



Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

**Tema: Evaluación del ensemillamiento en el
proceso de precipitación del sulfuro de níquel
y cobalto**

Autor: Roxana Jiménez Olivero

Tutor: Dr.C. Eulícer Fernández Maresma

Consultante: Ing. Yadileydis Roché Gonzales

Moa 2023

Año 65 de la Revolución



Declaración de Autoridad

Yo: Roxana Jiménez Olivero

Tutores: Dr. C. Eulícer Fernández Maresma

Ing. Yadileydis Roché Gonzales

Autor de este trabajo de diploma titulado: **Evaluación del ensemillamiento en el proceso de precipitación del sulfuro de níquel y cobalto** perteneciente a la ECG, certifico su propiedad intelectual a favor de la Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, la cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Diplomante

Roxana Jiménez Olivero

Tutor

Dr. C. Eulícer Fernández Maresma

Tutor

Ing. Yadileydis Roché Gonzales



Agradecimientos

Agradezco de todo corazón a:

- Todos los que en el transcurso de esta investigación brindaron sus conocimientos y experiencias, relacionada con este tema.
- Mis tutores Dr. C. Eulícer Fernández Maresma e Ing. Yadileydis Roché Gonzales quienes me brindaron todo su apoyo, su colaboración y experiencia en este trabajo.
- Todos los ingenieros de la empresa Ernesto Che Guevara que colaboraron de una forma u otra con el buen desarrollo de este trabajo.



Dedicatoria

A: Fidel Castro Ruz y a nuestra hermosa Revolución por darme la oportunidad de hacer un sueño realidad.

A: Mis padres que durante toda mi vida me han dado la mejor educación.

A: El claustro de profesores que durante la carrera dieron lo mejor de sí para mi aprendizaje.

A: Mi esposo que me dio todo el apoyo incondicional y es mi fuente de inspiración.

A: Los compañeros de aula que también me dieron su ayuda.

En fin a todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido al desarrollo de este trabajo.



Pensamiento

“Hay que trabajar para enriquecer los conocimientos adquiridos durante los estudios, para saberlos aplicar en la práctica de manera creadora y recordar que la realidad es siempre mucho más rica que la teoría, pero que la teoría es siempre imprescindible para desarrollar el trabajo profesional de un modo científico”.

Fidel Castro Ruz.



Resumen

El trabajo investiga 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.

Palabras claves: semilla, níquel, cobalto, sulfuro, precipitación.



Summary

This paper approaches the precipitation of the I sulfurate of nickel and cobalt from Commander Ernesto Che Guevara Nickel Processing company's leaching and washing plant II stage liquor. Laboratory and industrial scale experiments were carried out in order to know the physical chemical characteristics of the sulfides obtained by the use of the complete factorial design for planning the experiments. Besides, it shows an analysis of the results obtained at industrial scale with the system evaluated.

Nickel and cobalt contents on the sulfide obtained by industrial scale assessment, shows a product with high level of cobalt and nickel-cobalt ratio. These results confirm the results obtained at laboratory scale with seeding injection.

Key words: seed, nickel, cobalt, sulfide, precipitation.



Tabla de contenido

Declaración de Autoridad	II
Agradecimientos.....	III
Dedicatoria	IV
Pensamiento	V
Resumen	VI
Summary	VII
Introducción General	1
Capítulo I: Marco Teórico de la Investigación.....	3
1.1 Tecnología Carbonato Amoniacal.....	3
1.1.1 Desarrollo de la tecnología carbonato amoniacal.....	3
1.2 Esquemas tecnológicos que emplean la separación de cobalto.....	4
1.2.1 Flujo tecnológico de la planta de separación de cobalto de la ECG	7
1.3 Antecedentes de la investigación	8
Conclusiones del Capítulo I	12
Capítulo II: Materiales y Métodos	13
2.1 Materiales y equipos	13
2.2 Análisis químico por el método espectrofotómetro de absorción atómica.	17
2.2.1 Fundamento del método de Absorción atómica.	18
2.3 Elementos para la construcción de la instalación experimental a escala de laboratorio.....	19
2.3.1 Descripción de la instalación experimental a escala de laboratorio.	19
2.3.2 Datos técnicos del agitador.	19
2.4 Diseño estadístico.....	20
Conclusiones del Capítulo II.	24
Capítulo III: Análisis y Discusión de los Resultados	25
3.1 Evaluación de los resultados obtenidos durante el año 2020.	25
3.2 Resultados obtenidos a escala de laboratorio para la precipitación sin inyección de semilla y análisis de los mismos.	28
3.3 Resultados obtenidos a escala de laboratorio en la precipitación de cobalto con inyección de semilla y análisis de los mismos.	30
3.4 Resultados obtenidos con la evaluación a escala industrial aplicando precipitación de níquel y cobalto al 20 y 30 %.	31
3.5 Análisis de los parámetros de operación de las planta antes, durante y después de la realización de los experimentos.....	34



Conclusiones del Capítulo III.	35
Conclusiones Generales	36
Recomendaciones.....	37
Bibliografías.....	38
Anexos	41



Introducción General

La industria minero metalúrgica de los minerales lateríticos, como principales procesos de extracción de níquel y cobalto desarrolló los procesos:

1. Lixiviación ácida a presión.
2. Lixiviación carbonato amoniacal.

La tecnología carbonato amoniacal, diseñada en sus inicios para la extracción de níquel, la presencia de cobalto en el producto final es considerada como una impureza y constituye una pérdida económica importante para el proceso.

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.

Existen varias tecnologías que emplean la separación de cobalto de soluciones amoniacales, tal es el caso del proceso de Queensland, Tocantins, Comandante René Ramos Latourt, Sered y Nonoc (Sherrit). Pero sólo el proceso de Nonoc y la Comandante René Ramos Latourt han empleado la separación de cobalto en los licores de la segunda etapa de lixiviación.

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 90 %.
- Incrementar la eficiencia metalúrgica del cobalto 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**:

- No se cuenta con un estudio de rigor que permita evaluar la efectividad del esquema de precipitación de cobalto en segunda etapa instalado en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Objeto de estudio:

- Proceso de precipitación de sulfuro a partir de los licores de segunda etapa de la planta de Lixiviación y Cobalto de la Empresa de Níquel, “Comandante Ernesto Che Guevara”.

Estos elementos permiten establecer como **hipótesis de la investigación** la siguiente:

- Si se analizan los factores mencionados con anterioridad, que influyen el proceso de precipitación del sulfuro se puede determinar su influencia en este y mejoran la calidad del producto final de la planta.

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

- Analizar la influencia de factores, porcentaje de precipitación de sulfuro y porcentaje de recirculación de sulfuro en forma de semilla en la precipitación de cobalto en los licores de la segunda etapa de la planta Lixiviación y Cobalto a escala de laboratorio e industrial, para el mejoramiento del proceso.

Y como objetivos específicos:

- Caracterizar la materia prima, licor de segunda etapa de la planta de Lixiviación y Cobalto para un 20 y 30 % de precipitación de cobalto.
- Caracterizar el sulfuro de níquel y cobalto precipitado a escala industrial a partir del licor de segunda etapa de la planta de Lixiviación y Cobalto de la Empresa de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara”.

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

- Búsqueda bibliográfica relacionada con la temática tratada en la investigación.
- Recopilación de datos del proceso antes y después de puesta en marcha. El esquema de precipitación de cobalto fase II.
- Tratamiento estadístico de los datos.
- Análisis de los resultados de la investigación.



Capítulo I: Marco Teórico de la Investigación.

Introducción

El presente capítulo se describe un resumen de las principales plantas con tecnología carbonato amoniacal (Caron) que han operado u operan en la actualidad en el mundo y tratan la separación del cobalto a partir del licor amoniacal y además un resumen de los principales estudios relacionados con el tema de la separación de cobalto en solución amoniacal por medio de la precipitación selectiva

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 Separación de Cobalto

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 económica 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 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 Processing Corporation con la Nacional Lead Company y Fomento de Minerales



Cubanas, 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.

1.2 Esquemas tecnológicos que emplean la separación de cobalto

La extracción de cobalto no fue contemplada en el proceso Caron original (Caron, 1950) pero, con el fin de incrementar su eficiencia, fue incorporado en las plantas de procesamiento de minerales lateríticos a partir de la década del 70 (Nonoc, Filipina; Sered, Checoslovaquia; Queensland, Australia. (Sherritt, 1992). Para lograr la descobaltización de los licores, se han puesto en explotación diferentes esquemas tecnológicos que responden a particularidades del proceso, a continuación se resumen los más importantes.

• Esquema Sherritt de descobaltización

Su objetivo principal es la separación máxima de cobalto de los licores productos de la lixiviación con dos fines: evitar la contaminación por cobalto del producto final y lograr aprovechar las ventajas económicas que ofrece la comercialización de este metal (Sherritt, 1992).

La tecnología se basa en dos etapas en serie de separación de cobalto en reactores tubulares utilizando sulfuro de hidrógeno como agente precipitante. En la primera etapa es descobaltizado parte del licor producto de la planta de lixiviación. En la segunda, es enriquecido el sulfuro obtenido en la etapa anterior y a la vez, es mezclado y descobaltizado el licor restante de primera etapa junto al de segunda etapa de lixiviación.

Aproximadamente 2/3 partes del licor de primera etapa de lixiviación es enviada a la segunda etapa de separación de cobalto, mientras que su licor producto es reciclado a tanques de contacto. En ambas etapas el licor a descobaltizar es mezclado, previo a su entrada en el reactor tubular, con una recirculación del sulfuro mixto obtenido en la propia etapa.

El esquema Sherritt es utilizado en varios complejos que utilizan la tecnología carbonato amoniacal a nivel mundial: Nonoc, Filipina y PTPNI en Indonesia. Se caracteriza por su sencillez, permite obtener sulfuros mixtos con una relación másica níquel aproximadamente 1,5 - 2 y logra una eficiencia de recuperación del cobalto superior al 97 % con muy bajas precipitaciones de níquel.



• **Esquema Queensland de separación de los metales**

Yabolú, Australia ha desarrollado, dentro del esquema Caron, un proceso nuevo para la separación de cobalto y níquel del licor amoniacal (Sherritt, 1992), en el que combinan la extracción por solventes y la precipitación de sulfuro.

El licor producto de la planta de lixiviación, inicialmente es tratado para la separación del manganeso y la sílice, luego se somete a calentamiento con el objetivo de eliminar el amoniaco, a causa de los perjuicios que este ocasiona en la separación del níquel con el solvente orgánico. Posteriormente la solución es clarificada, enfriada, aireada, filtrada y tratada con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para lograr el paso de los iones cobaltosos remanentes a cobálticos. Este paso minimiza las pérdidas del solvente orgánico que tiende a formar complejos muy estables de cobalto (I).

El níquel es separado a través de la extracción por solvente y el cobalto es precipitado con hidrógenosulfuro de amonio a partir del refinado, obteniéndose un sulfuro de cobalto con relación másica de níquel - cobalto igual a 1: 40. Posteriormente el níquel es eliminado de la fase orgánica usando un licor fuerte carbonato amoniacal, lográndose concentraciones aproximadas de 75 g/L de níquel que son alimentadas a posteriores etapas de concentración del metal.

Estas características, unidas a varias modificaciones tecnológicas en otras partes del proceso, hacen del complejo metalúrgico Queensland Níquel Inc., el más eficiente entre las tecnologías Caron. (Reid, 1979).

• **Esquema Outokumpu Oy de separación**

El proceso de Tocantins, Brasil, ha puesto en marcha otra variante de separación de los metales dentro del proceso Caron, la secuencia tecnológica aplicada a esta planta, hasta obtener el carbonato básico de níquel (BNC), es similar a las llevadas a cabo en los procesos Caron tradicionales, luego el carbonato básico de níquel es redissuelto en el electrolito gastado proveniente de la planta de electrólisis de níquel y pasa al proceso de separación de cobalto, donde este metal es separado a través de la extracción por solventes y continua a posteriores etapas de electrólisis, mientras que la solución descobaltizada pasa a la planta de electrólisis de níquel (Sherritt,1992; Catasus,1996).



• **Esquema Sered de separación de los metales**

Sered, antigua República Checoslovaca, empleó durante muchos años un proceso de descobaltización basado en la precipitación selectiva de níquel y cobalto utilizando el sulfuro de sodio (Na_2S) como agente precipitante, de relativa abundancia en Europa. El precipitado obtenido constituía un sulfuro con una relación níquel - cobalto aproximadamente de 8 - 10, que era purificado de hierro y azufre antes de pasar a la sección de electrólisis (Hernández y col., 1974).

Como resultado de esta operación el níquel y el cobalto pasaban a formar complejos solubles en el licor y eran sometidos nuevamente a un proceso de precipitación con Na_2S , el recobrado de este proceso estaba en el orden del 70 – 80 % del cobalto y el metal restante era reciclado al proceso. El sulfuro obtenido proseguía una serie de etapas hasta la electrólisis, para obtener como producto final cátodos de cobalto de alta pureza.

• **Proceso Nonoc**

El proceso de tecnología Caron, localizado en Filipinas llamado Nonoc, fue diseñado en 1920, con una capacidad de diseño de 34000 t/año de níquel y 15 000 t/año como metal sólido de cobalto, teniendo una capacidad real aproximadamente de 25 000 t/año de níquel y 1350 t/año de cobalto, con un porcentaje de recuperación de 72 – 75 % de níquel y de un 45 – 47 % de cobalto. El mineral alimentado al proceso contiene 1,22 % de níquel; 0,10 % de cobalto; 3 % de magnesio; 38 – 39 % de hierro, con una humedad de un 3 %.

La tecnología previó la separación del cobalto, en reactores tubulares utilizando el sulfuro de hidrógeno como agente precipitante. Se utilizó como método de separación de cobalto, la precipitación de níquel y cobalto (a presión normal) como sulfuros mixtos, con una proporción de níquel cobre de (1,5 – 2), empleando como agente sulfurante, sulfuro de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, con una eficiencia de recuperación de cobalto superior al 97 % y con una baja precipitación de níquel. Obteniendo como productos finales, níquel en forma de briqueta y polo, y sulfuro mixto de níquel y cobalto (Sherrit, 1992).

• **Esquema actual de las plantas Cubanas en operación**

El esquema actual para la separación de cobalto fue introducido, en forma de “Esquema Corto”, en la Empresa “Comandante René Ramos Latour” en 1983 y luego en la



Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, su objetivo principal es mantener el producto final dentro de los niveles tolerados de cobalto. Tecnológicamente su estructura es similar a la primera etapa del esquema *Sherritt*.

1.2.1 Flujo tecnológico de la planta de separación de cobalto de la ECG

Para elevar la calidad de los productos finales de óxido y sínter de níquel, se realizó una modificación al proceso tecnológico carbonato amoniacal, que consiste en disminuir la concentración de cobalto en el licor, para ello es tratada la solución con hidrogeno sulfuro de amonio (NH_4HS) a determinadas condiciones para lograr una precipitación selectiva del cobalto (II) en forma de sulfuros.

El flujo tecnológico de precipitación de cobalto, inicialmente el licor producto de la primera etapa de lixiviación y lavado se bombea hacia la parte de recuperación de amoniaco para su filtración, eliminando las partículas en suspensión, luego se bombea a los tanques agitadores a los que se les adiciona pulpa recirculada del fondo de los sedimentadores en condición de semilla. En esos tanques agitados se logra el intercambio iónico del níquel del sulfuro mixto con el cobalto contenido en el licor producto, lográndose la reducción del cobalto (III) a cobalto (II) el que reaccionará con el hidrogeno sulfuro de amonio (NH_4HS) o el sulfhidrato de sodio (NaHS) en el reactor tubular donde se produce la reacción de precipitación del cobalto (II) y parte del níquel (II) contenido en el licor, lográndose un sulfuro mixto con una relación de 1,5 – 2,5; luego se bombea a los tanques sedimentadores. El sulfuro mixto se bombea a los filtros y el reboso al proceso de destilación. La torta de sulfuro descargada de los filtros, con una humedad del 50 % se envía al proceso de secado ambiental y el licor efluente de los filtros va a la caja distribuidora que alimenta los sedimentadores.

El licor de segunda etapa de lixiviación es bombeado hasta el sedimentador para la separación de los sólidos en suspensión, este proceso de clarificación se realizara inyectando floculante diluido hasta una concentración de 0,5 g/L, el reboso clarificado es bombeado hasta los tanques colectores, una parte de este licor clarificado alrededor de 380 - 400 m³ se desvía hacia los turbos. Al primer turbo se le inyecta alrededor de 20 m³/h de la pulpa de la primera etapa de cobalto en forma de semilla, y alrededor de 30 m³/h de la pulpa de segunda etapa. De aquí el licor pasa al tanque de descarga de los turbos y de este es bombeado hacia el reactor tubular de fase II, donde se le inyecta el agente precipitante con el objetivo de lograr la precipitación del níquel y cobalto presente en los licores.



Después que la pulpa sale del reactor se alimenta a un sedimentador, donde se le inyecta floculante para lograr un mejor aglutinamiento de las partículas. El reboso del sedimentador hacia el tanque colector, para ser incorporado a las canales de contacto. La pulpa se bombea hacia los filtros para la obtención del sulfuro de níquel y cobalto como producción final de forma periódica y el licor efluente de los filtros se recircula al sedimentador de II etapa.

1.3 Antecedentes de la investigación

La separación del cobalto a partir de soluciones carbonato amoniacales ha sido objeto de un gran número de investigaciones científicas con el objetivo de determinar la influencia de los parámetros en la precipitación de los sulfuros de níquel y cobalto a partir de las soluciones carbonato amoniacales.

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. La evaluación experimental del proceso de separación de níquel y cobalto (Muñoz y Col, 1995), permite analizar la influencia de los factores: gasto de reactivo y semilla en la cinética del proceso de precipitación de los sulfuros de níquel y cobalto,



concluyendo que el incremento de reactivo precipitante provoca una disminución de la concentración de cobalto en el licor residual, siendo mínima con el incremento del gasto de semilla, lo cual se explica mediante la reacción de intercambio iónico entre el sulfuro de níquel y el cobalto en solución.

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.

Al comparar estos resultados con los ofrecidos en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, no es posible definir las causas que influyen en la efectividad del proceso, pues no se conocen las condiciones experimentales (agitación, temperatura, concentraciones de cobalto (III) y cobalto (II) en licor producto, relación níquel/cobalto en la semilla).

Otras de las investigaciones realizadas en el Instituto Superior Minero Metalúrgico (Slix. y M. Garrido, 2000) analizaron la influencia de otros factores tecnológicos: 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 ensemillamiento 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. Santana Y. y López Y. (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, M. (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.

León, M. (2008), realiza estudios a escala de laboratorio para la evaluación del efecto de la dosis de semilla y la concentración de hidrosulfuro de amonio sobre la calidad del precipitado de sulfuro de níquel y cobalto a partir de licores carbonatos amoniacaes de la Empresa “Comandante René Ramos Latourt” simulando concentración del licor de segunda etapa de lixiviación, mostrando que la calidad del sulfuro está dada principalmente por la relación níquel - cobalto menor de 3, 0. Los resultados mostraron que se obtiene experimentalmente sulfuro de mejor calidad que el obtenido en la primera etapa de precipitación.



Conclusiones del Capítulo I

- Nonoc y la Empresa “Comandante René Ramos Latourt” ha sido las únicas plantas de tecnología carbonato amoniacal que han operado con el esquema propuesto por Sherrit para la precipitación selectiva del cobalto a partir de solución carbonato amoniacal con el esquema de precipitación de los licores de segunda etapa de lixiviación.
- Los estudios realizados sobre el proceso de separación de cobalto a partir de soluciones amoniacaes sirven de apoyo para la aplicación del nuevo esquema instalado.



Capítulo II: Materiales y Métodos

2.1 Materiales y equipos

La investigación experimental se desarrolló en el Laboratorio Central y la evaluación a escala industrial en la planta de Lixiviación-Cobalto, ambas de la Empresa de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara”, a partir de los licores de segunda etapa de lixiviación y cobalto, el esquema del proceso de precipitación de sulfuro se representa en el anexo 1.

Licor clarificado a descobaltizar: Durante el proceso de lixiviación carbonato amoniaca, el licor de reboso de la segunda etapa de lixiviación, en el flujo de operación se envía hacia la sección de tanques de contactos, para ponerlo en contacto con el mineral reducido en la planta hornos de reducción alimentado a esta, en este esquema se intercala una etapa de clarificación para su procesamiento posterior, a la sección de tanques de contactos.

Licor reboso del sedimentador de la segunda etapa de descobaltización:

Licor de la segunda etapa descobaltizado que rebosa del sedimentador empleado en la sedimentación de las pulpas de sulfuros mixtos obtenidas en el esquema de segunda etapa de la planta Lixiviación-Cobalto.

En la Tabla 1 se indican las características fundamentales de las materias primas y productos del proceso de precipitación de sulfuros.

Tabla 1. Características de las materias primas y productos del proceso de precipitación

Materiales		Características							
Licor filtrado a descobaltizar									
Sólido	Concentración (g/L)						Densidad (g/cm³)		
ppm	c(Ni)	c(Co)	c(Fe)	c(NH ₃)	c(NO ₂)		1,02		
20	9-11	0,25-0,5	0,03	>75	>37,5				
Licor producto del fondo del sedimentador									
Sólido	Contenido (%)					Precipitación de Ni	Precipitación de Co		
ppm	c(Ni)	c(Co)	c(Fe)	c(NH ₃)	c(NO ₂)		%	%	
20	8-9	0,03	0,03	>72	>35		12	88	
Sulfuros mixtos									
Sólido	Contenido (%)							Tamaño	Densidad
%	c(Ni)	c(Co)	c(Fe)	c(Mg)	c(Mn)	c(Zn)	c(Cu)	mm	g/cm³
15	15-24	6-10	0,5	0,05	0,01	0,01	2,5	0,008	3,5
Licor de segunda Etapa de Lixiviación a descobaltizar									
Sólido	Concentración (g/L)						Densidad		
ppm	C(Ni)	C(Co)	C(Fe)	C(NH ₃)	C(NO ₂)		g/cm³		
40	4,5-5,5	0,10-0,34	0,03	>78	>35		1,02		

En la

Tabla 2 se indican las características principales de las operaciones metalúrgicas en la separación del cobalto mediante las etapas siguientes:

1. Recirculación de sulfuros.
2. Precipitación de sulfuros.
3. Separación líquido – sólido.
4. Filtración y Secado de sulfuros precipitados.

Tabla 2. Características de las operaciones metalúrgicas en la separación del cobalto

Operaciones tecnológicas			
Ensemillamiento	Tanque deensemillamiento		
	Tiempo de retención (min)	% de Ensemillamiento	Agitación rpm
	28	150	80
Precipitación	Reactor tubular		
	Tiempo de residencia (s)	Temperatura en (°C)	Relación NH_4HS /Cobalto
	5	30	0,45
Separación líquido – sólido	Sedimentador		
	Densidad de fondo (g/cm ³)	Sólidos en reboso (ppm)	Floculantes (g/t) de sulfuros
	1,08	20	150
Filtrado de sulfuros	Filtro prensa		
	Tiempo de filtrado (h)	Tiempo de lavado (min)	Presión (MPa)
	30	15	5,5

Parámetros.

Se recopilieron parámetros de los registros de control de la planta durante el año 2020, en la Planta Lixiviación y Cobalto, de la Empresa de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara”, para evaluar los resultados obtenidos en este trabajo por método de comparación. Se tomaron los valores medios por mes de operaciones de las concentraciones de níquel, y cobalto en los licores de entrada y salida para la primera y segunda etapas respectivamente, así como los contenidos de níquel, cobalto, hierro, y cobre, obtenidos en los sulfuros durante el mes de operación. Debemos considerar, que el esquema instalado en la planta de cobalto para precipitar el sulfuro contenido en el licor de segunda etapa de la planta de Lixiviación y Cobalto de la Empresa de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara” no permite conocer en realidad las características del sulfuro precipitado por la interferencia de la semilla de primera etapa.

Análisis de la muestras a escala de laboratorio.

Para realizar los experimentos planificados con vistas a caracterizar el sulfuro del licor de segunda etapa de la planta de Lixiviación y Cobalto de la Empresa de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara”, se toma muestras de licor de la segunda etapa de la planta de cobalto utilizada normalmente en el proceso industrial.

De la muestra de licor clarificada se tomó un volumen de 20 Litros de licor en un tanque plástico de 25 Litros de capacidad herméticamente cerrado, al mismo tiempo, se toma una muestra del reactivo hidrógeno sulfuro de amonio, en un pomo de 250 mL de capacidad. Inicialmente la muestra de licor tomada y la del reactivo de precipitación se envían al laboratorio y se hacen análisis químicos, a partir de los resultados obtenidos se realizan los cálculos para el ajuste del régimen de operación para cada una de las etapas de evaluación, para un 20 y 30 % de precipitación de cobalto, valor prefijado en el diseño de experimentos, utilizando licor de similar composición físico-química.

Procedimiento para experimento a escala de laboratorio.

Se realizaron dos pruebas para el 20 % y dos para el 30 % de precipitación de níquel y cobalto. Primeramente sin semilla y después se realizó con semilla con un 150 % de recirculación. Se tomaron para los experimentos dos litros de licor de segunda etapa de lixiviación, se utilizó como reactor un recipiente metálico de tres litros de capacidad, el agitador se ajusta a 1000 rpm y seguidamente se le añade el reactivo de precipitación, manteniendo durante un tiempo de tres minutos la agitación, seguidamente se detiene agitación y se deja en reposo la muestra tratada, a los 20 minutos se procede a la toma de las muestras de licor clarificado para su análisis químico. La concentración del reactivo de precipitación, hidrógeno sulfuro de amonio, utilizado en el experimento fue de 128,30 g/L, para las corridas correspondientes al 20 % de precipitación de níquel y cobalto se le adicionaron 2, 2 mL y para el 30 % de precipitación 3,5 mL de hidrogeno sulfuro de amonio. Para la toma de las muestras de licor tratados en los experimentos se usan pomos plásticos de 250 mL de capacidad con tapa plástica a presión para todos los casos. Para la evaluación se utilizó semilla al 150 % se tomaron muestras de licor y reactivo, se le realizan análisis químicos y se aplica el procedimiento descrita anteriormente.

Toma de muestras a escala industrial.

Para realizar el trabajo se presentó a la Dirección Técnica de la empresa el diseño de experimentos, conocidos los objetivos del trabajo trazado en esta evaluación y en coordinación con los directivos de la planta, se acordó independizar los flujos de semilla alimentada a las dos etapas de precipitación a partir de las pulpas obtenidas

respectivamente en cada una de estas etapas, la semilla de fase I, para fase I de cobalto y semilla de fase II, para fase II de cobalto por espacio de 48 horas. Para la correcta evaluación de este trabajo se procede a evacuar del sistema fase II de la pulpa de la fase I, dentro del sedimentador para evitar interferencias en los resultados la presencia de la semilla de fase I en la fase II, objeto de estudio en este trabajo. Para la segunda etapa de precipitación se ajustó la precipitación de níquel y cobalto para un 20 %, por espacio de 24 horas, al mismo tiempo desde el sedimentador, fase II, se continuó con las operaciones de filtraciones para poder extraer todo el sulfuro presente en el mismo por espacio de 20 horas. Trascurrido el tiempo previsto, 24 horas, se tomó la primera muestra de pulpa por el fondo del sedimentador para su análisis químico correspondiente a la precipitación al 20 %. La segunda fase de la evaluación se inicia seguidamente con el ajuste de la dosificación correspondiente a un 30 % de precipitación por un tiempo de 24 horas, transcurrido ese tiempo se toma la muestra de pulpa por el fondo del sedimentador correspondiente a esta etapa. La muestra tomada se filtra en un embudo conectado a un frasco trampa y succionado por una bomba de vacío hasta lograr una torta como la que se somete al proceso de secado requerido por espacio de 56 horas, como se establece en el procedimiento vigente para la preparación de muestras de sulfuros, para su análisis químico. Para garantizar el éxito de la investigación se utilizaron los equipos de medición de análisis químicos y de magnitudes físicas del laboratorio de la Empresa de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara”. Los mismos se encuentran calibrados y debidamente certificados, por lo que sus resultados se consideran confiables.

Equipos de medición de magnitudes físicas.

Se utilizó una balanza Sartorius, para ajustar con precisión la densidad de la pulpa en cada uno de los experimentos realizados con ayuda de una probeta de 1 000 mL, las principales características de la balanza son: Sartorius Basic. Modelo BP 3100 P.

Capacidad de pesada 600 a 3 100 g.

Desviación 0, 02 g.

Corriente 12 a 30 V.

2.2 Análisis químico por el método espectrofotómetro de absorción atómica.

El método para determinar el contenido de los elementos en el sulfuro se fundamenta en la absorción selectiva de radiaciones electromagnéticas de diversas regiones del espectro por el sistema homogéneo usando la fuente de radiación específica de los elementos.

La concentración de cada elemento níquel, cobalto, hierro, cobre, zinc, se determina mediante la observación del espectro emitido por las lámparas de cátodos huecos respectivas, utilizando llama, aire, acetileno. Está integrado por:

- Espectrofotómetro de absorción atómica. Avanta GBC, febrero 2005, fabricado en Australia.
- Lámpara de cátodo hueco de cada elemento. Los resultados aproximados 0.3 milésima



Figura 2.1. Equipo de Absorción Atómica – Avanta GBC.

2.2.1 Fundamento del método de Absorción atómica.

Fundamento del método: La porción de ensayo es tratada con cloruro de amonio 200 g/L (20 %), para disminuir la evaporación. Después de realizado el procedimiento la concentración de Cobalto se determina midiendo su absorbancia, al absorber los átomos libres de la llama, la radiación electromagnética incide, proveniente de la lámpara de cátodo hueco y a través de la calibración realizada con los estándar con concentraciones dadas, se determinan las de la muestra de licores amoniacales.

Descripción detallada del método de ensayo:

1. Se tomaron cinco mL con pipeta de la muestra en un volumétrico de 100 mL.
2. Añade cinco mL de Cloruro de Amonio 200 g/L al (20 %).
3. Enrasar y homogenizar para proceder a leer en el equipo.

2.3 Elementos para la construcción de la instalación experimental a escala de laboratorio.

En las instalaciones de trabajo para evaluaciones periódicas se usaron reactores con volúmenes útiles menores a: 25 dm³ de líquido o pulpa y cinco kg de sólido a procesar.

2.3.1 Descripción de la instalación experimental a escala de laboratorio.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó una instalación a escala de laboratorio formada por un reactor discontinuo con agitación mecánica variable como muestran las Figura 2. 2 y Figura 2. 3, el recipiente es de tres Litros de capacidad.



Figura 2. 2. Agitador de velocidad variable experimental a escala de laboratorio.

2.3.2 Datos técnicos del agitador.

Diámetro del impelente $D = 0,086$ m

Ancho de las paletas del impelente 0, 013 m

Longitud de la paleta del impelente 0, 035 m

Ángulo de inclinación de las paletas del impelente 45 °

Potencia del motor 130 W

Corriente 220 V

Revoluciones: De 0 a 1 900 rpm

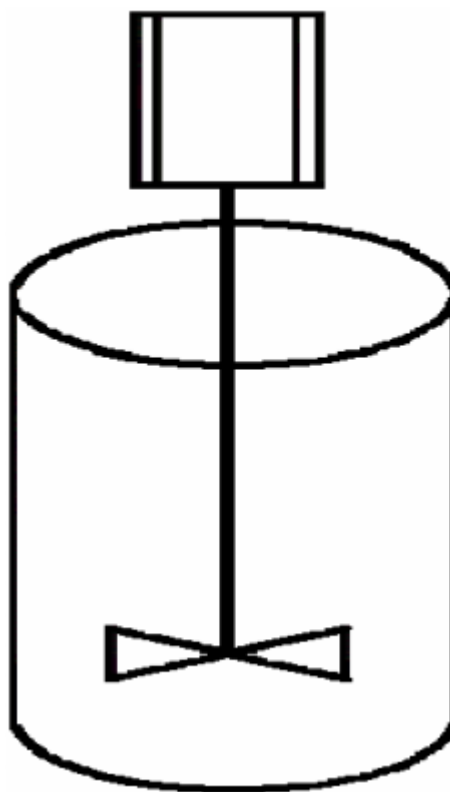


Figura 2. 3. Esquema de la Instalación experimental a escala laboratorio.

Para evaluar el comportamiento de las concentraciones de níquel y cobalto durante el periodo evaluativo se realizó tratamiento estadístico a los resultados analíticos de las muestras de entrada y salida en la etapa objeto de estudio, 48 horas antes de iniciar la operación, 24 horas en la que se aplica el 20 % de precipitación, 24 horas con 30 % de precipitación y 10 horas posteriores a la normalización de las operaciones. En el último caso solo son 10 horas porque la planta realizó una parada en las operaciones. Por problema mecánico de la planta lixiviación a cobalto. Las muestras analizadas se toman cada dos horas y son analizadas en el Laboratorio central por absorción atómica, a partir de las mismas se calcula la relación níquel-cobalto y el porcentaje de precipitación de níquel y cobalto.

2.4 Diseño estadístico.

El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales, que son óptimas para obtener información a partir de resultados experimentales, una de ellas es el diseño factorial completo 2^n . Este método describe los experimentos más adecuados para conocer simultáneamente qué efecto tienen (n) factores, sobre una respuesta y descubrir si interaccionan entre ellos (Ferré, 2003).



Los experimentos están planeados de forma que se varían simultáneamente varios factores. Al no haber factores correlacionados se evitan experimentos redundantes. Además, los experimentos se complementan de tal modo que la información buscada se obtiene combinando las respuestas de todos ellos. Esto permite obtener la información con el número mínimo de experimentos, con el menor coste y con la menor incertidumbre posible. El diseño consiste en recoger en una lista todas las variables que podrían influir en la respuesta. A continuación, se realizan una serie de experimentos en los cuales se fijan las variables que no interesa modificar, se anota el valor de las que no se pueden controlar, y se varían las restantes. Finalmente, se obtiene la información comparando la variación de la respuesta entre experimentos.

El elevado coste de la experimentación y las limitaciones de tiempo obligan a ejecutar sólo los experimentos imprescindibles. Las interacciones suelen ser muy corriente y a veces son los efectos más importantes, por lo que conocerlas es imprescindible para comprender el comportamiento de muchos sistemas. Atendiendo a la necesidad de conocer qué variables o sus interacciones influyen significativamente en el sistema a estudiar y cómo afectan en los resultados o etapas posteriores, se escoge el método antes descrito como estrategia experimental para el diseño de experimento.

Es necesario aclarar que se considera respuesta a las variables de interés que mediremos como consecuencia de la experimentación en este caso concentraciones de níquel y cobalto en el licor procesado y factores son las variables que modificaremos para estudiar su efecto en la respuesta.

En la investigación experimental a escala industrial se analizó la influencia de los siguientes factores en el proceso de recirculación de sulfuros durante un tiempo determinado de retención de la pulpa dentro del reactor.

Porcentajes de precipitación de Ni y Co	X 1
Porcentajes de semilla	X 2

En variables de salida

Concentración de Ni	Y 1
Concentración de Co	Y 2

El número de ensayos se determinó de acuerdo con la función exponencial.

$$N = 2^n$$

Donde;

N – número de experimentos.

n – número de factores.

Aplicando la ecuación anterior se determinó en cuatro el número de experimentos a realizar con tres réplicas cada uno para un total de 12 experimentos, la matriz modificada se muestra en la Tabla 3 y Tabla 4

Tabla 3: Planificación matemática del experimento.

Experimento	X1	X2
I	-	-
II	+	-
III	-	+
IV	+	+

Tabla 4: Planificación de experimento real.

Experimento	% de precipitación de Co	% de semilla
I	20	0
II	30	0
III	20	150
IV	30	150

Los niveles de las variables de entradas se indican en la Tabla 5 y se establecieron basados en investigaciones realizadas a escala industrial con anterioridad. El tiempo de retención de la pulpa dentro del equipo fue de cinco minutos y a una temperatura promedio de 30 °C.

Tabla 5: Niveles de experimentación.

Variables	Nivel Mínimo	Nivel Máximo
% de precipitación de Ni y Co	20	30
% de precipitación de semilla	0	150

Determinando las concentraciones finales del cobalto total y níquel en la solución carbonato amoniacal para cada uno de los experimentos planificados se obtuvieron resultados que muestran la correlación de los parámetros tecnológicos considerados en la planificación de los experimento.



Para realizar la caracterización del sulfuro de fase II se utilizó el licor producto procedente de la planta de lixiviación y cobalto y la semilla del sedimentador, que es donde se precipita el sulfuro de fase II de cobalto.



Conclusiones del Capítulo II.

Se estableció el método, parámetros de operación, diseño experimental, la toma de muestras para la evaluación a escala de laboratorio e industrial, así como el diseño del experimento a escala industrial.

Capítulo III: Análisis y Discusión de los Resultados

Introducción.

Para evaluar el proceso de precipitación de 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 los experimentos de acuerdo con el diseño planificado, con las variables independientes escogidas (porcentaje de precipitación, porcentaje de semilla), obteniéndose una base de datos para la interpretación de los resultados.

3.1 Evaluación de los resultados obtenidos durante el año 2020.

En la Tabla 3. 1, se muestran los resultados de las concentraciones de níquel, y cobalto, así como el porcentaje de precipitación de níquel y cobalto para el licor producto, durante el año 2020, para la primera etapa obtenidos de los registros de control diarios de análisis químicos realizados y registrados por el Laboratorio Central y los registros metalúrgicos de la empresa con las que opera la industria.

Estos resultados correspondientes a la precipitación alcanzada durante el tratamiento de los licores de primera y segunda etapa de lixiviación, así como los análisis medios de los elementos principales de sulfuros obtenidos como producto final en la Planta Lixiviación-Cobalto, se muestran para evaluarlos por comparación con los resultados que se obtienen durante este trabajo, por lo que los mismos serán de necesaria referencia durante el análisis de resultados en epígrafes siguientes.

Tabla 3. 1. Resultados de las concentraciones de níquel y cobalto en la precipitación de níquel y cobalto del licor producto, en la primera etapa a escala de laboratorio.

Meses Evaluados	Licor de entrada			Licor de salida			Precipitación de Ni y Co	
	Ni	Co	Ni/Co	Ni	Co	Ni/Co	Ni (%)	Co (%)
Enero	7,781	0,240	32,428	7,462	0,040	186,550	4,099	83,333
Febrero	7,660	0,246	31,138	7,401	0,038	194,736	3,381	99,154
Marzo	7,706	0,226	34,211	7,365	0,030	245,501	4,425	86,725
Abril	7,602	0,236	32,211	7,416	0,048	154,506	3,446	79,661
Mayo	8,006	0,226	35,424	7,624	0,032	238,250	4,777	85,840
Junio	7,801	0,239	32,640	7,516	0,040	187,906	3,653	83,262
Julio	7,616	0,240	31,733	7,426	0,060	123,766	2,495	75,000
Agosto	7,419	0,241	30,784	7,312	0,031	235,870	1,442	87,136

Septiembre	7,566	0,232	32,612	7.301	0,036	202,805	3,502	84,482
Octubre	7,469	0,240	31,120	7,209	0,033	218,454	3,481	86,250
Noviembre	7,366	0,216	34,404	7,321	0,050	173,047	1,330	80,555
Diciembre	7,569	0,220	34,404	7,3.21	0,050	146,421	3,276	77,272
Promedio	7,629	0,233	32,724	7,385	0,040	192,317	3,275	84,055

La precipitación en la planta de Lixiviación-Cobalto para el licor producto durante el año 2020, se realizó de forma intensiva, valores de 3,275 y 84,055 % para el níquel y cobalto respectivamente, así se refleja en la Tabla 3. 1, así como la alta relación níquel-cobalto, 192,317.

La Tabla 3., contiene resultados concentraciones de níquel y cobalto en la precipitación de los licores de la segunda etapa durante el año 2020, tomados igualmente de los registros mensuales de la empresa Ernesto Che Guevara.

Tabla 3.2. Resultados concentraciones de níquel y cobalto en la precipitación del níquel y cobalto en el licor de segunda etapa a escala laboratorio.

Meses Evaluados	Licor de entrada			Licor de salida			Precipitación de Ni y Co	
	Ni	Co	Ni/Co	Ni	Co	Ni/Co	Ni (%)	Co (%)
Enero	3,201	0,155	20,651	3,532	0,103	34,291	-10,340	33,548
Febrero	3,228	0,134	24,089	3,386	0,072	47,027	-4,894	46,268
Marzo	3,372	0,126	26,762	3,406	0,062	54,935	-1,008	50,792
Abril	3,506	0,131	26,763	3,805	0,067	56,792	-8,528	48,852
Mayo	3,770	0,136	27,720	4,208	0,068	61,882	-11,618	50,000
Junio	3,632	0,137	26,510	3,991	0,050	70,680	-9,884	63,502
Julio	3,570	0,183	19,508	3,706	0,100	37,061	-3,809	45,355
Agosto	3,526	0,178	19,808	3,661	0,078	45,661	-3,828	56,179
Septiembre	4,240	0,136	31,176	4,306	0,066	66,075	-1,556	51,470
Octubre	4,316	0,126	34,254	4,407	0,082	53,746	-2,108	34,920
Noviembre	3,627	0,160	22,668	3,716	0,066	45,316	-2,454	58,750
Diciembre	3,561	0,146	24,390	3,614	0,082	44,073	-1,488	43,835
Promedio	3,332	0,156	25,358	3,811	0,074	51,461	-5,126	48,622



En la segunda etapa de precipitación de níquel y cobalto se alcanzan valores negativos en la precipitación del níquel, que tiene su argumentación técnica y una de las razones del desarrollo de este trabajo investigativo, con valores medios de -5,126 % para el cobalto se logra un valor medio de 48,622 %. Este efecto está dado por la interferencia que provoca la operación de ensemillamiento en el circuito de la segunda etapa, la inyección de pulpa de recirculación, como semilla procedente de la primera etapa, la masa de níquel contenida en la semilla recirculada desde primera etapa hacia la segunda etapa, que en reacciones de intercambio, se transfiere desde el sólido hacia el licor de la segunda etapa se desconoce, en segunda etapa se precipita una parte del níquel contenido en el licor, pero esta precipitación no se refleja en la práctica porque se compensa con la transferencia de níquel contenido en el sólido de la semilla de la primera etapa hacia el licor, pero se desconoce en qué proporción está dada esa transferencia y los resultados prácticos demuestran, el níquel que se transfiere es mayor que el precipitado.

En la Tabla 3.2, se muestran los resultados del contenido de los sulfuros mixtos durante el año 2020, obtenidos de los Registros Metalúrgicos mensuales de la Empresa Ernesto Che Guevara.

Tabla 3.2. Resultados analíticos obtenidos en los lotes de sulfuros mixtos durante el año 2020, a escala industrial.

Composición del sulfuro mixto (%)					
Meses Evaluados	Ni	Co	Fe	Cu	Ni/Co
Enero	15,706	8,881	0,654	2,010	1,768
Febrero	15,660	8,560	0,616	2,025	1,829
Marzo	17,506	8,060	0,610	2,219	2,171
Abril	16,170	8,610	0,468	2,111	1,878
Mayo	14,566	9,346	0,384	2,215	1,558
Junio	12,651	9,126	0,520	2,268	1,386
Julio	16,782	8,891	0,618	2,580	1,887
Agosto	16,582	8,672	0,720	2,655	1,912
Septiembre	17,526	8,106	0,750	3,215	2,162
Octubre	16,686	8,271	0,792	2,254	2,017
Noviembre	15,792	9,672	0,598	2,450	1,633
Diciembre	15,336	8,862	0,645	2,521	1,730
Promedio	15,909	8,755	0,614	2,376	1,827

En la Tabla 3.2, se muestra que independientemente de que en primera etapa se aumenta la precipitación de cobalto y con ello la de níquel, se logra en segunda etapa un producto, con relación níquel-cobalto por debajo de 2,0 valor de 1,827 confirma la eficacia de este proceso.

3.2 Resultados obtenidos a escala de laboratorio para la precipitación sin inyección de semilla y análisis de los mismos.

Para los experimentos realizados, se efectuaron los análisis químicos de los elementos níquel, cobalto, hierro, amoníaco, cobre, zinc y magnesio se analizan por absorción atómica.

En la Tabla 3.3, se muestran los resultados de la composición del licor de segunda etapa de lixiviación que se usa para el proceso de precipitación.

Tabla 3.3. Composición del licor de segunda etapa sometido a precipitación sin inyección de semilla.

Ni	Co	Fe	NH ₃	Mg	Zn	Cu
3,74	0,180	0,03	70	0.05	0,0071	0.0015

El licor de la segunda etapa se caracteriza por tener menores concentraciones de níquel y cobalto, relación níquel-cobalto, menores que el licor de primera etapa que garantiza mayor selectividad para la precipitación del cobalto.

La concentración del hidrógeno sulfuro de amonio, reactivo utilizado como agente de precipitación en la descobaltización de licores de segunda etapa fue de 128,30 g/L.

En la

Tabla 3.4, se muestran los resultados de precipitación del licor de segunda etapa de lixiviación para la descobaltización al 20 % de precipitación de níquel y cobalto sin ensemillamiento experimento I, a escala laboratorio.

Tabla 3.4. Resultados del proceso de precipitación del níquel y cobalto en el licor de segunda etapa de Lixiviación después de descobaltizar al 20 % sin ensemillamiento a escala de laboratorio.

Experimento	Elementos							Precipitación de Ni y Co		
	Ni	Co	Fe	NH ₃	Mg	Zn	Cu	Ni/Co	Ni (%)	Co (%)
1	3,580	0,144	0,030	68,000	0,050	0,008	0,0009	24.861	4,278	20.000
2	3,650	0,145	0,030	68,100	0,050	0,007	0,0008	25.172	2,406	19.444
3	3,670	0,143	0,031	68,300	0,050	0,008	0,0008	25.664	1,872	20.555

Promedio	3,633	0,144	0,030	68,133	0,050	0,007	0,00083	25,232	2,852	19,999
-----------------	--------------	--------------	--------------	---------------	--------------	--------------	----------------	---------------	--------------	---------------

A partir de los resultados analíticos mostrados en la

Tabla 3.4, se determina que durante la precipitación de níquel y cobalto al 20 %, la precipitación media que se alcanza es de 2, 852 y 19, 999 % para el níquel y el cobalto respectivamente y la relación níquel-cobalto alcanzada en el licor de esta evaluación es de 25, 232.

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 3., correspondiente al año 2020 se logra valores medios de -5,126 y 48, 622 % de precipitación de níquel y cobalto respectivamente y relación níquel-cobalto media de 51, 461, que es reflejo de una mayor profundidad en la precipitación de níquel y cobalto. Estas diferencias, favorables durante el año 2020, están fundamentada por la ausencia de semilla de primera etapa en esta evaluación, que evidentemente favorece el proceso. El hierro se mantiene en el mismo valor y el cobre solo precipita un 57 %. El experimento No. 3 es el de mejores resultados, alcanza 1, 872 y 20, 555 % de precipitación de níquel y cobalto respectivamente y mayor relación níquel-cobalto, 25, 664.

En la Tabla 3. 5, se muestran los resultados del proceso de precipitación del Licor de segunda Etapa de Lixiviación descobaltizando al 30 % de precipitación de níquel - cobalto sin inyección de semilla, experimento II, a escala de laboratorio.

Tabla 3. 5. Resultados del proceso de precipitación de níquel - cobalto del licor de segunda etapa de Lixiviación después de descobaltizar al 30 % sin ensemillamiento.

Experimento	Elementos							Precipitación de Ni y Co		
	Ni	Co	Fe	NH ₃	Mg	Zn	Cu	Ni/Co	Ni (%)	Co (%)
1	3,620	0,126	0,030	68,200	0,050	0,008	0,0012	28,730	3,209	30,000
2	3,570	0,128	0,029	67,100	0,050	0,008	0,0011	27,890	4,545	28,888
3	3,600	0,126	0,030	68,300	0,050	0,009	0,0011	28,571	3,743	30,000
Promedio	3,597	0,126	0,030	67,866	0,050	0,009	0,00113	28,397	3,832	29,629

Aplicando la precipitación del níquel y cobalto al 30 %, precipita 3, 832 y 29, 629 %, para el níquel y el cobalto respectivamente, valores superiores a los alcanzados para el 20 % de precipitación de níquel y cobalto, la relación Níquel- Cobalto en el licor de esta evaluación es de 28, 397, la cual se acerca más a los valores que se alcanzaron durante el año 2020, (Tabla 3.), aunque son inferiores tal y como se explicó para el caso de la precipitación para el 20 %. El experimento No.1 logra mejores resultados, 3, 209 y 30, 000

% de precipitación de níquel y cobalto respectivamente y mayor relación níquel-cobalto, 28, 730.

El hierro se mantiene en el mismo valor y el cobre solo precipita un 37,037 %.

3.3 Resultados obtenidos a escala de laboratorio en la precipitación de cobalto con inyección de semilla y análisis de los mismos.

En la tabla 3.7, se muestran los resultados de análisis de la composición licor para realizar el proceso de precipitación, Experimento III.

Tabla 3.6. Composición del licor sometido a precipitación con inyección de semilla al 20 % a escala de laboratorio.

Composición química del licor de segunda Etapa sometido a precipitación con inyección de semilla (g/L)			
Ni	Co	Mg	Zn
4,200	0,170	0,025	0,007

La concentración del hidrógeno sulfuro de amonio, reactivo utilizado como agente de precipitación en la descobaltización licores de segunda etapa fue de 130,77 g/L.

En la Tabla 3.7, se muestran los resultados de la precipitación del licor de segunda etapa de lixiviación descobaltizado al 20 % de precipitación de níquel y cobalto con inyección de semilla al 150 % de níquel más cobalto precipitado, experimento III, a escala laboratorio.

Tabla 3.7. Resultados de las precipitaciones del licor de segunda etapa de lixiviación obtenido después de descobaltización al 20 % de precipitación de níquel y cobalto y se aplica semilla al 150 % a escala laboratorio.

Experimento	Elementos				Precipitación de Ni y Co		
	Ni	Co	Mg	Zn	Ni/Co	Ni (%)	Co (%)
1	4,400	0,136	0,042	0,0080	32,352	-4,762	20,000
2	4,300	0,135	0,043	0,0070	31,852	-2,381	20,010
3	4,320	0,134	0,042	0,0060	32,462	-2,857	21,176
Promedio	4,340	0,135	0,042	0,0070	32,222	-3,333	20,395

La precipitación media que se alcanza en esta etapa es de -3, 333 y 20, 395 %, para el níquel y el cobalto respectivamente, la relación níquel-cobalto en el licor de este experimento es de 32, 222. Estos resultados se obtuvieron por el método de absorción atómica. Al comparar estos resultados aplicando semilla con los obtenidos sin aplicar semilla para el 20 % de precipitación de níquel y cobalto (Tabla 3. 5), se destaca la

disminución en el porcentaje de precipitación de níquel al aplicarle semilla, la concentración de entrada en este caso es inferior a la salida para el caso de níquel, una diferencia de 6 %, al compararlo con la evaluación sin semilla, para el caso del cobalto la precipitación de cobalto es ligeramente superior, 0,393 %, y la relación níquel-cobalto es ligeramente inferior en 6,99, que se logra sin la semilla. El experimento No. 3 es el de mejores resultados, es el que muestra mejor balance entre la precipitación de níquel y cobalto, así como la relación níquel-cobalto en el licor de salida.

En la Tabla 3.8, se muestran los resultados de la precipitación del licor de segunda etapa de lixiviación descobaltizado al 30 %, de precipitación de níquel y cobalto aplicando un 150 % de semilla. Experimento IV, a escala de laboratorio.

Tabla 3.8. Resultados de la precipitación del licor de segunda etapa de lixiviación obtenido después de descobaltizado al 30 % de precipitación de níquel y cobalto aplicando un 150 % de semilla de níquel más cobalto.

Experimento	Elementos				Precipitación de Ni y Co		
	Ni	Co	Mg	Zn	Ni/Co	Ni (%)	Co (%)
1	4,200	0,118	0,046	0,007	35,593	0,000	30,588
2	4,200	0,119	0,041	0,007	35,294	0,000	30,000
3	4,245	0,117	0,044	0,008	36,324	-1,071	31,176
Promedio	4,215	0,118	0,044	0,007	35,737	-0,357	30,588

La precipitación media que se alcanza aplicando 30 % de precipitación para el níquel y el cobalto es de -0,357 y 30,588 % respectivamente, estos resultados se obtuvieron por el método de absorción atómica. Al compararlo con los resultados obtenidos al 30 %, sin semilla, Tabla 3.5, disminuye la precipitación de níquel en 4,1 % y la del cobalto 0.959, la relación níquel-cobalto es ligeramente superior de 4,275 %. El experimento No. 3 es el de mejores resultados, alcanza una precipitación de cobalto superior, 31,176 %, como efecto de la semilla, el níquel es negativo, -1,071 %, y la relación níquel-cobalto es la mayor con la valor de 36,324.

3.4 Resultados obtenidos con la evaluación a escala industrial aplicando precipitación de níquel y cobalto al 20 y 30 %.

La evaluación se inició el día 5 de enero de 2023, 8:00 AM, se procede tal y como se describe en el epígrafe 2.4 del Capítulo 2, se estableció la dosificación correspondiente al 20 % de precipitación, se independizaron los flujos de semilla y se continuó la operación de extracción desde el fondo del sedimentador para evacuar la pulpa remanente de la

primera etapa, al cabo de las 20 horas se procede a detener esta operación. A las 24 horas de iniciada la operación, se toma la muestra de pulpa, se prepara y entrega para su secado y análisis.

La Tabla 3.9, muestra los resultados obtenidos en el análisis de la muestra de sólido durante la operación aplicando un 20 % de precipitación experimento III, a escala industrial.

Tabla 3.9. Resultados del sulfuro obtenido la pulpa espesada después de descobaltizar al 20 % de precipitación de níquel y cobalto.

Contenido del sulfuro obtenido a partir del licor segunda etapa para el 20 % de precipitación a escala industrial.						
Ni	Co	Fe	Mn	Mg	Zn	Cu
7,801	14,110	1,420	0,040	0,328	0,011	4,160

Los contenidos de níquel y cobalto de 7, 801 y 14, 110 %, reflejan la obtención de un producto con elevado contenido de cobalto, una relación níquel-cobalto de 0,552, de la cual no se tiene referencia anterior en esta industria, se descarta error analítico, ya que esta muestra se le aplicó las normas certificadas para la preparación de la muestra, NC 608:2008 MINERALES-SULFUROS DE NÍQUEL Y SULFURO DE NÍQUEL Y COBALTO-MUESTREO y para los análisis químicos la NC. 638:2011 MINERALES-SULFUROS DE NIQUEL Y COBALTO –ANALISIS QUIMICO; para el caso del níquel y el cobalto por absorción atómica.

La Tabla 3.10, contiene los resultados obtenidos en el análisis de la muestra de sólidos durante la operación aplicando un 30 % de precipitación.

Tabla 3.10. Resultados del sulfuro obtenido en la pulpa espesada después de descobaltizar al 30 % de precipitación de níquel y cobalto.

Contenido del sulfuro obtenido a partir del licor segunda etapa para el 30 % de precipitación a escala industrial.						
Ni	Co	Fe	Mn	Mg	Zn	Cu
7,725	14,217	1,420	0,040	0,328	0,011	4,160

Para la precipitación al 30 %, los contenidos de níquel y cobalto de 7,725 y 14,217 % respectivamente, relación níquel-cobalto de 0,543, muestran similar comportamiento al que se logra al 20 % de precipitación a escala industrial. El contenido de níquel más cobalto es de 28, 391 %, para el 30 %, mientras que para el 20 % es de 25, 232 %. Para los últimos 10 lotes, enero 2023, se alcanza un contenido de 15, 909 y 8, 755 % de níquel y cobalto respectivamente, con una relación níquel-cobalto de 1,827.

Los resultados a escala industrial de este trabajo se realizan sin la interferencia de la semilla de primera etapa, por lo que la relación níquel-cobalto en el sulfuro arroja valores inferiores a 0,6, aspecto novedoso que se obtuvo como resultado de este trabajo.

En la Tabla 3.11, se presentan parámetros para la precipitación en la planta entre los que se encuentran concentraciones del flujo de entrada, concentraciones del flujo de salida, y porcentaje de precipitación y relación níquel-cobalto. Antes, durante y después de la evaluación a escala industrial. Los resultados de las evaluaciones 48 horas antes y 10 horas después del proceso se obtuvieron del laboratorio central de la empresa, y los restantes a partir de los experimentos III y IV realizados para este trabajo.

Tabla 3.11. Parámetros para la precipitación en la planta antes, durante y después de la evaluación a escala industrial.

Etapas de Evaluación		Flujo de entrada (g/L)			Flujo de salida (g/L)			Precipitación (%)	
		Ni	Co	Ni/Co	Ni	Co	Ni/Co	Ni	Co
Antes de la evaluación 48 horas	Media	3,354	0,170	20,962	3,521	0,130	27,084	-0,471	29,122
	Mediana	3,300	0,161	20,496	3,500	0,136	25,735	-4,598	28,522
	Desviación	0,081	0,014	1,243	0,066	0,004	1,433	2,042	3,313
	Rango	0,300	0,040	5,873	0,300	0,070	3,786	7,143	17,287
	Cuenta	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Evolución al 20 % 24 horas	Media	4,400	0,170	25,812	4,350	0,135	32,222	0,011	20,588
	Mediana	3,810	0,162	23,518	4,320	0,132	32,727	-0,133	20,121
	Desviación	0,204	0,003	0,580	0,243	0,028	4,103	1,474	10,565
	Rango	0,600	0,020	2,008	0,700	0,076	11,854	2,348	20,510
	Cuenta	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Evolución al 30 % 24 horas	Media	4,200	0,170	24,705	4,217	0,118	35,737	-4,047	30,588
	Mediana	4,100	0,160	25,625	4,150	0,115	35,470	-1,216	30,482
	Desviación	0,071	0,002	0,210	0,060	0,009	0,060	1,654	4,173
	Rango	0,200	0,017	1,957	0,200	0,030	4,543	4,545	11,037
	Cuenta	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Después de la evaluación 10 horas	Media	3,527	0,170	22,210	3,627	0,040	32,225	-2,201	36,677
	Mediana	3,500	0,180	21,264	3,700	0,060	33,757	-4,255	37,288
	Desviación	0,065	0,007	0,593	0,179	0,020	1,277	3,431	9,974
	Rango	0,200	0,027	2,463	0,600	0,050	12,206	11,111	27,437
	Cuenta	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000

Al evaluar los resultados mostrados en la **Tabla 3.11**, se corroboran los obtenidos a escala de laboratorio para las operaciones al 20 y 30 % de precipitación, con la inyección de semilla, antes del inicio de las operaciones de ensemillamiento de la primera etapa, mantiene la precipitación de níquel negativa, -0, 471 %, como efecto de la interferencia de la semilla de la primera etapa, al iniciarse la operación independizando las semillas de ambas etapas aumenta la precipitación de níquel, a la segunda etapa se recircula una semilla con una relación níquel- cobalto más baja por tanto el intercambio de níquel sólido-líquido disminuye, porque el equilibrio entre ambas fases se hace menor y es evidente que al disminuir el intercambio la precipitación de níquel se ve interferida en menor medida y se refleja en los resultados analíticos de las concentraciones de salida de la planta.

Al comparar la operación establecida para lograr el 30 % de precipitación de níquel y cobalto antes de iniciar las operaciones de evaluación la precipitación de níquel y cobalto se mantiene en valores similares, 29,122 y 28,522 % respectivamente, aunque al igual que durante la precipitación al 20 % precipita mayor cantidad de níquel. La diferencia en la relación níquel-cobalto se mantiene de acuerdo con el comportamiento de las concentraciones en los flujos de alimentación en las diferentes etapas evaluativas.

3.5 Análisis de los parámetros de operación de las planta antes, durante y después de la realización de los experimentos.

Antes de la evaluación, en 48 horas, la relación níquel-cobalto de entrada, fue de 20,962; la relación níquel-cobalto de salida fue de 27,084; la precipitación de níquel fue de -4, 471 %, por la interferencia de la semilla de la primera etapa, la precipitación de cobalto fue de 29,122 %.

En la evaluación al 20 %, en 24 horas, la relación níquel-cobalto de entrada fue de 25, 812, la relación de níquel-cobalto de salida fue de 32, 222, la precipitación de níquel fue de 0, 011 %, la precipitación fue de 20, 588 %.

En la evaluación al 30 %, en 24 horas, la relación níquel-cobalto de entrada, fue de 24, 705, la relación níquel-cobalto de salida fue de 35, 737, la precipitación de níquel fue de -4, 047 % por la interferencia de la semilla de la primera etapa, la precipitación de níquel y cobalto fue de 30,588 %.

Después de la evaluación, en 10 horas, la relación níquel-cobalto de entrada fue de 22, 210, la relación níquel-cobalto de salida fue de 32,225, la precipitación del níquel fue -



2,201 % por la interferencia de la semilla de la primera etapa, la precipitación de níquel y cobalto fue de 36,677 %. Estos resultados son del 20 % y 30 %, aplicando semilla.

Conclusiones del Capítulo III.

La precipitación en la Planta Lixiviación-Cobalto para el licor producto durante el año 2020 se realizó de forma intensiva, valores de 3, 275 y 84, 055 % para el níquel y el cobalto respectivamente así lo reflejan. El sulfuro obtenido con relación níquel-cobalto de 1, 827, confirma la eficacia del proceso de precipitación en dos etapas.

Los contenidos de níquel y cobalto en el sulfuro obtenido en la evaluación a escala industrial para el 20 %, son de 7, 801 y 14, 110 %, reflejan la obtención de un producto con elevado contenido de cobalto, una relación Níquel- Cobalto de 0, 552, no se tiene referencia anterior en esta industria, para la precipitación al 30 % se logra 7, 725 y 14, 21 % de níquel y cobalto respectivamente y una relación níquel-cobalto de 0, 543, confirman los resultados obtenidos durante la etapa al 30 % , a escala industrial.

Durante la evaluación a escala industrial se confirman los resultados obtenidos a escala de laboratorio para un 20 y 30 % de precipitación con la inyección de semilla, como efecto de la no interferencia de la semilla de la primera etapa, aumenta la precipitación de níquel.



Conclusiones Generales

Se determinó la influencia de los factores, porcentaje de precipitación de níquel y cobalto y porcentaje de recirculación de sulfuro en forma de semilla en el proceso de precipitación de sulfuros a partir de licores de segunda etapa de lixiviación en la Empresa de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara” a escala de laboratorio. Los mejores resultados se obtuvieron para el 30 % de precipitación de níquel y cobalto con 150 % de recirculación de semilla y a escala industrial.

Se caracterizó el licor de segunda etapa de la planta de Lixiviación y Cobalto después de haber realizados la precipitación a un 20 y 30 %, aplicado el proceso de ensemillamiento. Los resultados a escala de laboratorio muestran aumentos de las magnitudes de precipitación de níquel y cobalto.

Se caracterizó la composición química del sulfuro de níquel y cobalto obtenido a partir de los licores de segunda etapa de lixiviación a escala industrial. Se obtuvo un sulfuro con una relación níquel-cobalto por debajo de 0,6, como principal diferencia, las propiedades químicas son similares a los sulfuros obtenidos.

Se pudo corroborar tanto a escala de laboratorio como industrial el alto grado de selectividad del cobalto en la precipitación del sulfuro a partir de los licores de segunda etapa de lixiviación, bajo las condiciones de operación analizadas.



Recomendaciones

En futuros trabajos a realizar sobre este nuevo esquema tecnológico se debe tener en cuenta la relación níquel-cobalto obtenidas como resultados de la investigación realizada a escala industrial en los licores de la segunda etapa de la Empresa Ernesto Che Guevara.



Bibliografías

- 1- AKHTAR, K Y I. ul Haq. 2003: Preparation and characterization of uniformly coated particles by homogeneous precipitation (cobalt compounds on nickel compounds). *Advanced Powder Technology*. Vol. 12. N o 3. P 291-456.
- 2- ALPIZAR. J. 1990: Introducción a la elaboración matemática de los resultados experimentales. *Universidad de la Habana*.
- 3- CASTELLANOS, J. 1974. *Metalurgia extractiva de los minerales oxidados de níquel*. La Habana.
- 4- CHANG, A. R. y M. Sosa. 1987: Consideraciones sobre la termodinámica del proceso de lixiviación carbonato amoniacal, 2da parte. *Revista Minería y Geología*. Vol. 5 No 1.
- 5- CHAVIANO, J. 2000: Informe técnico. Empresa del Níquel "Comandante Ernesto Che Guevara
- 6- FIFFE, J. Cinética de la disolución del níquel y el cobalto metálicos en soluciones carbonato-amoniacaes. Tesis de Doctorado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. 1985.
- 7- GARCIA, G. 1998: Diferencia en los contenidos de sulfuro enriquecido. Informe técnico. Empresa "Comandante René Ramos Latour.
- 8- GARRIDO, M y M. Slix. 2000: Precipitación de sulfuros a partir de soluciones amoniacaes. Trabajo de Diploma. I.S. M.M. Moa.
- 9- GARRIDO, M. 2000: Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonato amoniacaes. Tesis en opción al título de Master en Metalurgia Extractiva. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 80 p.
- 10- GARRIDO, M. O. 2000: Lovaina y E. Fernández. Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonato amoniacaes. *Revista Minería y Geología* No 3-4. Volumen XVII
- 11- GARRIDO, M., Lovaina, O. y Fernández E, 2001: Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonatos amoniacaes. *Revista minera y Geología* No 3- 4
- 12- GONZÁLEZ, L. 1991: Cinética de la precipitación de sulfuros de cobalto de los licores amoniacaes que contienen níquel. Informe técnico. Centro de Investigación del níquel. Moa.
- 13- HERNÁNDEZ, R. 1983: Comportamiento del sulfuro precipitado en la planta de lixiviación para el control del cobalto. Informe técnico. Empresa "Comandante René Ramos Latour".
- 14- HERNÁNDEZ R. 1996: Optimización del circuito de precipitación de cobalto en el licor producto utilizando la tecnología de ensemillamiento en reactores con agitación. Informe Técnico.



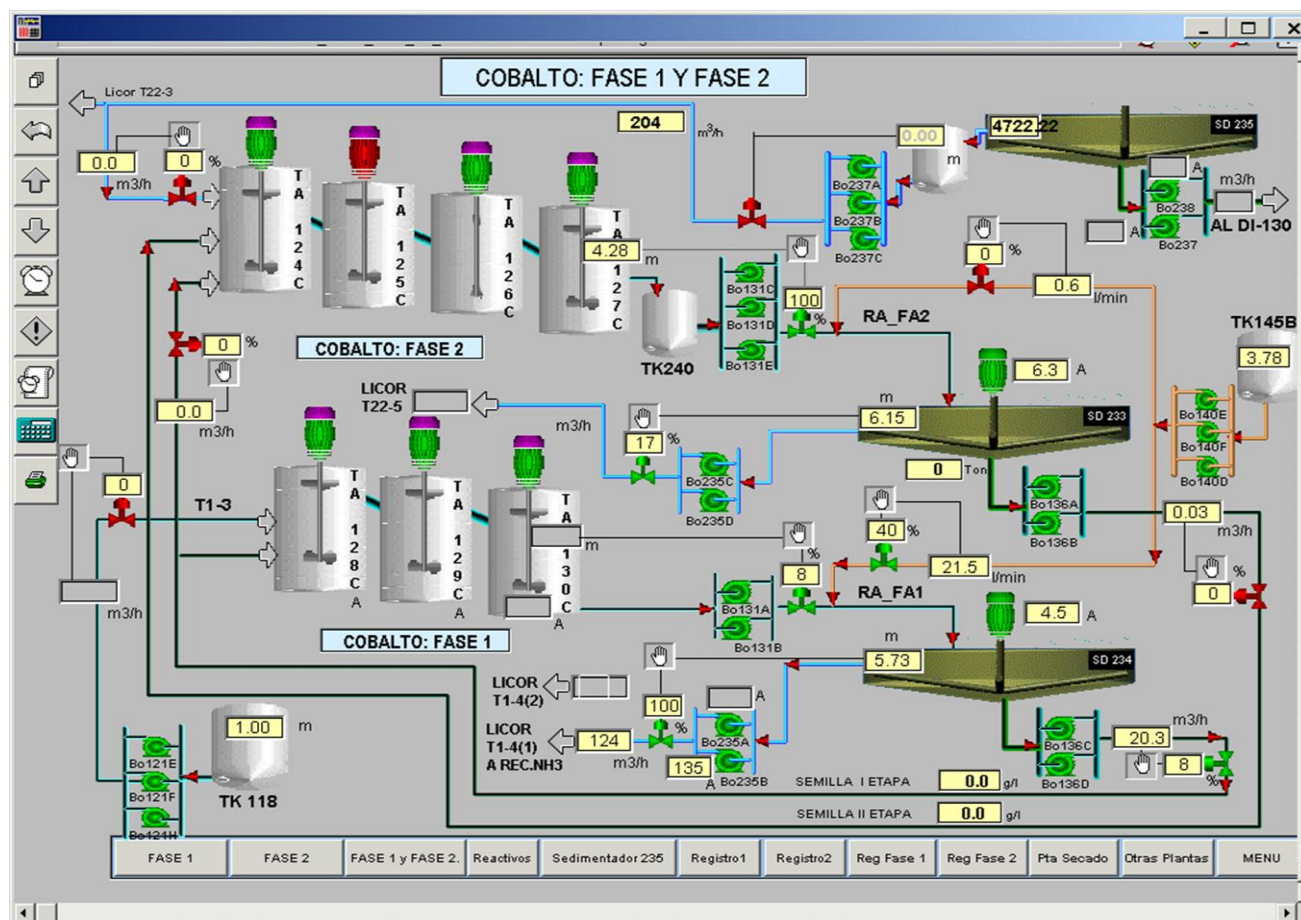
- 15- HERRERA, V Y KASAVIN, J. 1971: Separación de níquel y cobalto por el método de formación de sulfuros en las soluciones carbonatos amoniacaes. Informe Técnico. C.I.P.I.M.M.
- 16- HERRERA, V. 1964: Reporte técnico del proceso carbonato amoniacaal. Informe Técnico planta.
- 17- KASAVIN, J. 1970: Reporte de investigación. Nicaro, N0 518.
- 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- LOBAINA, O. y col. 1998: Pruebas a escala de banco para analizar el uso del sulfuro de sodio en la precipitación de sulfuros. Informe de investigación. C.I.L
- 20- LOBAINA, O. y col. 1994: Reporte técnico. C.I.L
- 21- LÓPEZ, Y E y, SANTANA. 2002: Estudio del circuito de ensemillamiento de Cobalto en la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara". Informe partir de soluciones carbonatos amoniacaes. Revista Minería
- 22- MAGAÑA, M. 2001: Revisión del circuito de precipitación de cobalto de RRL. Informe técnico.
- 23- MENÉS, G. 1998. Separación de Níquel y Cobalto por el método de formación de Sulfuros en las soluciones amoniacaes. Informe técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa
- 24- MITROFANOV, S. 1982: Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. Mir. Moscú.
- 25- MUÑOZ, A; A. Columbié y D. Guzmán. 1995. Evaluación del proceso de separación de níquel y cobalto. Revista Minería y Geología. Vol, XII N° I. p49
- 26- OSSEO, A y W. Ashine. Heterogeneous equilibria in amonia/laterite leaching system. Internacional laterite Symposium. 1979.
- 27- REYES, E y ÁLVAREZ, M. 1989: Comportamiento estadístico de la oxidación de cobalto (II) en licores industriales empleando oxido de níquel. Trabajo de Diploma. Universidad de Oriente.
- 28- RODRÍGUEZ C, GARCÍA A. 1994: Determinación del consumo de varios agentes precipitantes para la separación del cobalto. Informe Técnico..
- 29- RODRÍGUEZ C, GARCÍA A. 1996: Propuesta para esquema provisional de separación de cobalto. Informe Técnico.



- 30- RODRÍGUEZ C. 1984: Separación de níquel y cobalto en los licores de la fábrica Cmdte, Ernesto Che Guevara”.
- 31- 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.
- 32- SAMALEA, G y otros. Separación de cobalto de soluciones amoniacaes con ácido sulfhídrico en reactores tubulares. La minería en Cuba.1974
- 33- SAMALEA, G. 1978: Separación de cobalto en soluciones amoniacaes con H 2 S. La Minería en Cuba. Vol 4, Nº. IV.
- 34- SHERRIT G. 1992: Caron process study. Technical evaluation.
- 35- SLIX, M. 2000: Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonato amoniacaes. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.
- 36- SMIRNOV, I. y otros. Extracción de cobalto de los minerales y concentrados de cobre y níquel. Editorial Metalurgia.1970
- 37- 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.
- 38- 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.
- 39- ZELIKMAN, A; G.; VOLDMAN Y L. VELIAEVSKAYA. 1982: Teoría de los Procesos Hidrometalúrgicos. Editorial Metalurgia. 492p.
- 40- BERNALDO, C, PILETA. 2012: precipitación del sulfuro a partir del licor de segunda etapa de lixiviación en la Empresa Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.
- 41- Manual de operaciones de la UEB Lixiviación-Cobalto, ECG, 2002.

Anexos

Anexo 1:



Anexo 1. Flujo tecnológico de la planta de Lixiviación y Cobalto

Anexo 2:

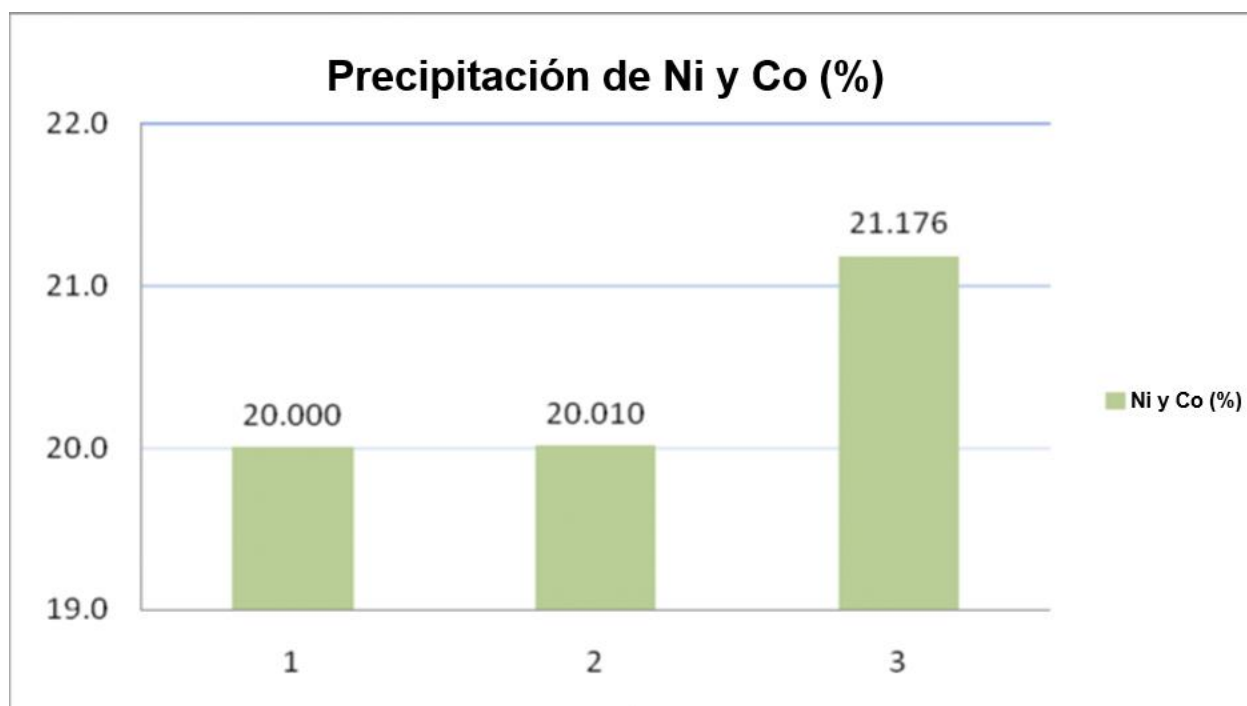


Gráfico 1. Se muestra la precipitación de Níquel y Cobalto al 20 % con semilla.

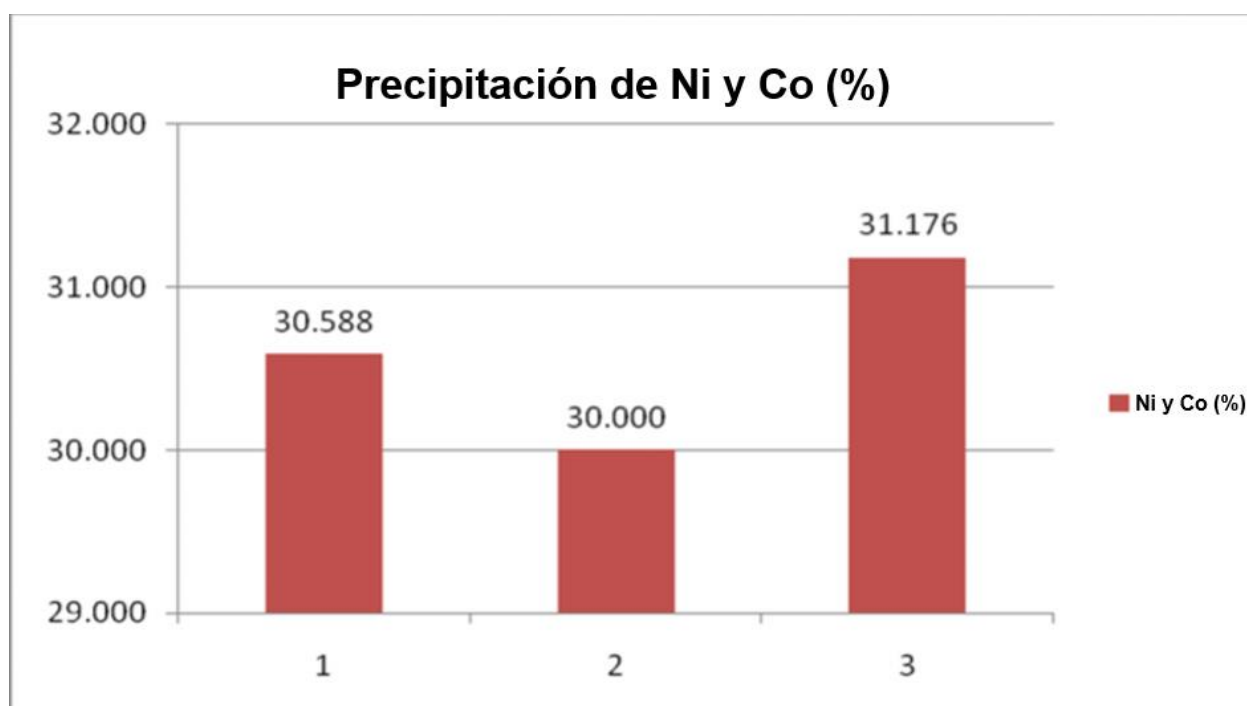


Gráfico 2. Se muestra la precipitación de Níquel y Cobalto al 30 % con semilla.