en los valores previstos y la relación L/S de 0,67:1 proporciona la separación óptima del licor y el sólido. En caso de la disminución de la relación en las tuberías de descarga o sobrecarga en el mecanismo.

- Tiempo de Lixiviación: El tiempo de retención de los reactivos en las condiciones de reacción es un elemento básico para el desarrollo de las relaciones químicas dentro del reactor. El tiempo de retención de la pulpa en los Turboaereadores es de:

Con todos los turbos como primera etapa = 83 min, a máxima capacidad y con todos los turbos en operación.

- Temperatura de lixiviación: La lixiviación de los metales reducidos se efectúa cuando se verifican las reacciones de oxidación. Todas las reacciones de oxidación son exotérmicas, desprenden gran cantidad de calor y esto trae como consecuencia un incremento de temperatura en los licores. La lixiviación es conveniente solamente con un aumento relativo de temperatura ya que aumentan las pérdidas de amoníaco de las soluciones y se incrementa la solubilidad del Mg. La correcta operación de los enfriadores de licor garantiza en gran medida el balance térmico de la planta.

2.4 Alteraciones Tecnológicas del Proceso

- Crisis de rebozos sucios
- Rebozos sucios:
- Embuchamiento de los sedimentadores.
- Crisis de alto cobalto en los licores (sin separación de cobalto).
- Lavado deficiente de la pulpa.
- Níquel lixiviado deficiente
- Caída de la concentración de amoníaco en el sistema.
- Níquel corrido.

2.5 Causas que inciden en la extracción de níquel y Cobalto en la primera etapa.

Grafico causa-efecto Ichikawa

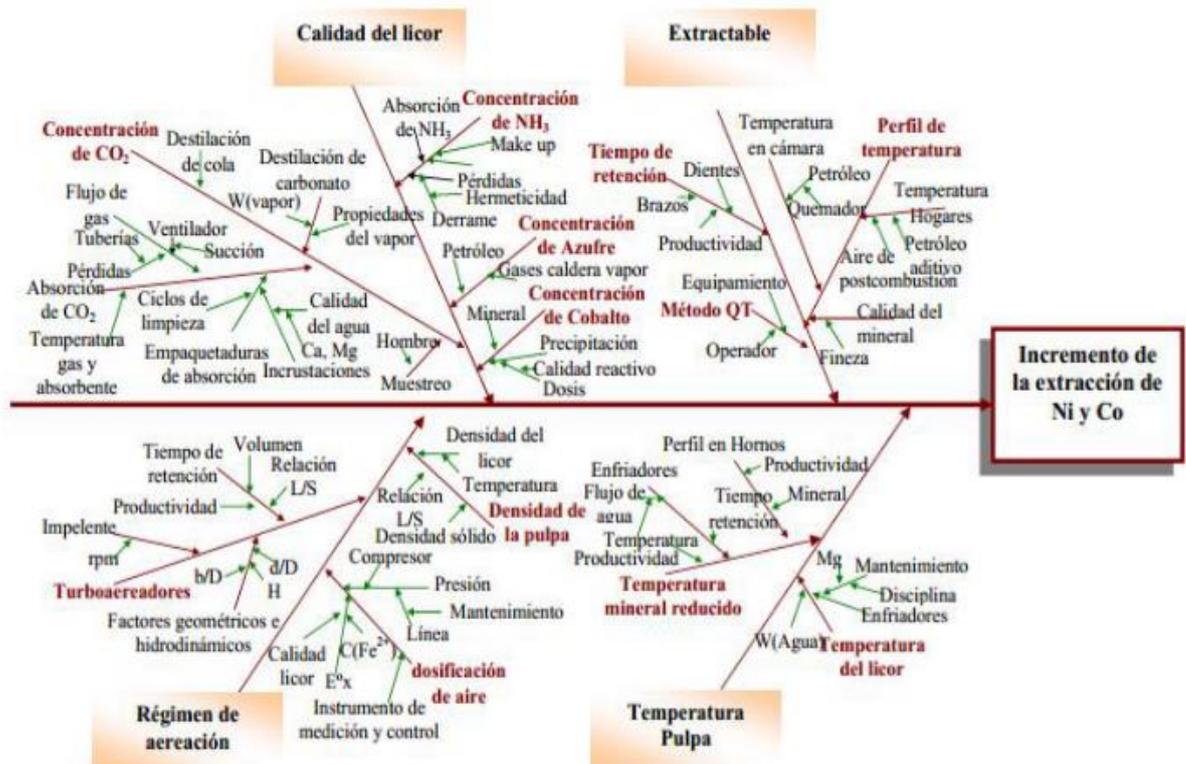


Figura 1 Gráfico causa-efecto Ishikawa. Incremento de la extracción de níquel y cobalto.

Utilizamos esta técnica gráfica para definir y encontrar las causas que provocan un problema, en este caso se refiere a la extracción de níquel y Cobalto en la primera etapa de lixiviación. Para la elaboración de este diagrama usamos la técnica de la tormenta de ideas, basada en el trabajo en grupo, para lo cual nos reunimos varios técnicos y operadores.

El grafico se trata de una estructura similar a una espina de pescado en la cual la característica problemática de la calidad se señala mediante la espina central: Extracción de níquel y Cobalto.

Los factores principales que son las causas fundamentales del problema (Extracción de níquel y Cobalto) se representan, en forma de flechas que parten sesgada desde la espina central:

1. Extractable.
2. Calidad de licor.
3. Régimen de aereación.
4. Temperatura de la pulpa.

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

Tabla 3: Parámetro de operación área de Lixiviación

Parámetros a controlar	Rango establecido
Densidad de la pulpa a la entrada de 2da etapa	1250 g/L - 1350 g/L
Densidad de la pulpa en la descarga de los sedimentadores	(1750 - 1800) g/L
Altura de los sedimentadores	6 m
Velocidad de sedimentación	1,2 -2,0 m/h
Sólido en suspensión en los licores de reboso	(14 a 17) %
Licor producto a Recuperación de amoniaco Amoniaco	(1,025 a 1,04) t/m ³
Níquel	8 – 9,5 g/L
Cobalto	0,04-0,08 g/L
Magnesio	0,23 g/L
Amperaje de los sedimentadores americanos	(2,5- 5) A

Amperaje de los sedimentadores alemanes	(3,0 – 10) A
---	--------------

Tabla 4: Parámetros fundamentales de la extracción de níquel en primera etapa de lixiviación carbonato amoniacal

Parámetros Fundamentales	Unidad	Plan	Año 2024				
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Ni al sistema de Lixiviación	t	420	32	31	34	33	35
Extractable de níquel	%	70	68,42	68,41	67,83	68,89	68,70
Concentración de: níquel en licor producto	g/L	6	5,350	5,14	5,11	5,59	5,41
Concentración de: amoniaco en licor producto.	g/L	45	44,43	39,43	39,42	41,96	42,43
Concentración de: dióxido de carbono en licor producto.	g/L	30	28,36	25,86	24,24	25,89	26,35
Extracción de Ni por: 1ra etapa	%	64	62,71	61,64	61,86	61,56	62,25
Temperatura pulpa tanques de contacto	°C	35,5	35,4	32,43	34,36	34,16	33,23
Densidad pulpa tanques de contacto.	g/L	1118	1118	1120	1115	1119	1118

Flujo de aire primera etapa.	m ³ /kg	0,200	0,188	0,210	0,216	0,184	0,195
Inventario de amoníaco en Proceso.	t	4690,145	4107,790	4685,983	5197,449	4670,898	4556,334
Inventario de dióxido de carbono en el proceso	t	2080,00	1621,80	1901,84	2318,16	2073,54	1808,32

2.5 Método de muestreo y análisis

2.5.1 Determinación de amoníaco en los licores de lixiviación. Manual de Procedimientos Químicos. UEBT-LC-MPQ-2

Este método se utiliza para la determinación de amoníaco en las muestras de los licores de lixiviación, valorando con ácido clorhídrico 0,588 N.

La muestra se pipetea y se transfiere a un erlenmeyer que contenga 50 ml de agua con indicador metil naranja y se valora con una solución de ácido clorhídrico de concentración conocida.

Reactivos

Agua con indicador metil naranja

Ácido clorhídrico 0,588 N

Muestreo

La porción de ensayo se toma directamente de la muestra de laboratorio, la misma debe encontrarse a temperatura ambiente.

Procedimiento.

1. Tomar con pipeta 5 mL de la muestra.
2. Transferir a un erlenmeyer de 250 mL que contenga 50 mL de agua con indicador metil-naranja.

3. Valorar con ácido clorhídrico de concentración conocida hasta cambio de coloración de amarillo a rojo salmón.

El contenido de amoníaco expresado como gramos por litro de NH₃ se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\text{g/L NH}_3 = \frac{V \cdot N \cdot 0.017 \cdot 1000}{V_1} \quad (1)$$

Donde:

V ----- mL de ácido clorhídrico consumidos en la valoración.

N ----- normalidad del ácido clorhídrico.

0,017 ----- mili equivalente del amoníaco.

V₁ ----- volumen de la muestra expresada en mL.

Resolviendo la fórmula anterior obtenemos el factor:

Para HCL = 0,588 N g/l NH₃ = V x 2

Para HCL = 1,176 N g/l NH₃ = V x 10 (alícuota de 2 mL).

Los resultados se dan en número entero.

2.5.2 Determinación volumétrica de níquel en licores amoniacaes. Método complejométrico con la sal disódica del EDTA. Manual de Procedimientos Químicos. UEBT-LC-MPQ-2

Este método ha sido elaborado para el análisis de control de licores amoniacaes cuyo contenido de níquel varía entre 6,0 g/L y 12,3 g/L. Este método ha sido elaborado para el análisis de control de licores amoniacaes cuyo contenido de níquel varía entre 6,0 g/L y 12,3 g/L.

Fundamento del método.

En medio fuertemente alcalino el níquel y el cobalto son valorados cuantitativamente con solución de sal disódica del EDTA, empleando murexide como indicador.

Reactivos.

Hidróxido de amonio (d = 0,90)

Mezcla indicadora de murexide y cloruro de potasio (1+99)

Versenato de sodio (EDTA)

Muestreo:

La porción de ensayo se toma directamente de la muestra del Laboratorio, la misma debe encontrarse a temperatura ambiente.

Procedimiento.

1. Tomar una porción alícuota de 5 ml de la muestra.
2. Transferir a un erlenmeyer de 500 ml de capacidad.
3. Añadir 20 ml de hidróxido de amonio y aumentar el volumen hasta unos 200 ml con agua destilada.
4. Añadir ± 0.1 g de indicador.
5. Valorar con solución disódica del EDTA hasta viraje del indicador a violeta.

Método para los cálculos.

El contenido de níquel expresado como gramos por litros de Ni se calcula por la fórmula siguiente:

$$g/l = \frac{V * M * 0.05871 * 1000}{a} - g/L_{decobalto} \quad (2)$$

Donde:

V ----- mL de EDTA consumidos en la valoración.

M ----- molaridad del EDTA.

0,05871 ----- mili equivalente del níquel

a ----- volumen de la muestra tomada expresada en mL.

$$g/L Ni = V \times F$$

F ----- factor resultante de multiplicar la molaridad del EDTA por el miliequivalente del níquel por 1000 entre el volumen de muestra tomada.

Los resultados se dan aproximados hasta la décima.

2.5.3 Densidad en las pulpas. Manual de Procedimientos Químicos. UEBT-LCMPQ-2

Procedimiento.

Tarar la probeta T₁ (sin tapa).

Pesar la probeta con 1000 ml de la pulpa T₂

Método para los cálculos.

Densidad g/l = T₂ - T₁ (si se parte de un volumen de 1000 mililitros)

Donde:

T₁-----Tara de la probeta

T₂----- Peso de la probeta más muestra

El resultado se da en número entero.

2.5.4 Determinación de dióxido de carbono en licores amoniacales. Método gasométrico. Manual de Procedimientos Químicos UEBT-LC-MPO-5

Este método se utiliza para la determinación gasométrica de CO₂ en licores amoniacales.

Fundamento del método.

El CO₂ contenido en la muestra es desplazado por la acción del H₂SO₄ siendo igualado el volumen de la bureta con el del frasco nivelador. Este volumen es el que se usa para el cálculo. Basado en la ecuación general de los gases
Vieja = nRT

Reactivos:

Agua con indicador

Ácido sulfúrico (1+1)

Muestreo:

La porción de ensayo se toma directamente de la muestra del Laboratorio, la misma debe encontrarse a temperatura ambiente.

Preparación de la porción de ensayo.

1. Tomar con pipeta 2 mL de la muestra
2. Transfírela a un erlenmeyer de 250 mL que contiene 50 mL de agua con indicador.
3. Conecte el erlenmeyer al equipo gasométrico. Añada 2 mL de H₂SO₄ (1+1) y agite vigorosamente; entonces comienza a descender el líquido contenido en la bureta, se igualan los volúmenes en la bureta con el frasco nivelador. Este volumen es el que se usa para el cálculo.

Nota: El H₂SO₄ actúa como catalizador acelerando la reacción y el metil naranja retiene el amoníaco.

Método para los cálculos.

Fórmula para el cálculo del CO₂ con error de 0,1 g/L

$$P * V = n * R * T \quad (3)$$

$$P * V = \frac{C * V_1}{M} * R * T \quad (4)$$

$$C = \frac{P * V * M}{V_1 * R * T} \quad (5)$$

Donde:

C = Concentración del gas CO₂ g/L

P = Presión absoluta en atmósfera

V = Volumen desplazado en mL

V1 = alícuota en mL

M = masa molecular del CO₂

R = Constante universal de los gases ideales

T = Temperatura absoluta en K

Sustituyendo:

$$\text{g/L CO}_2 = \frac{1 * V * 44}{2 * 0.082 * (273 + ^\circ\text{C})} \quad (6)$$

Para una temperatura de 32 °C obtenemos lo siguiente:

$$\text{g/L CO}_2 = V * 0,88$$

Los resultados se dan aproximados hasta la décima.

2.6 Mineral reducido y lixiviado. Determinación de níquel y cobalto.

Método espectrofotométrico por absorción atómica

Se establece para la determinación espectrofotométrica por absorción atómica de níquel y cobalto en muestras de mineral reducido y lixiviado.

Fundamento del Método

La muestra de ensayo es tratada con mezcla de ácidos (HCl + HNO₃), luego de reducir el volumen se transfiere cuantitativamente a un matraz aforado de 250 ml, se enrasa y se homogeniza, filtre. La determinación de níquel y cobalto se realiza directamente de la muestra filtrada.

Reactivos

Mezcla de ácidos (HCl + HNO)

Aparatos y Utensilios

Espectrofotómetro de absorción Atómica.

Lámpara de cátodo hueco de níquel y cobalto.

Quemador de aire-acetileno, con una ranura de 10 cm. de largo

Muestreo

La muestra de ensayo debe pulverizarse hasta una granulometría no mayor de 0,74 mm, secándose por un período no menor de dos horas a una temperatura

de 107 ± 3 °C.

Procedimiento

- 1) Pesar $0,5000\text{g} \pm 2 \times 10^{-4}$ de la muestra.
- 2) Transferir cuantitativamente a un vaso de precipitado de 250 ml de capacidad.
- 3) Añadir 30 mL de mezcla de ácidos (HCl + HNO₃).
- 4) Disolver en la plancha hasta que quede en el vaso de precipitado un volumen de ± 5 ml de solución.
- 5) Enfriar y transferir cuantitativamente a un frasco volumétrico de 250 ml, lave bien el vaso de precipitado, enrase con agua destilada y homogeneice.
- 6) Filtre con papel cualitativo.

Nota: La determinación de níquel y cobalto se realiza directamente de la muestra filtrada.

Tome las alícuotas y realice los análisis guiándose por la siguiente tabla.

Elementos Alícuotas

Níquel 0.5/250 mL

Cobalto 0.5/250 mL

Níquel

$$\% \text{ Ni} = \text{mg/L} \times 0,1$$

mg/L = Lectura del instrumento

0,1 = Factor de cálculo

$$\frac{0,5}{250} = \frac{250}{0,5 \times 10^4} = 0,05 \text{ ----- factor de dilución}$$

Factor de cálculo x p.p.m de la última Standard.

$$0.05 \times 15,00 = 0.750 \text{ ----- factor para el equipo en \%}$$

Cobalto

$$\% \text{ Co} = \text{mg/L} \times 0,05$$

mg/L = Lectura del instrumento

0,05 = Factor de cálculo

$$\frac{0.5}{250} = \frac{250}{0,5 \times 10^4} = \frac{25}{500} = 0,05 \text{----- factor de dilución}$$

Factor de cálculo x p.p.m de la última Standard

0,05 x 15,00 = 0,750 ----- factor para el equipo en %

2.7 Método empleado para determinar el contenido de los elementos valiosos.

Níquel

% Ni = mg/L x 0,167

mg/L = Lectura del instrumento

0,167 = Factor de dilución

$$\% = \frac{ppm * 250ml * 50ml}{0.5g * 15ml * 10^4}$$

F = 0.167

% = ppm x 0.167

Valor del última Standard 15 ppm x F (0.167) = 2.51 %

El valor del último Standard es el que se introduce en la computadora para leer directo en %

Cobalto

% Co = mg/L x 0,05

mg/L = Lectura del instrumento

0,05 = Factor de cálculo

Níquel

% Ni = mg/L x 0,167

mg/L = Lectura del instrumento

0,167 = Factor de dilución

$$\% = \frac{ppm * 250ml * 50ml}{0.5g * 15ml * 10^4}$$

F = 0.167

% = ppm x 0.167

Valor del último Standard 15 ppm x F (0.167) = 2.51 %

El valor del último Standard es el que se introduce en la computadora para leer directo en %

Cobalto

$$\% \text{ Co} = \text{mg/L} \times 0,05$$

$$\text{mg/L} = \text{Lectura del instrumento}$$

$$0,05 = \text{Factor de cálculo}$$

$$\frac{0,5}{250} = \frac{250}{0,5 \times 10^4} = \frac{25}{500} = 0,05 \text{----- Factor de dilución}$$

Factor de cálculo x p.p.m de la última Standard

$$0,05 \times 15,00 = 0,750 \text{ ----- factor para el equipo en \%}$$

2.8 Técnica de absorción:

Para el análisis utilice solamente reactivos de grado analítico reconocido y agua grado 3, según establece la NC ISO 3696.

- Ácido clorhídrico (HCl) ρ_{20} (1,18 a 1,19) g/mL.
- Ácido nítrico (HNO₃) ρ_{20} (1,40 a 1,41) g/mL.
- Ácido clorhídrico (1+1): En un recipiente de 1 L que contenga 500 mL de agua, añada lentamente 500 mL de ácido clorhídrico (5.1). Homogeneizar.
- Ácido clorhídrico (HCl), solución 5 mol/L: En un frasco volumétrico de 1 L de capacidad, que contenga aproximadamente 200 mL de agua, adicione 416 mL de ácido clorhídrico (5.1). Enrasar con agua y homogeneizar.
- Mezcla de agua, ácido clorhídrico y ácido nítrico: En un frasco que contenga 1 L de agua, añada lentamente 1 L de ácido clorhídrico.
- (5.1). Enfríe y añada 0,1 L de ácido nítrico (5.2). Homogeneizar durante una hora.

- Solución de ácido nítrico 5 mol/L: En un frasco volumétrico de 1 L de capacidad, que contenga aproximadamente 200 mL de agua, adicione 313 mL de ácido nítrico (5.2). Enrasar con agua y homogeneizar.

Conclusiones Parciales del capítulo 2

1. El Sistema de Gestión de la Calidad del laboratorio analítico permite que las determinaciones de composiciones químicas sean confiables y reproducibles, elevando la confiabilidad de los resultados.
2. Se determinó el volumen de níquel en licores amoniacaes por el método complejométrico con la sal disódica del EDTA tomado del manual de procedimientos químicos.
3. Se utilizó el método espectrofotométrico por absorción atómica para la determinación de níquel y cobalto de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Capítulo 3 Análisis y discusión de los resultados.

En este capítulo se muestran los principales resultados de la investigación, así como el análisis realizado a cada una de las variables de estudio.

3.1 Análisis del níquel que llega al sistema de lixiviación

El comportamiento del níquel que llega al sistema de lixiviación se muestra la figura 3.1.

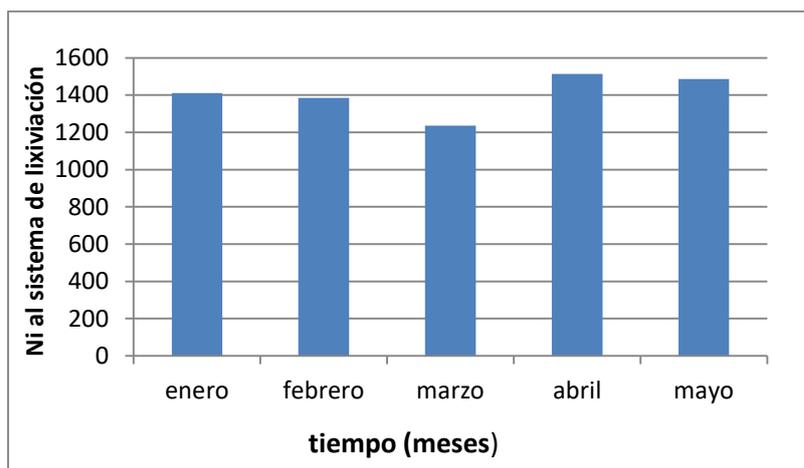


Figura 3.1 Ni al sistema de lixiviación

El contenido de níquel que llega al proceso de lixiviación debe ser como promedio de 14500,00 toneladas, como se observa en la figura 3.1, en los 3 primeros meses de estudio el valor se encuentra por debajo a este, lo que fue provocando bajos inventarios en silos, debido a problemas en el suministro de mineral de los silos a las tolvas de alimentación de los hornos (compresores en mal estado) pero se nota que en el mes de abril hay un ligero incremento del níquel que llega al sistema motivado por la sustitución de los compresores en el área de los silos mejorando el bombeo de mineral y a las reparaciones capitales que se realizaron en el propio mes a 4 hornos, que aumentó la productividad. En los meses de enero, febrero y marzo se observa una disminución significativa de este parámetro, motivado por bajo promedio de cámara efectiva en la zona de reducción por falta de materiales refractarios, inestabilidad operativa por bajos inventarios de mineral en silos, por problemas en la planta de secaderos en las unidades de molienda y tupiciones en las canales de lixiviación en el bajo contenido de níquel al sistema provoca un uso irracional del mismo y a la vez un sobre consumo de reactivo y energía.

3.2 Análisis del extractable de Ni y Co

En la figura 3.2 y 3.3 se muestra el contenido de extractable de Ni y Co para los meses desde enero a mayo del 2024.

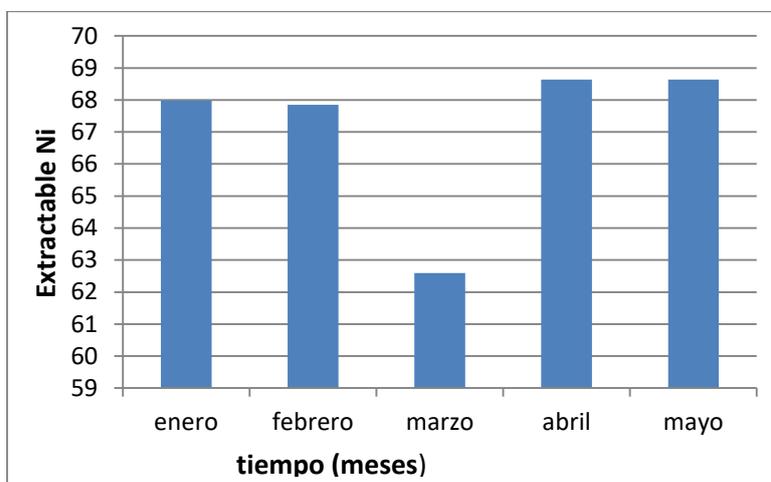


Figura 3.2 Extractable Ni.

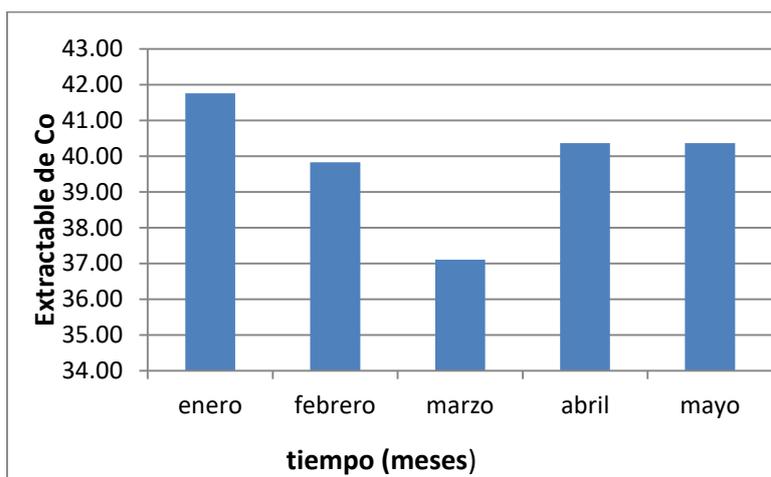


Figura 3.3 Extractable Co.

La necesidad de controlar el porcentaje de reducción del mineral al proceso de lixiviación, para el pronóstico de la determinación de las extracciones de níquel en las diferentes etapas de lixiviación y lavado se muestra en las figuras 3.2 y 3.3 Como se observa la variación del extractable en el tiempo estudiado, es significativa, pero se encuentra por debajo de lo planificado, en el mes de marzo hubo un descenso esto se debe a fallos de mineral al proceso por bajos inventarios en las tolvas por problemas en los equipos para el transporte del mineral al proceso de reducción. En los meses de abril y mayo se observa el

mejor resultado durante el periodo estudiado debido, a mejoras en la calidad del mineral alimentado y en la estabilidad operativa de los hornos. Desde enero hasta mayo no se reportan mejoras significativas en el extractable, ya que se opera con incumplimiento en los perfiles térmicos por hornos, debido a operarse parte de los hornos, con un número bajo de cámaras efectiva, por falta de materiales refractarios. Afectaciones en el bombeo de mineral de los silos a las tolvas de alimentación de los hornos por bajos inventario y problemas de bombeo. Así como variaciones en la calidad del mineral e Incumplimiento en la granulometría por problemas en las unidades de molienda en la planta de preparación de mineral.

3.3 Análisis de la eficiencia de extracción del Ni y Co.

En las figuras 3.4 y 3.5 se muestra la eficiencia de extracción del Ni y Co

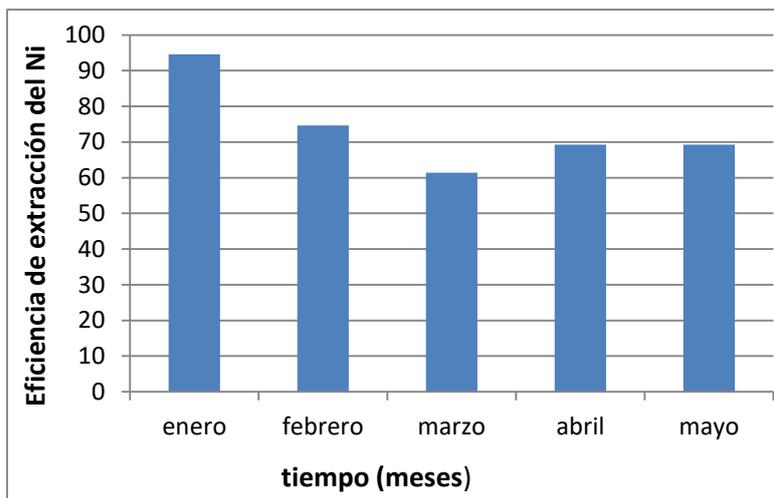


Figura 3.4 Eficiencia de extracción del Ni

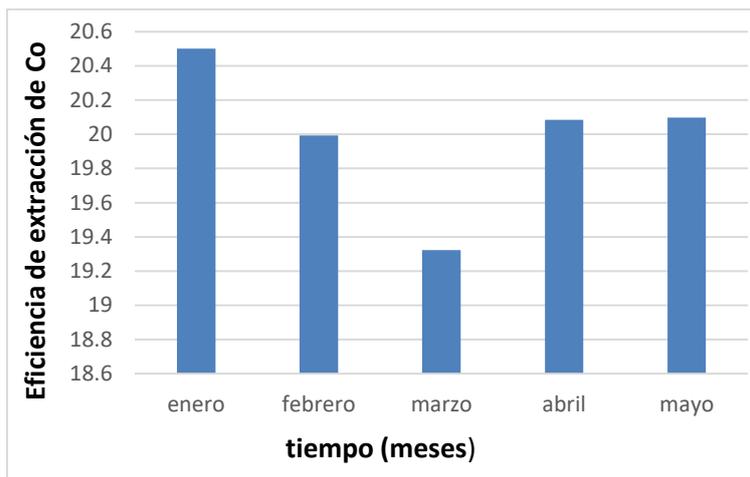


Figura 3.5 Eficiencia de extracción de Co

En las figuras 3.4 y 3.5 se muestra la eficiencia metalúrgica del proceso con respecto al coeficiente de extracción de Ni y Co de acuerdo al plan de producción del mes. Como se observa en la figura 3.5 se muestra una disminución de la eficiencia de extracción del Ni en los meses de febrero a mayo con respecto a enero siendo el valor de este de 94, 60 % y el porcentaje de extracción más bajo corresponde a marzo con un 61, 36 %. Las principales causas de esta disminución en la eficiencia de extracción se debe a la ley del mineral que en los últimos meses es inferior a 1, 2 %. Además del proceso de homogenización del mineral que no se ha realizado de la manera adecuada como está establecido por el manual de operación, también por falta de mantenimiento de los turboaeradores salieron de operación una miniserie completa de estos equipos. El petróleo que se usa para reducir el mineral en los últimos meses tiene un alto contenido de azufre por lo que este es mucho más estable que el carbonato amoniacal dando lugar a la formación de un sulfato pasando a la solución que se lixivia. No se alimenta la cantidad de aire en los turboaeradores que se necesita para lixiviar por errores de operaciones siempre es mayor o inferior al que realmente se necesita.

3.4 Análisis de la densidad de la pulpa.

En la figura 3.6 se muestra la densidad de la pulpa con respecto a los meses de enero a mayo del 2024.

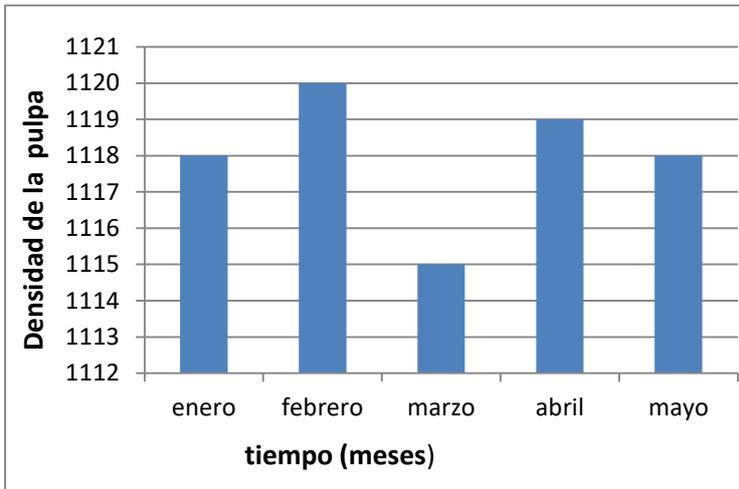


Figura 3.6 Densidad de la pulpa

El comportamiento de la densidad de la pulpa de los tanques de contacto en la primera etapa de lixiviación se muestra en la figura 3.6, este parámetro es muy importante para la lixiviación, se nota que, aunque varió, se mantiene dentro de la norma, menor de 1115 g/L.

3.5 Análisis de la temperatura de la pulpa.

En la figura 3.7 se muestra el análisis de la temperatura de la pulpa.

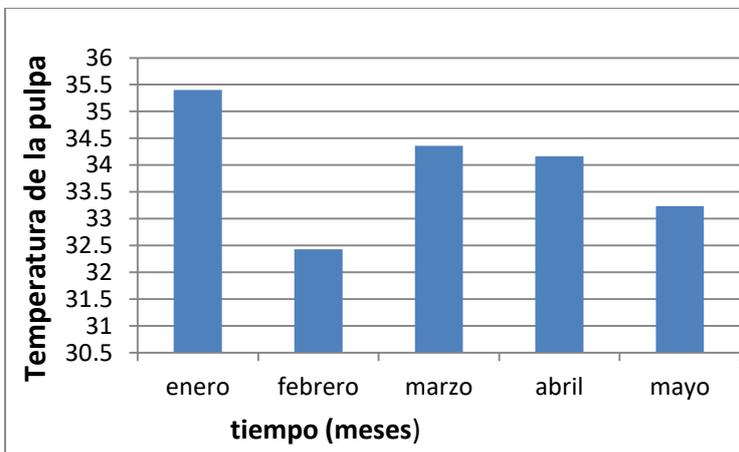


Figura 3.7 Temperatura de la pulpa

La temperatura es de la pulpa de los tanques de contacto a la primera etapa de lixiviación se muestra en la figura 3.7, como se observa se mantiene en norma, excepto en febrero que se tiene una pequeña desviación, al disminuir a 32.4 °C

lo que provoca mayor densidad en la pulpa y por ende mala distribución de la misma hacia los turbos.

3.6 Análisis del consumo de aire.

En la figura 3.8 se muestra el consumo de aire empleado durante el proceso de lixiviación alimentado en los turboaeradores.

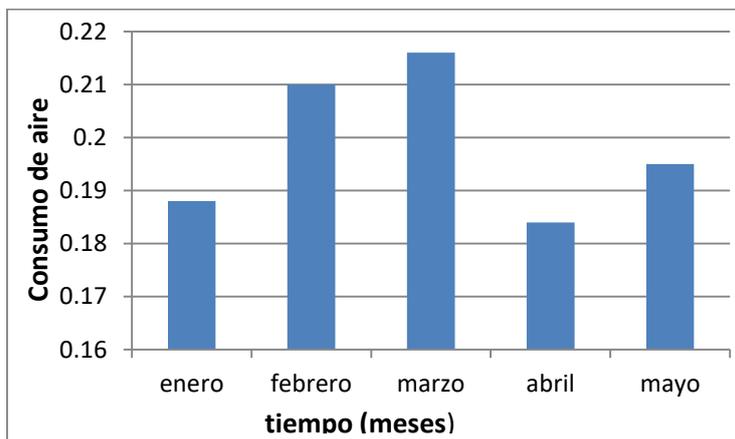


Figura 3.8 Consumo de aire

El consumo de aire necesario para la lixiviación en la primera etapa, se muestra en la figura 3.8, como se observa en el mes de marzo, es de mayor consumo y está relacionado con, el valor mínimo de níquel extractable y cantidad de níquel a los tanques de contacto, en todos los meses se operó con un flujo por encima de la norma (0,160 m³/kg)

3.7 Análisis del contenido de amoníaco y dióxido de carbono en el licor producto.

En la figura 3.9 y 3.10 se muestra el contenido de amoníaco y dióxido de carbono en el licor producto.

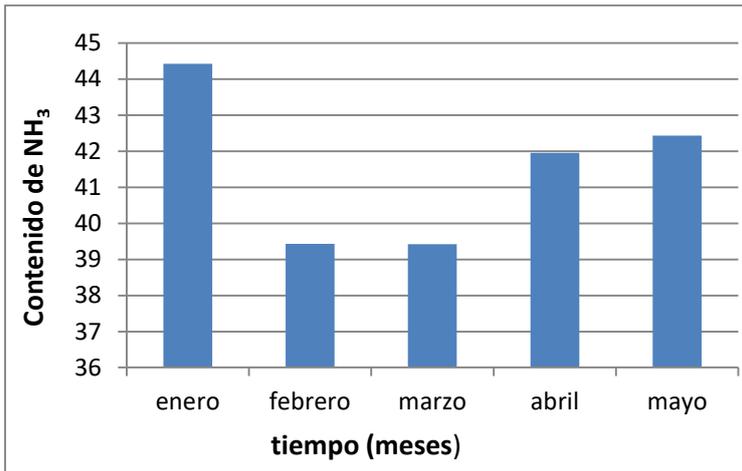


Figura 3.9 Contenido de NH₃

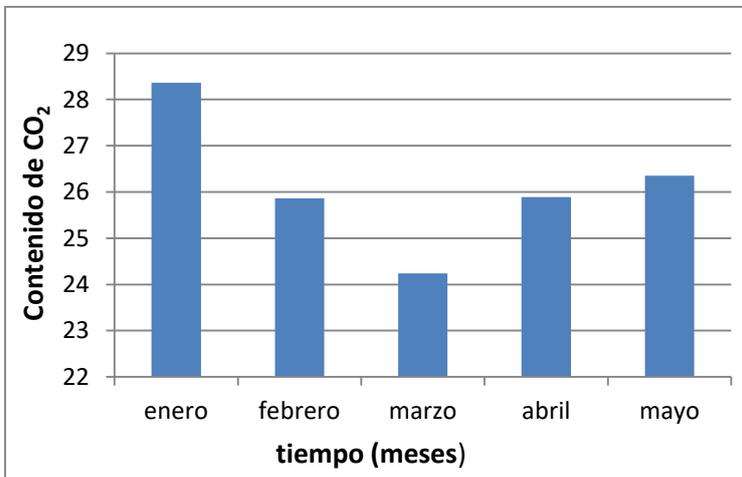


Figura 3.10 Contenido de CO₂

El comportamiento del amoníaco y dióxido de carbono en la primera etapa de lixiviación se muestra en las figuras 3.9 y 3.10, este licor carbonato amoniacal es utilizado para la lixiviación del níquel y cobalto en el proceso carbonato amoniacal, en el mes de enero se logra operar con más de 44 g/L, favorecido por el mayor inventario de este reactivo en el proceso. Como se observa la variación de la concentración de este parámetro está relacionada, con las variaciones del inventario de amoníaco y dióxido de carbono en el sistema, observándose en los meses de febrero y marzo como los de las concentraciones más bajas y una ligera mejora en los meses de abril y mayo debido al aumento del amoníaco y el dióxido de carbono en el proceso. Estas variaciones en la concentración del licor amoniacal inciden en las extracciones de la primera etapa.

3.8 Análisis del inventario de amoníaco y dióxido de carbono en el sistema de lixiviación.

En las gráficas 3.11 y 3.12 se muestra el inventario del consumo de amoníaco y dióxido de carbono en el sistema de lixiviación.

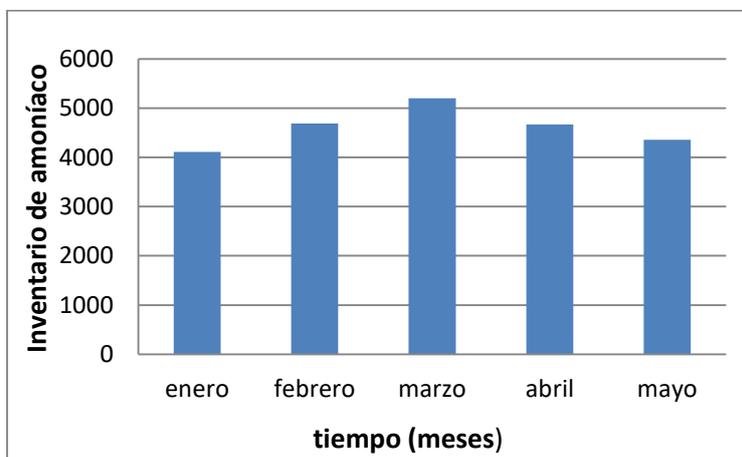


Figura 3.11 Inventario de amoníaco

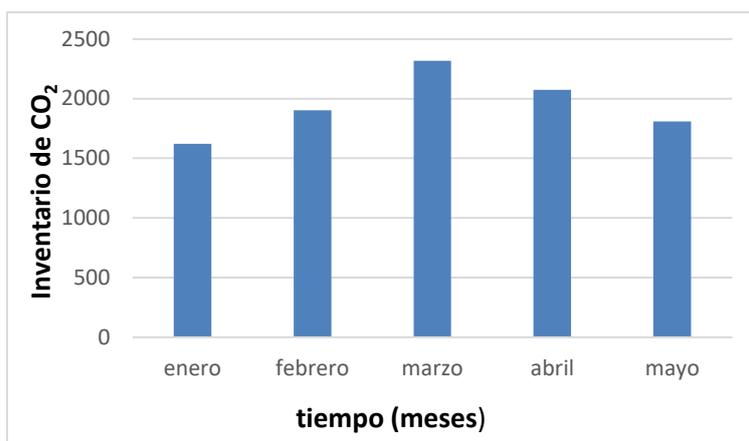


Figura 3.12 Inventario de dióxido de carbono

El comportamiento de los inventarios de amoníaco y dióxido de carbono en el proceso se muestra en la figura 3.11 y 3.12, como se explica anteriormente en el mes de enero se logra el mayor inventario de amoníaco dióxido de carbono en el proceso, debido a la estabilidad lograda en las plantas de lixiviación cobalto y recuperación de amoníaco. En enero y mayo se obtuvieron los resultados más bajos, ya que se operaron con alta dilución los alambiques de licor y cola, así como inestabilidad en el suministro de dióxido de carbono al sistema de absorción por líneas en mal estado. En el mes de marzo se observa

una recuperación en los inventarios, estabilizándose estos valores en los meses de febrero y abril debido a la estabilidad en el suministro de dióxido de carbono al sistema de absorción de la planta de recuperación de amoníaco, que permitió mejorar su eficiencia.

3.9 Análisis de las extracciones en el período

En el mes de enero del 2024 de un plan de 60,65 % se obtiene 50,23 % con una diferencia de (-10,42), se puede analizar que de las mejores concentraciones de amoníaco y dióxido de carbono en el licor producto, un extractable mayor que en los tres últimos meses analizados, sin embargo es el de peores resultados en los resultados de extracciones en primera etapa, la densidad y temperatura de la pulpa a la primera etapa de lixiviación el flujo de aire a los turbos se mantuvieron en norma, según los datos de los reportes de operación los resultados de las extracciones, incidiendo los problemas operativos presentados en los turboareadores por alto nivel de sólidos (Arenamiento) y las horas turbos pérdidas por tupiciones, tranques, mantenimiento y fallos energéticos. Cuando ocurren estas interrupciones disminuye el tiempo de residencia de la pulpa en el proceso de lixiviación, afecta además la estabilidad operativa del proceso y los resultados del lixiviado. En el mes de febrero de un plan de 65,07 % se obtiene 64,17 % con una diferencia de (-0,90) y en el de marzo un plan de 64,20 % se obtiene 63,39 % con una diferencia de (-0,81). En estos meses se obtienen extracciones bajas debido al deterioro del inventario de amoníaco y dióxido de carbono en el sistema, que trae aparejado las bajas concentraciones del reactivo en la primera etapa, a esto se une además los problemas operativos presentados en los turboareadores aún no resueltos por alto nivel de sólidos (Arenamiento) y las horas turbos pérdidas por tupiciones, tranques, mantenimiento y fallos energéticos. En marzo de un plan de 63,99 % se obtiene 63,95 % con una diferencia de (- 0,04) con relación al plan disminuye la diferencia en la extracción, esto está dado por mejora en el inventario de amoníaco en el sistema, que favorece la concentración del reactivo en la primera etapa, y se logra una operación estable, con menor gasto de mantenimiento y posiblemente mayor extracción de níquel, esto unido a que disminuyó el

tonelaje a la planta por problemas en los procesos anteriores lo que aumento el tiempo de residencia de la pulpa en el proceso de lixiviación favoreció las extracciones. En los meses de abril y mayo de un plan de 64,00 % se obtiene 60,66 % con una diferencia de (-3,34), en esto incide la incorrecta operación del proceso, a las bajas concentraciones de amoníaco en primera etapa de lixiviación, falta de mantenimiento de los turboaeradores.

Conclusiones Parciales del capítulo 3:

1. Se realizó un análisis a los resultados obtenidos en el control realizado a los parámetros medidos en la planta de lixiviación y lavado de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
2. Se analizó que la eficiencia de extracción de enero es de 94,60 % y el porcentaje de extracción más bajo corresponde a marzo con un 61,36 %.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se determinó de acuerdo a los resultados de extracción de Ni y Co de acuerdo al plan de producción del mes una disminución de la eficiencia de extracción del Ni en los meses de febrero a mayo con respecto a enero siendo el valor de este de 94,60 % y el porcentaje de extracción más bajo corresponde a marzo con un 61,36 %. Para el Co eficiencia de extracción en enero y febrero fue de 20,5 % y 20 % respectivamente; sin embargo hubo una disminución en el mes de marzo a un 20,1 % y posteriormente volvió a incrementar en un 20,1 %.
2. Se determinó que en el plan de producción en el mes de enero del 2024 de un plan de 60,65 % se obtiene 50,23 % con una diferencia de (-10,42). En el mes de febrero de un plan de 65,07 % se obtiene 64,17 % con una diferencia de (-0,90) y en el de marzo un plan de 64,20 % se obtiene 63,39 % con una diferencia de (-0,81). En estos meses se obtienen extracciones bajas debido al deterioro del inventario de amoníaco y dióxido de carbono en el sistema, que trae aparejado las bajas concentraciones del reactivo en la primera etapa. En los meses de abril y mayo de un plan de 64,00 % se obtiene 60,66 % con una diferencia de (-3,34)
3. Se analizó que entre las principales causas de la baja productividad de la planta se debe a la incorrecta operación del proceso, de concentraciones en primera etapa de lixiviación, falta de mantenimiento de los turboaeradores y una mala distribución de la pulpa de mineral en la primera etapa de lixiviación.

RECOMENDACIONES

1. Capacitar a los operadores de la planta a través de curso, con el objetivo de lograr una correcta operación del proceso.
2. Diseñar un plan de mantenimiento para los principales equipos que intervienen en el proceso de lixiviación y lograr que no disminuya el plan de producción.
3. Lograr una correcta distribución de la pulpa en la primera etapa de lixiviación, con el objetivo de lograr una mayor extracción.

Bibliografía

- 1- Magaña (2013), Aplicación de la velocidad de aeración para la lixiviación amoniacal de Ni y Co a escala industrial. Tecnología Química.
- 2- Chang Cardona y Rojas Vargas; 2009: La Lixiviación del proceso CARON: síntesis del conocimiento para su perfeccionamiento industrial. parte II. Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Cuba pp. 96-105
- 3- Marrón (2022): Evaluación del proceso de reducción de mena laterítica con alta complejidad mineralógica.
- 4- Castellanos S. Estudio de la intensificación de la lixiviación carbonato amoniacal y su introducción en la práctica
- 5- Reyes (2022): Propuesta de uso de los residuos sólidos generados por la empresa CIMEX en Moa. Caso de estudio tienda El Minero.
- 6- Mónica Elaine García Molina. 2022: Propuesta del desarrollo docente para prácticas de laboratorios virtuales en la asignatura Análisis Físico Químico.
- 7- Jiménez (2023): Evaluación del ensemillamiento en el proceso de precipitación del sulfuro de níquel y cobalto.
- 8- San Martín (2019) realizó un estudio de procesos metalúrgicos orientados a la producción de níquel.
- 9- DONG. (2018): The Effect of Additives on Extraction of Ni, Fe and Co from Nickel Laterite Ores.
- 10- Baile (2013): Parámetros que influyen en las extracciones de níquel en la primera etapa de lixiviación carbonato amoniacal de la empresa René Ramos Latourt.
- 11- MENÉS, G. 1998. Separación de Níquel y Cobalto por el método de formación de Sulfuros en las soluciones amoniacales. Informe técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa
- 12- MAGAÑA, M. 2001: Revisión del circuito de precipitación de cobalto de RRL. Informe técnico.

13- SUÁREZ, A. 1998: Análisis del proceso de precipitación de sulfuros a partir de los licores carbonato amoniacaes. Tesis en opción a Master en ingeniería de procesos. Universidad de Oriente.

14- RODRÍGUEZ C. 1984: Separación de níquel y cobalto en los licores de la fábrica Cmdte, Ernesto Che Guevara”

15- ROMERO, U. 2008: Influencia del aire en la eficiencia de la precipitación selectiva del cobalto en la Empresa Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.y Geología No 3-4.

16- SAMALEA, G y otros. 1974: Separación de cobalto de soluciones amoniacaes con ácido sulfhídrico en reactores tubulares. La minería en Cuba.

17- TORRES, A Y L. CORRALES. 2000: Aumento de la productividad de la planta de separación de cobalto. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.

18- LEÓN, M. 2008: Evaluación a escala de laboratorio del ensemillamiento para la precipitación de cobalto en los licores de 2da etapa de lixiviación de la Empresa “Comandante René Ramos Latour”. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.

19- Manual de operaciones de la UEB Lixiviación-Cobalto, ECG, 2021.

20- Almaguer A., (1993): Estudio de la distribución de hierro, níquel y cobalto en los tamaños de los granos que componen el perfil de la corteza de interperismo de las rocas ultramáficas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía. Revista Minería y GEOLOGÍA. Volumen 2.