



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA

FLOCULACIÓN QUÍMICA EN PULPAS DE CARBONATO DE NÍQUEL PRODUCIDO EN LA EMPRESA "RENÉ RAMOS LATOUR"

**Tesis presentada en opción al título de
Ingeniero en Metalurgia**

MIRELIS DOMINGUEZ LECHUGA

MOA

2013



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA

FLOCULACIÓN QUÍMICA EN PULPAS DE CARBONATO DE NÍQUEL PRODUCIDO EN LA EMPRESA "RENÉ RAMOS LATOUR"

**Tesis presentada en opción al título de
Ingeniero en Metalurgia**

Autor: Mirelis Dominguez Lechuga

Tutores: Ing. Crispin Sánchez Guillen

Prof. Aux. Ing. Amaury Palacios Rodríguez, Dr C.

MOA

2013

AGRADECIMIENTOS

*A nuestra empresa y al instituto, por la posibilidad que nos ofreció de continuar
superándonos.*

*A Marcia, Martica y Cecilia por poner todo su corazón para que el proyecto de
las aulas cautivas se materializara, por confiar en nosotros y alentarnos hasta el
final.*

A mis hijos Claudia y Leonardo que me sirvieron de ejemplo.

*A mi esposo y familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más
los necesitaba.*

A mis tutores por brindarme su conocimiento y apoyo.

Ya todos los que de una u otra forma colaboraron con la realización de mi tesis.

Muchas Gracias

DEDICATORIA

A mis hijos, Claudia y Leonardo, que desde el fondo de sus corazones se sienten orgullosos con mi resultado.

A mí querido esposo Guillermo, por estar siempre a mi lado y demostrarme que en él puedo confiar.

A mis padres, hermanas y sobrinos que de una u otra forma han incentivado mi creación y fomentado mi capacidad de superación.

A mis tutores que me atendieron amablemente cada vez que los necesité.

A todos los profesores, compañeros de trabajo y en especial a mis compañeros de estudio que han luchado a mi lado todo este tiempo y me han ayudado para alcanzar el éxito.

A todos los que me quieren.

RESUMEN

El propósito de esta investigación es determinar el efecto de la floculación química en pulpas de carbonato básico de níquel obtenido en la empresa “René Ramos Latour”. Para llevar a efecto este propósito se empleo el diseño factorial completo, donde se estudiaron como variables, dosis de alimentación, concentración y punto de adición de floculante durante la sedimentación de estas pulpas. El estudio se realizó a escala industrial, evaluándose el comportamiento de tres dosis de floculantes: 20, 40 y 60 gramos por toneladas de sólido en la pulpa, así como concentraciones de 0,1, 0,30 y 0,5 g/L de floculante, además se varió la distancia del punto de adición del floculante en la línea de alimentación a valores de 1,35 y 10 m y se adicionó floculante por los dos puntos a la vez. Se obtiene un modelo matemático, el que permitió analizar la influencia de las variables estudiadas, determinándose que las mismas influyen positivamente en la recuperación del níquel en suspensión, presente en los efluentes del sedimentador de carbonato de la planta de Recuperación de Amoniacó de la empresa René Ramos Latour, además se obtuvieron los valores más adecuados que permiten las mejores condiciones tecnológicas de sedimentación con la adición de floculante en este proceso.

Abstract

The purpose of this research is to determine the effect of chemical flocculation in pulp basic nickel carbonate obtained in the company "René Ramos Latour". To fulfill this purpose we used the full factorial design, which were studied as variables, feed rate, concentration and flocculant addition point during sedimentation of these pulps. The study was conducted on an industrial scale, evaluating the behavior of three doses of flocculants: 20, 40 and 60 grams per ton of solids in the pulp, as well as concentrations of 0.1, 0.30 and 0.5 g / L flocculant, and the distance was varied flocculant addition point in the supply line to values of 1.35 and 10 m flocculant is added through the two points at a time. A mathematical model is obtained, which allowed to analyze the influence of the variables studied, determining that they positively influence the recovery of airborne nickel present in the effluent from the sedimentation of carbonate of Ammonia Recovery Plant Company René Ramos Latour also yielded the most suitable values that allow the best technological sedimentation with the addition of a flocculant in that process.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1 FUNDAMENTO TEÓRICO	5
1.1 SEDIMENTACIÓN.....	5
1.2 FLOCULACIÓN	8
1.2.1 Tipos de Floculantes	11
1.3 ESTUDIOS REALIZADOS	14
1.3.1 Instalación de preparación y dosificación de floculante a pulpa de carbonato de níquel y al sedimentador de níquel disuelto en la planta de Recuperación de Amoniaco de la Empresa Comandante Ernesto Guevara de la Serna	14
1.3.2 Antecedentes de la floculación química con pulpa de carbonato de níquel y alimentación al sedimentador de níquel disuelto de la planta de Recuperación de Amoniaco.....	15
1.4 BREVE DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL ÁREA. FIGURA 1.1.....	19
CONCLUSIONES PARCIALES	21
CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1 MATERIALES Y REACTIVOS UTILIZADOS	22
2.2 EQUIPOS.....	26
2.3 VARIABLES, NIVELES Y MATRIZ DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	29
2.4 METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA TOMA DE MUESTRAS PARA LA EXPERIMENTACIÓN.....	33
2.5 TÉCNICAS DE ANÁLISIS	33
CONCLUSIONES PARCIALES.....	34
CAPÍTULO 3 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	36
3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	46
3.3 EVALUACIÓN ECOLÓGICA.....	48
CONCLUSIONES.....	49
RECOMENDACIONES.....	50

BIBLIOGRAFÍA.....	51
--------------------------	-----------

INTRODUCCIÓN

El níquel es extremadamente utilizado, ya que posee muchas propiedades beneficiosas para distintos fines, países como Australia, Filipinas, India, poseen grandes riquezas de este metal, Cuba posee yacimientos de este mineral, con reservas probadas de 800 millones de toneladas y reservas probables de 2000 millones de toneladas, siendo la industria del níquel uno de los principales pilares económicos del país, ya que la misma aporta anualmente un elevado porcentaje de los ingresos financieros de la nación.

Para la obtención del níquel a partir de minerales lateríticos, se aplican la Tecnología de Lixiviación Carbonato Amoniacal y la Tecnología de Lixiviación Ácida a Presión.

El procesamiento de este metal en nuestro país se inicia en el año 1943, cuando comienzan las primeras producciones en Nicaro, primera industria del mundo con Tecnología Carbonato Amoniacal (proceso CARON), que nacionalizada tras el Triunfo de la Revolución, adoptó el nombre de empresa “Comandante René Ramos Latour”. En Moa operan otras dos empresas productoras: “Pedro Soto Alba” con tecnología de lixiviación ácida a presión, puesta en operación en 1959 y “Ernesto Che Guevara”, proceso CARON, operando desde 1986, con una producción total de alrededor 75 000 toneladas anuales.

El continuo incremento de los precios de los insumos principales, los bajos precios del níquel impuestos por procesos mucho más competitivos que el proceso Caron, el deterioro de las instalaciones, así como la obsolescencia tecnológica y los bajos índices de eficiencia metalúrgica han afectado en los últimos años la producción de la empresa “Comandante René Ramos Latour”, lo que ha provocado una situación crítica en términos de rentabilidad económica.

En esta empresa una de las operaciones más común en las plantas de Lixiviación y Lavado, y Recuperación de Amoniaco es la sedimentación-clarificación de pulpas. La

sedimentación es la operación consistente en separar de una suspensión un fluido claro que sobrenada y un lodo bastante denso que contenga una elevada concentración de materias.

Esta industria hace unos cuantos años tiene implementado la dosificación de polímeros en la planta de Lixiviación para atenuar las llamadas crisis de sedimentación, y en los sedimentadores de sulfuros para disminuir las pérdidas de níquel como níquel en suspensión.

El proceso de sedimentación del carbonato básico de níquel de la planta de Recuperación de Amoniaco no cuenta con la adición de ningún polímero, a pesar de que las pérdidas de níquel como suspensión en el reboso representan más del 50 % del total, afectando la eficiencia de recuperación de este metal y con ello los costos de producción, los ingresos y el medio ambiente.

Situación problemática: Necesidad de mejoras de la eficiencia del proceso de sedimentación-clarificación del carbonato básico de níquel, así como incrementar la recuperación del níquel presente en los efluentes del sedimentador de carbonato de la planta de Recuperación de Amoniaco.

El **problema científico** consiste en el desconocimiento de la influencia de la adición de floculantes (dosis de alimentación, concentración y posición de adición de floculante) al proceso de sedimentación del carbonato básico de níquel obtenido en la empresa “René Ramos Latour”.

Objeto de investigación: pulpa de carbonato básico de níquel a sedimentación.

El **Objetivo general de la investigación** es determinar el efecto de dosis de alimentación, concentración y posición de adición de floculante durante la sedimentación de pulpas de carbonato básico de níquel de la empresa “René Ramos Latour”.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el proceso de sedimentación de las pulpas de carbonato básico de níquel.
2. Diseñar el experimento y preparar la instalación de floculante en el sedimentador de carbonato de la planta de Recuperación de Amoniaco.

3. Determinar las regularidades físicas del proceso de sedimentación de las pulpas de carbonato con adición de floculantes.

Hipótesis: si se determinan los principales efectos de la dosis de alimentación, concentración y posición de adición de floculante, entonces se podrán buscar las mejores condiciones tecnológicas de sedimentación con la adición de floculantes.

Campo de acción: Transformaciones físicas del proceso de sedimentación.

Metodología de la Investigación.

Obtenida la información bibliográfica se realizará una síntesis con un análisis valorativo de la información y se harán los cálculos necesarios para la operación, determinándose las opciones o alternativas tecnológicas más factibles para ser evaluadas, incluyendo la definición de las condiciones preliminares de operación para el estudio experimental, las que serán optimizadas posteriormente.

El análisis estadístico fue auxiliado por métodos computacionales como el EXCEL y StatGraphics

Los aportes de la investigación son:

En lo Científico:

Contribución al conocimiento del comportamiento del níquel presente en el carbonato básico de níquel al ser sometido a un proceso de floculación en los sedimentadores de la planta de Recuperación de Amoniaco de la empresa “René Ramos Latour”, con la finalidad de mejorar la eficiencia de recuperación de este metal.

Los métodos experimentales, de análisis y los resultados obtenidos pueden ser utilizados en posteriores investigaciones, así también, empleados en la toma de decisiones acerca de lo que resta por ser investigado y el nuevo conocimiento que debe ser producido.

En lo Social:

Esta investigación es una contribución al aprovechamiento racional e integral de los recursos minerales, al lograr disminuir las pérdidas de níquel, además se logra una disminución en el uso de reactivos para la recuperación del níquel presente en residuales líquidos y con ello se contribuye a minimizar los impactos ambientales del territorio

Forma parte de la política de implementación de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, ya que responde a la necesidad de lograr empresas más eficientes con menores costos de producción.

En lo Económico:

La investigación es de utilidad a partir de materializar la minimización de las pérdidas del níquel presente en el licor de reboso del sedimentador de carbonato y el incremento de los ingresos por este concepto. La difusión de los resultados previstos incide sobre el aporte económico de esta u otra investigación, al permitir, tras obtener resultados fidedignos, evitar reiteraciones en las posteriores investigaciones.

En la actualidad operan varias fábricas con esta tecnología como la Ernesto Che Guevara, en Moa, Cuba, Queensland Níquel y Greenvale en Australia, Tocantins en Brasil y Nonoc en Filipinas. Las mejoras a esta tecnología poseen un alcance internacional.

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTO TEÓRICO

En la tecnología carbonato amoniacal, que es la que utiliza la Empresa René Ramos Latour para el procesamiento de los minerales lateríticos, uno de los métodos de separación mecánica de sólidos y líquidos más común es la sedimentación, empleada en lixiviación y lavado, recuperación de amoniaco y precipitación de sulfuros. En los sedimentadores las partículas sólidas tienden a descender por efecto de la fuerza de gravedad y acumularse en el fondo del equipo y por encima del cual queda el líquido claro.

Para la aceleración y mejora del proceso de sedimentación y clarificación de los licores se utilizan floculantes, aumentando así la capacidad de los equipos de separación líquido-sólido.

1.1 Sedimentación

La sedimentación es una operación unitaria de transporte de la cantidad de movimiento, en la que intervienen las fases líquido-sólido; es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

Esta operación se lleva a cabo en equipos denominados sedimentadores, en los cuales las partículas sólidas tienden a descender, siguen la ley de caída libre de un cuerpo en el seno de un fluido, se obtienen de esta forma, en el fondo, un lodo bastante denso y con una concentración de sólidos superior a la de la suspensión alimentada, mientras que, en la parte superior se obtiene un fluido claro que debe estar libre de partículas sólidas.

Según (Falcón 1983), (Beirys & Falcón 1985), (Rosabal & Valles 1988) existen diferentes factores que influyen de forma directa en la eficiencia de esta operación tales como:

Diferencia de densidades entre el fluido claro y el sólido:

La diferencia de densidades influye de forma positiva en la velocidad de separación de las fases, cuando se opera con una mayor diferencia de densidades entre los componentes referidos, de manera que pudiera producirse la separación por decantación del licor claro. Por lo tanto, la velocidad de separación se favorece con un aumento de la diferencia de densidades de estos componentes.

La viscosidad del fluido:

La viscosidad del fluido, al igual que la diferencia de densidades, influye de forma positiva en la velocidad de separación si se opera con valores relativamente bajos de esta, ya que para valores altos de viscosidad el líquido ofrece mayor resistencia al movimiento de descenso del sólido, y se dificulta la sedimentación.

La temperatura de operación:

La temperatura de trabajo, que aparentemente no se considera en esta operación, ejerce gran influencia en los factores anteriores, puesto que, cualquier variación de esta, provoca efectos marcados en la densidad y viscosidad de los componentes.

La estabilidad de la suspensión:

La estabilidad de la suspensión es un factor muy importante. La suspensión puede comportarse como inestable, en el caso de que las fuerzas de atracción de Van der

Waals sean las responsables de promover la agregación entre partículas, que incrementa el tamaño de los flóculos lo que favorece el proceso de sedimentación, mientras que una suspensión estable prácticamente no sedimenta.

El predominio de la interacción repulsiva o de agregación obedece a la densidad de carga eléctrica superficial (σ_0) y a la fuerza iónica del medio dispersante, lo cual puede expresarse también mediante el potencial zeta (ξ). Tanto σ_0 como ξ son funciones del pH y de la fuerza iónica del medio dispersante.

En los pH correspondientes a puntos de máximos valores absolutos de potencial zeta, las fuerzas repulsivas son más importantes, lo que debe dar lugar a suspensiones más estables con un comportamiento reológico ligeramente pseudoplástico con tendencia a newtoniano. Por el contrario, al aproximarse el valor de potencial zeta a cero (i.e.p), es de esperar comportamientos plásticos o altamente pseudoplásticos, debido al predominio de las fuerzas atractivas las cuales inducen a la formación de agregados.

La magnitud de la densidad de carga eléctrica de las partículas está relacionada con la formación de complejos iónicos en su superficie (en dependencia de las fases mineralógicas o compuestos químicos que forman la fase sólida), la adsorción de iones, la adición de electrolitos, etc.

Un aumento de la fuerza iónica del medio trae consigo un incremento de la densidad de carga y una disminución del potencial zeta, a pH distintos del punto isoeléctrico, debido a la compresión de la doble capa eléctrica, lo que facilita que las partículas se acerquen unas a otras al predominar las fuerzas de Van der Waals. La atracción entre partículas favorece la floculación y, por consiguiente, la sedimentación (Beyris & West 1992).

Velocidad de sedimentación:

Cuando las partículas son muy finas el proceso de sedimentación se dificulta, se hace muy lento, lo que conlleva al uso de aparatos muy grandes donde la suspensión debe someterse al proceso largo tiempo para obtener la capacidad de producción diaria deseada (Rabinóvich 1987), (Ferrer & Acosta 1991). Con el fin de incrementar la velocidad de sedimentación en estos casos, se emplean métodos de floculación, que consisten en provocar la formación de agregados de partículas, que

tienen un mayor tamaño y peso que las partículas individuales. La floculación puede ser de naturaleza física, cuando el agrupamiento de las partículas se logra por agitación mecánica leve, por medios magnéticos o por calentamiento; o química, cuando se usan reactantes especiales que forman flóculos grandes que atrapan las partículas pequeñas o que proporcionan cargas eléctricas que hacen atraerse a las partículas (polímeros de alto peso molecular).

1.2 Floculación

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

En la minería, los floculantes utilizados son polímeros sintéticos de alto peso molecular, cuyas moléculas son de cadena larga y con gran afinidad por las superficies sólidas. Estas macromoléculas se fijan por adsorción a las partículas y provocan así la floculación por formación de puentes entre partículas.

Estos floculantes se han desarrollado mucho, puesto que son eficaces a bajas concentraciones para activar la floculación, mejorar la cohesión de los flóculos, aumentar la velocidad de sedimentación y acelerar el tamaño de los lodos al producir grandes flóculos de considerable fuerza mecánica. Comparados con los polímeros naturales, ofrecen la ventaja de tener una mayor pureza, mayor estabilidad, calidad y eficacia. No añaden sustancias insolubles a los lodos y no modifican las propiedades físico-químicas del agua con el objetivo de reciclar líquidos clarificados.

Para la aceleración y mejora del proceso de sedimentación y clarificación de los licores se utilizan floculantes, aumentando así la capacidad de los equipos de separación líquido-sólido.

Factores que influyen en la floculación química

Las partículas floculadas poseen dos características importantes de sedimentación. La primera es la estructura complicada de los flóculos. Los agregados tienen enlaces débiles entre las partículas y retienen una gran cantidad de agua dentro de la estructura que acompañan a los flóculos iniciales que sedimentan, aunque estos sedimentan según la sedimentación libre y en principio se cumplen las ecuaciones

generales, no es práctico usar cuantitativamente las leyes de sedimentación porque no pueden definirse fácilmente el diámetro ni la forma de los flóculos.

La segunda características de una suspensión floculada es la complejidad de su mecanismo de sedimentación.

Para lograr una buena floculación, tomando como referencia la velocidad de sedimentación de la pulpa y clarificación de los licores, es necesario tener en cuenta una serie de factores como los siguientes:

Concentración de sólido

La estabilidad de los flóculos crece simultáneamente con la densidad de la pulpa, como consecuencia del aumento de la probabilidad de recombinación de los pigmentos de los flóculos rotos. No obstante para soluciones muy concentradas, la velocidad de sedimentación es muy pequeña debido a la corriente ascendente de fluido desalojado estableciéndose un equilibrio entre ambos fenómenos.

Forma de adicionar el floculante

Con la adición del floculante en varias etapas se obtienen mejores resultados que con la adición en una etapa simple, para la misma suspensión y la misma dosis óptima en ambos casos. Uso de múltiples puntos de adición, reduce la duración de la agitación necesaria para completar la distribución del floculante y el mismo método favorece la floculación (Rodríguez, 1986).

Agitación

La agitación prolongada puede causar una defloculación, ruptura mecánica de los flóculos, de toda forma es necesario un óptimo estado de agitación para lograr que las partículas se acerquen lo suficiente para formarse puentes (Rodríguez, 1986).

Influencia de la temperatura de la pulpa

Un aumento de la temperatura de la pulpa no mejora la floculación, estudios dicen que una pulpa a 35 °C da peores resultados que a 10 °C (González, 1984).

Sin embargo estudios demuestran que en las pulpas de carbonato la temperatura influye directamente en la densificación de la pulpa, pulpas con densidades parecidas al aumentar la temperatura, el % de sólidos es mayor (González, 1978)

Modificación de la pulpa, licor y floculante en función del tiempo

Los estudios deben realizarse de forma inmediata, con el tiempo pueden cambiar su composición. Por ejemplo, el agua conservada después de algunos días sufre modificaciones, sin embargo los floculantes no deben utilizarse inmediatamente después de preparada la solución, sino que es necesario un cierto tiempo de maduración para que su eficiencia sea óptima. Esto varía con el tipo de floculante. Así, con los orgánicos naturales varía entre 2 y 15 horas y con los sintéticos del orden de 30 minutos, la temperatura del agua con la que se prepara el floculante juega un papel importante, con agua muy fría se necesita un tiempo de maduración más largo.

Además se ha demostrado que existe un punto a partir del cual, el aumento de la temperatura produce peores resultados a la temperatura de ebullición del agua.

Los envases donde se preparan necesitan estar bien limpios para evitar el desarrollo de microorganismos por lo tanto las cubas deben de ser de acero inoxidable y limpiadas periódicamente con formol.

El pH

Puede afectar a la cantidad y tipo de cargas presentes en una superficie sólida y la cantidad de carga libre y por tanto a la configuración del polímero en solución, un polímero catiónico tiende a ser más eficazmente absorbido en una superficie aniónica que en una neutra. En un polímero aniónico, la fase de absorción es en gran parte, debida al mecanismo no específico de Van der Waals y puede no estar influenciado por consideraciones de carga y estos son más efectivos en soluciones alcalinas. (González, Rolando. 1970).

Habitualmente la eficacia máxima en medio muy ácido, a pH de 1 a 1.5, decrece a continuación hasta pH igual a 5 y vuelve a ascender hasta alrededor de un pH de 7.5 a 8 formando bien un pico, después presenta un mínimo a pH igual 10 pero posteriormente presenta un intervalo ascendente.

Influencia de la superficie del sólido

La dosis óptima de floculante es directamente proporcional a la superficie específica del sólido, es decir, el tamaño y la forma de los granos.

Peso molecular del floculante

Un aumento del peso molecular conduce a un aumento en la relación óptima floculante/sólido.

Dosis óptima del floculante

Para una cierta concentración de sólido todo el polímero añadido es absorbido sobre los mismos. El punto a partir del cual el polímero no es totalmente absorbido corresponde a la dosis óptima que será la cantidad máxima de polímero que puede ser absorbido sobre el sólido para producir un sistema floculado.

Con el incremento de la dosis de floculante se ha comprobado que disminuye la máxima densificación de las pulpas.

Otros factores

1. La capacidad de hinchamiento de algunas arcillas o sea, su aumento de volumen a la entrada de agua a formar parte de su estructura.
2. La solubilidad del sólido en el líquido.
3. La viscosidad del líquido.
4. El uso indiscriminado de polielectrolito, sin un estudio detallado, puede conducir a no conseguir los resultados esperados.

1.2.1 Tipos de Floculantes

Los floculantes se clasifican en:

Floculantes inorgánicos o electrolitos

Cuyo objetivo es disminuir las fuerzas de repulsión como consecuencia de la doble capa y de potencial electrocinética. Los electrolitos han sido los primeros floculantes usados.

Floculantes naturales

Estos son compuestos orgánicos y están formados por polisacáridos cuyo principal representante es el almidón o sus derivados.

Floculante sintético

La distinción entre polímeros naturales y sintéticos no está muy clara, es difícil establecer el límite entre ambos grupos.

Los floculantes sintéticos son polímeros lineales de elevado peso molecular, solubles en agua, efectivos generalmente a concentraciones muy pequeñas y poseen grupos

activos distribuidos a lo largo de sus cadenas que tienen gran afinidad por la superficie sólida.

El principal mecanismo de floculación de estos agentes es la formación de puentes, aunque los otros tipos contribuyen a la misma. Por ejemplo, la reducción del potencial electrocinético mediante la absorción de iones del polímero cargado opuestamente en la doble capa influyen la floculación, pero no es el mecanismo principal, esto se demuestra porque suspensiones cargadas negativamente son floculadas frecuentemente con éxito por floculante iónico, los cuales pueden solamente incrementar el potencial electrocinético.

Se dividen en tres clases diferentes.

Floculantes sintéticos no iónico

Son casi exclusivamente poliacrilamidas preparadas por polimerización de la acrilamina bajo la acción de catalizadores de oxidación-reducción o iniciadores de cadena. Un esquema del mecanismo en cadena iniciada por radicales libres que crean lugares activos para el comienzo del crecimiento de la cadena es el siguiente:

Iniciación..... $M + X^\circ = M^\circ + X$

Propagación..... $M + M^\circ = MM^\circ$

$M + MM^\circ = MMM^\circ$

$M + M_n^\circ = M_{n+1}^\circ$

Donde:

X° : radical libre producido por adición del iniciador.

$^\circ$: Lugar activo.

M = Monómero.

Los radicales libres se producen mediante pequeñas cantidades (miliequivalente por litro de solución acrilamida) de iniciadores químicos y su actividad se transfiere primero del iniciador al monómero y es retenida por la cadena creciente hasta que se termina.

Las poliacrilamidas con un peso molecular comprendido entre 1 y 5 millones, tienen un grado de polimerización del orden de 15000.

Floculantes iónicos o polielectrolitos

Estos poseen características de electrolitos simples tales como cargas eléctricas o grupo ionizables, capaces de experimentar disociación electrolítica o grupos ionizables, capaces de experimentar disociación eléctrica para los iones altamente cargados. La carga adquirida por una solución de polielectrolitos depende del grado de ionización y consecuentemente del pH del medio.

A partir de una cadena de poliacrilamida estándar se puede volver positivo o negativo el polímero. Por tanto estos pueden ser: aniónicos o catiónicos:

a) Los polielectrolitos aniónicos están representados por:

- Poliacrilamidas parcialmente hidrolizada, ejemplo: Los Separan, Aerofloc 3453.
- Ácidos poliacrílicos.
- Poliacrilnitrilos hidrolizados, tales como Aerofloc, Pang.
- Ácidos poliestirenos sulfónicos.
- Ácidos polivinilsulfónicos.
- Derivados de las celulosas.

b) Los polielectrolitos catiónicos están representados por:

- Poliacrilamida parcialmente sustituida con grupos amonio cuaternario.
- Polietileniminas.
- Polivinilaminas.
- Polivinilpiridinas.

Floculantes copolímero

Estos pueden obtenerse por copolimerización directa de monómeros mezclados, o mediante modificación subsecuente de un homopolímero, entre estos se encuentran: copolímero estireno – ácido maleico, copolímero ácido acrílico – ácido maleico, copolímero acetato de vinilo – anhídrido maleico, como los Lytron.

Usos fundamentales de los floculantes

El campo de aplicación de los floculantes es amplio, en tratamiento de agua, tratamientos de residuos, procesos de papel y pulpas, preparación del carbón, procesos de minerales, procesos químicos, industria fotográfica, refinamiento del petróleo, lavado de gases de los hornos y otros.

Los floculantes son altamente eficaces a bajas concentraciones para activar la floculación, aumentan la velocidad de sedimentación, aceleran el tamaño de los lodos al producir flóculos de considerable fuerza mecánica, tienen elevada eficacia como coagulantes y coadyuvantes, aun en pequeñas dosis, ya forman flóculos de estructura.

1.3 Estudios realizados

1.3.1 Instalación de preparación y dosificación de floculante a pulpa de carbonato de níquel y al sedimentador de níquel disuelto en la planta de Recuperación de Amoniacó de la Empresa Comandante Ernesto Guevara de la Serna

En la Empresa Comandante Ernesto Guevara de la Serna el volumen de licor producto que se destila es aproximadamente 340 m³/h y la pulpa de carbonato de níquel sale de los alambiques a una temperatura de 95 °C.

La dosificación de floculante a los sedimentadores de carbonato y níquel disuelto se realiza desde hace más de 10 años y en la actualidad se flocula con el floculante cubano QUIMIFLOC A-100, floculante aniónico a base de poliacrilamida de alto peso molecular, el mismo tiene aplicaciones en una amplia variedad de operaciones de procesamiento de minerales y tiene aplicaciones en otras industria como la del papel y azucarera.

Se cuenta con una instalación automática donde se prepara una solución madre de 2 a 3 g/L, diluyendo luego hasta 0.6 g/L.

Para el sedimentador de carbonato de níquel se utiliza una dosis de 80 g/t, la línea de floculante se inserta a la línea de carbonato por dos puntos, uno a 25 m de la descarga y el otro a 3 m, donde se mezcla con el carbonato y caen en el sedimentador, se logra una gran recuperación del níquel presente en sólidos en suspensión.

Para el níquel disuelto el floculante se inyecta en el tanque de reboso del sedimentador de carbonato que con el reactivo (hidrosulfuro de amonio) se alimenta el sedimentador de níquel disuelto. La dosis utilizada es de 5 g/m³ de licor producto destilado.

1.3.2 Antecedentes de la floculación química con pulpa de carbonato de níquel y alimentación al sedimentador de níquel disuelto de la planta de Recuperación de Amoniac

En junio de 1966 se comenzaron las pruebas a escala de laboratorio de la influencia de floculantes en la velocidad de sedimentación del carbonato de níquel en los sedimentadores de recuperación de amoniac por el Ing. Emilio Gumarov, estas pruebas se realizaron en espesadores de diámetro de 1,37 m y altura de 1,95 m. El reboso contiene hasta 0,010 kg de Ni por hectolitro (100 g/m³).

A escala de laboratorio se realizaron determinaciones de la velocidad de sedimentación y sólidos en suspensión de los rebosos después de añadido el Separan NP-10 en la pulpa de carbonato que entran en los espesadores, además se determinó el tiempo de filtrado de 1 litro de pulpa espesada.

La concentración óptima del Separan NP-10 que se utilizó es de 1 g de floculante por 1 litro de agua. Por los sólidos en suspensión se decantó 500 cm³ de la solución después de 12,5 minutos de haber añadido el Separan NP-10.

Utilizando 2 g de Separan NP-10 por m³ de pulpa los licores clarificados contienen 0,001 kg/hl (10 g/m³) de sólidos en suspensión y la velocidad de sedimentación aumenta en 3,5 veces.

Adonis Gonzáles en 1978 estudió la densificación de pulpas espesadas de carbonato de níquel, para ello, tomaron en probeta de 1000 ml muestras de carbonato de níquel a la entrada de los filtros EIMCO, salida de los sedimentadores, determinándole densidad inicial.

La pulpa se dejó sedimentar hasta que la altura del sólido permaneció invariable, esta se efectuó a las temperaturas de 50, 60, 70 y 80 °C, además se calculó el porcentaje de sólidos final por la expresión siguiente:

$$\%_{\text{sólidos}} = \frac{\rho_{\text{sólido}} * (\rho_{\text{pulpa}} - \rho_{\text{licor}})}{\rho_{\text{pulpa}} * (\rho_{\text{sólido}} - \rho_{\text{licor}})} * 100$$

Donde:

$\%_{\text{sólidos}}$: % de sólidos finales

$\rho_{\text{sólido}}$: Densidad del carbonato. (2,78 g/cm³)

ρ_{Pulpa} : Densidad final de la pulpa espesada.

ρ_{Licor} : Densidad del licor claro.

Se obtiene que la temperatura influye directamente en la densificación de la pulpa, pulpas con densidades parecidas al aumentar la temperatura los % de sólidos son mayores.

Además se realizó pruebas de variación de la altura de sólidos y se calculó la densidad final de la pulpa espesada. Al analizar los resultados se llegó a la conclusión que la pulpa de carbonato de níquel cuando se varía la altura total de la pulpa inicial, la densidad final de la pulpa espesada no varía.

Según proyecto realizado por Ing. Raúl Rodríguez Gan. Mayo 1985, la planta necesita para optimizar la operación de sedimentación de carbonato de níquel dos sedimentadores de 18 m de diámetro con un área cada uno de 254 m², obteniéndose un área unitaria de 2,06 m²/t/día, cuando hay sobrecarga de la alimentación de carbonato o poca extracción de pulpa por el fondo provoca un incremento en la turbidez y pérdidas de níquel, decidiéndose operar con dos sedimentadores en paralelo, incrementando el área unitaria hasta 4,13 m²/t/día, por lo que la turbidez debe estar entre 50 y 60 ppm.

En estudiorealizado por Ing. Raquel Hernández Pérez, Ing. Magali Paz del Valle. Agosto 1993se evalúa a nivel industrial la utilización del floculante Praestol 2505, añadiéndose en la línea del distribuidor al sedimentador del carbonato para garantizar el mezclado del floculante.

El floculante se preparó en 2 tanques de 1 m³ cada uno, uno para dosificación y el otro para preparar el nuevo floculante, se utiliza una lanza de aire para la agitación y la disolución preparada con concentración de 5 g/L y diluida hasta 0,5 g/L para adicionarla al carbonato.

La concentración del floculante se comprobó periódicamente mediante la determinación de la viscosidad con un gráfico, viscosidad vs concentración preparado en el laboratorio.

La dosis utilizada fue entre 100 y 300 g de floculante por tonelada de carbonato de níquel, controlándose el flujo de licor destilado, floculante y agua de dilución del

floculante. Se determinó níquel total y disuelto en el reboso del sedimentador de carbonato y se siguió la humedad del carbonato.

En este estudio no se tuvo en cuenta los sólidos introducidos en las demás corrientes que entran al sedimentador pues no son estables en cuanto a caudal y contenido metálico, estas son: agua proveniente de los filtros rotatorios, descarga de los filtros de cartuchos, el bombeo de la piscina y la descarga del filtro de pantalón.

Se llega a la conclusión que el floculante Praestol 2505 aplicado industrialmente en el sedimentador de carbonato en dosis de 100 a 300 g/t de carbonato de níquel, no fue efectivo, pues fue poco significativa la disminución de los sólidos en suspensión.

En pruebas realizadas a escala de banco (García & Rojas, 2000) con cinco floculantes (Percol, IP-600, A-41, A-42 y A-43) se tomaron muestras de pulpa a la entrada del sedimentador de carbonato de níquel, se evaluó la sedimentación y clarificación de los licores con dosis de 1, 3 y 5 mL/L. Los floculantes se prepararon a una concentración de 0,1 g/L. La pulpa del sedimentador de carbonato básico de níquel tiene un pH = 8,22.

La velocidad de sedimentación aumenta en más de 300 % para todos los floculantes probados. Con el aumento de la dosis añadida, aumenta la velocidad y disminuyen los sólidos en suspensión. Es bueno aclarar que generalmente el carbonato estaba mezclado con sulfuro de níquel, de la recuperación del níquel disuelto, por lo que se pudieron realizar pocas pruebas, ya que se desconoce la relación carbonato/sulfuro real en la mezcla.

Se obtuvo una significativa reducción de los sólidos en suspensión con la adición de 5 mL/L en los floculantes Percol, A-41 y 43. Los mejores resultados en cuanto a clarificación del licor fueron para el floculante Percol, el que dio menores valores de sólidos en suspensión en los licores clarificados. Las dosis corresponden en cada caso a 11, 33 y 55 g/t. Se observa que se aumenta la velocidad de sedimentación con la adición de floculante entre 300 y 590 %. En el caso floculante A-43 el incremento fue menor.

En estudio realizado por Evangelina García Peña.2002 se determinó la dosis óptima de floculante a utilizar en pulpas de carbonato de níquel obtenidas del proceso carbonato amoniacal, para ello se evaluaron dos muestras de pulpa de carbonato de

níquel, una corresponde a la descarga de los alambiques de licor con una capacidad de producción de 440 m³ /h de licor y la otra a una capacidad de 330 m³ /h.

Las dosis de floculante evaluadas corresponden a 5, 10, 15, 20 y 25 g/t de sólidos secos en concentraciones de 0,5; 0,25 y 0,125 g/L.

Se obtuvo una dosis óptima de floculante de 15 g/t de sólidos secos para 330 m³/h de licor procesado y 20 g/t de sólidos secos para 440 m³/h y para ambos casos los mejores resultados de sólidos en suspensión se obtienen para la concentración del floculante de 0.25 g/L.

Varios investigadores del tema (García, Milanés, Trujillo. 2004) han llegado a la conclusión que con el aumento de la dosis de floculante aumenta la velocidad de sedimentación y los sólidos en suspensión disminuyen pero no son menores que 100 ppm en pulpas de carbonato de níquel y pulpa de sulfuro de níquel de la recuperación de níquel disuelto, en este estudio se evaluó el floculante PICIZ 7010 y se comparó con el A-100 y con el A-5041 de la firma ChemateK.

Las pruebas se realizaron a escala de banco, se probaron dosis de 1, 3, 5 y 7 ml/L para pulpas de bajas densidad con una concentración de 0,1 g /L.

Para pulpa de sulfuro de níquel de la recuperación de níquel disuelto, por ser una pulpa de baja densidad, las dosis empleadas fueron 1, 3 y 5 ml de solución por litro de pulpa tratada. La concentración de la solución fue de 0,2 g/L.

Según la investigación realizada por Ing. Eluberto Espinosa Espinosa, Ing. Yaidisury Salazar Infante, Ing. Ariadna Martínez Laurencio, Ing. Jorge Almaguer Domínguez. 2008 concluyen que del níquel que sale del reboso del sedimentador de carbonato, el 58,97 % va en forma de suspensión, en todos los casos el níquel en suspensión es mayor al níquel disuelto y del níquel perdido en el reboso del sedimentador de sulfuro el 61,70 % va en forma de suspensión, de las 2,71 toneladas totales perdidas en el período de análisis, 1.67 toneladas se pierden como níquel en suspensión.

En este estudio para las pulpas de carbonato se evaluaron los floculantes siguientes:

- PICIZ 7010, Quimifloc A-100, C-300, 400 PL, 115U, 120U, 125U.

En total se efectuaron 31 determinaciones, de ellas en 20 se le aplicó dosis de 20 g de polímeros por toneladas de sólidos base seca y a 11 determinaciones se le aplica dosis de 40 g/t obteniéndose los resultados siguientes:

La floculación no tiene efectos negativos en el proceso de filtración, considérese que los flóculos, por la acción de los sistemas de bombeo centrífugos intercalados posterior al proceso de sedimentación, son destruidos.

En la velocidad de sedimentación el polímero de mejores resultados es el Quimifloc C-300 al lograr para dosis de 20 y 40 g/t valores en el rango de 14,93 hasta 33,60 m/h, con un valor medio de 26,343 m/h y que resulta ser 3,366 veces la velocidad de sedimentación para la muestra en blanco.

1.4 Breve descripción del diagrama de flujo del área. Figura 1.1

La pulpa de carbonato básico de níquel procedente de los alambiques de licor, con aproximadamente 2,5% de sólidos es despresurizado en los tanques flash y de aquí por medio de bombas es enviado al tanque distribuidor, el cual descarga por gravedad al sedimentador que tiene como función sedimentar y espesar dicha pulpa. La temperatura de la pulpa en este punto oscila entre 88 y 95 °C. Existen dos sedimentadores, uno en operación y otro de reserva, deben operar según diseño con una densidad final de 1080 a 1100 g/L. Los productos del proceso de sedimentación son el licor de reboso y la pulpa de carbonato de níquel.

El licor de reboso: Se envía al reactor donde se le inyecta el agente precipitante (hidrosulfuro de amoníaco o sulfhidrato de sodio) con el objetivo de recuperar el níquel disuelto en este licor y precipitarlo en forma de sulfuro de níquel en el sedimentador destinado para ese fin, el reboso del sedimentador de sulfuro se vierte en el canal de drenaje de la empresa.

La pulpa de carbonato: Se extrae por el fondo del sedimentador por medio de bombas que la envían a los filtros rotatorios al vacío, los cuales tienen la función de eliminar el agua presente en la pulpa hasta valores de 66%.

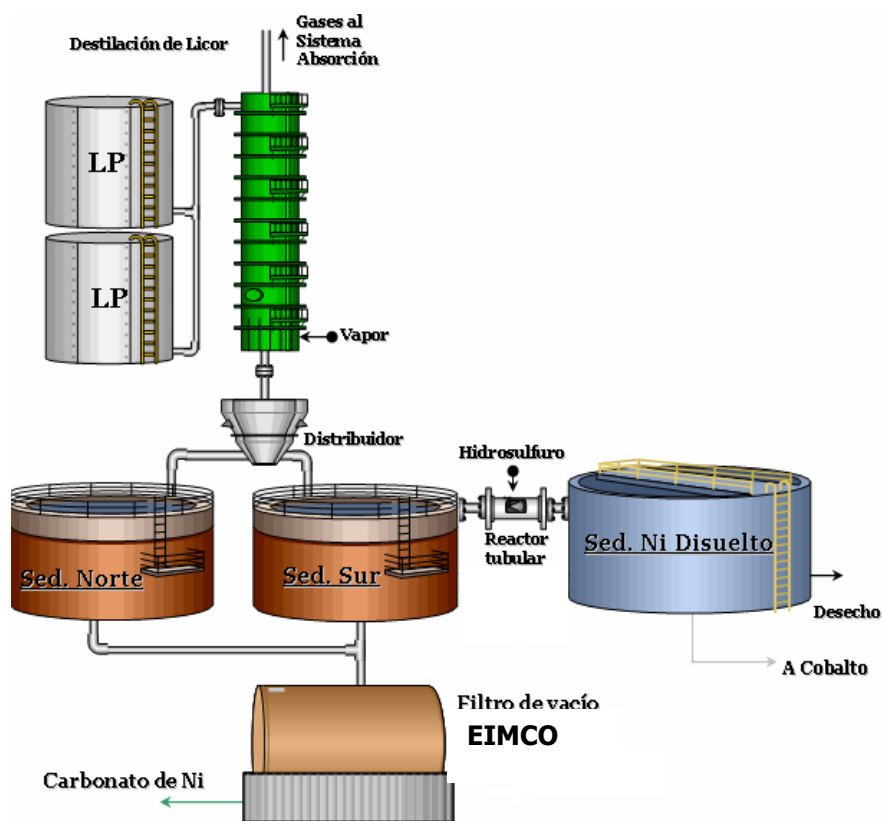


Figura 1.1 Diagrama de flujo del proceso de sedimentación del carbonato básico de níquel

Caracterización de los sedimentadores de carbonato

Los sedimentadores de carbonato son tanques de concreto de 18 metros de diámetro, de fondo cónico con un eje central provisto de cuatro brazos dispuestos de manera que arrastren hacia el centro del tanque la pulpa sedimentada, los brazos se encuentran provistos de raspadores de 20 y 38 centímetros, dos brazos miden 8,92 metros y los otros 6,8 metros; tiene además una canal interior próxima al techo que permite la salida del licor clarificado. Posee instalaciones de seguridad y alarma de sobrecarga si el torque aumenta por encima del valor permisible. Ver tabla 1.1.

Tabla 1.1 Caracterización de los sedimentadores de carbonato básico de níquel

Área de sedimentación	240	m ²
Volumen del sedimentador	685	m ³
Velocidad de los brazos	8.3	min/vuelta
Altura mínima de los brazos	5	cm

Altura máxima de los brazos	40	cm
Tiempo de retención	4 - 6	Horas
Potencia motor del mecanismo	4	Kw
Potencia del motor de los brazos	2.2	Kw

Productos del proceso de sedimentación

Pulpa de carbonato

% Ni = 48 – 50

Densidad = 1080 – 1100 g/l

Temperatura = 85 – 90 °C

Licor de reboso

Ni total = 0,05 g/l

Ni disuelto = 0,02 g/l

Ni suspensión = 0,03 g/l

Conclusiones parciales

De lo anterior investigado se puede concluir que:

1. Investigaciones realizadas con anterioridad demuestran la efectividad del uso de floculantes para mejorar las condiciones de sedimentación de pulpas de carbonato de níquel.
2. En la empresa Comandante Ernesto Guevara de la Serna se emplea la floculación de las pulpas de carbonato de níquel con resultados favorables.

CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo tiene como objetivo principal exponer la metodología para la realización experimental de la floculación química en pulpas de carbonato básico de níquel producido en la empresa “Comandante René Ramos Latourt” para determinar las regularidades físicas del proceso de sedimentación de estas pulpas.

A continuación se exponen y explican los materiales, reactivos y equipos a utilizar durante la experimentación.

2.1 Materiales y reactivos utilizados

Caracterización de la pulpa de carbonato a la entrada del sedimentador.

Para caracterizar la pulpa de carbonato de níquel, proveniente de la destilación del licor producto, se tomaron muestras puntuales en la entrada del sedimentador con el objetivo de determinarle:

- Densidad de la pulpa.
- Densidad del sólido.
- % Níquel en el carbonato.
- Velocidad de sedimentación.
- Máxima densificación.

En la tabla 2.1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 2.1 Características de la pulpa de carbonato de níquel a la entrada del sedimentador

	Densidad pulpa (g/L)	Densidad del sólido (g/L)	Ni Carbonato (%)	Velocidad de sedimentación (m/h)	Máxima densificación (g/L)
Promedio	994,49	2,85	48,42	3,70	1187,1
Máximo	1012,7	3,15	50,3	8,88	1388,8
Mínimo	974,8	2,24	45,4	1,20	1045,0

Caracterización del licor de reboso del sedimentador de carbonato de níquel

Para caracterizar el licor de reboso del sedimentador de carbonato fue necesario tomar muestras de licor en el toma muestra colocado en la línea de reboso del sedimentador, a estas muestras se le determinó:

- Níquel total.
- Níquel en sólidos en suspensión.
- pH.
- Densidad del licor.

Los resultados se muestran en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Características del licor de reboso del sedimentador de carbonato de níquel

	Níquel total (g/L)	Níquel en sólidos en suspensión (g/L)	pH	Densidad del licor (g/L)
Promedio	0,234	0,125	8,39	958,0
Máximo	0,441	0,291	8,98	988,8
Mínimo	0,135	0,060	7,88	921,6

Características del floculante a utilizar

El floculante que se empleará es el Piciz 7010, floculante aniónico que ocasiona un intercambio de cargas entre los potenciales eléctricos existentes en solución acuosa a lo largo de la cadena polímera, y las cargas superficiales de las partículas sólidas en suspensión. Las superficies se desestabilizan y se capacitan para una coagulación y floculación.

Las soluciones madres se puede preparar con una concentración de hasta 0.5 % a través de una unidad automática. Las soluciones deben añejarse unos 30 a 60 minutos para lograr la máxima eficacia. Debe utilizarse agua de alta calidad y el agua para la disolución secundaria debe añadirse a la solución madre justo antes de dosificar, en una proporción al menos de 10:1, evitándose el uso de bombas centrifugas para el trasiego del polímero.

Datos generales

Polímero del ácido acrílico (poliacrilamida).

Formula química: $(CH_2CHCONH_2)_x$

Propiedades

Apariencia: Polvo blanco granular.

Grado de carga, (mole %): 33

Peso molecular relativo: Medio

Densidad, (kg/m³): 780 a 880

pH, (solución 0.5 %, 25°C): 5 a 7

Olor: Inodoro.

Color: Incoloro.

Solubilidad en agua: Limitada por viscosidad.

Se recomienda almacenar en áreas secas y protegidas de la lluvia, el producto en polvo envasado en sacos de 25 kg, en pallet de 1000 kg.

Cálculo de los parámetros de operación necesarios

Para los cálculos del flujo de solución de floculante y el consumo diario del mismo, se tomó información del control diario de la producción en el proceso en el área de Recuperación de Amoniaco del 1ro al 27 de enero, donde se le dio seguimiento al volumen de licor producto destilado y a la concentración de níquel en el licor producto, parámetros que se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Comportamiento de algunos parámetros de operación del área de Recuperación de Amoniaco de la René Ramos Latour

Turno	Destilación de LP			Reboso del Sedimentador Carbonato					
	Volumen	Ni		Ni Total		Ni Disuelto		Ni Suspensión	
	(m ³)	g/L	t	g/L	t	g/L	t	g/L	t
Promedio	1872	7,03	13,16	0,339	0,698	0,121	0,249	0,218	0,449
Máximo	2115	7,75	16,39	0,526	1,224	0,281	0,654	0,245	0,570
Mínimo	1332	6,25	8,33	0,278	0,407	0,077	0,113	0,201	0,294

El volumen de licor producto destilado es de 156 m³/h y la concentración de níquel de 7,03 g/L, promedios de la etapa analizada, determinando las toneladas de níquel

destilado y la masa de sólido en base seca (2,285 t/h) y considerando el 48 % de níquel en el carbonato. Se calcula la masa de sólido en el carbonato por la ecuación (1).

$$M_{\text{sólidos}} = \frac{LP_{\text{Dest}} \cdot \text{Conc}[\text{NiLP}]}{\% \text{Ni}[\text{CO}_3] \cdot 1000} \quad \dots(1)$$

Donde:

$M_{\text{sólidos}}$: Masa de sólido en t/h.

LP_{Dest} : Licor producto destilado en m³/h.

$\text{Conc}[\text{NiLP}]$: Concentración de níquel en el licor producto en g/l.

$\% \text{Ni}[\text{CO}_3]$: Níquel en el carbonato en %.

Conociendo la masa de sólidos, la dosis a utilizar y la concentración de la solución de floculante se puede determinar el flujo de floculante que debe utilizarse, por la ecuación (2).

$$F_{\text{Floculante}} = \frac{\text{Dosis}_{\text{Floculante}} \cdot M_{\text{Sólido}}}{\text{Conc}_{\text{Floculante}} \cdot 60} \quad \dots(2)$$

Donde:

$F_{\text{Floculante}}$: Flujo de floculante en L/min

$\text{Dosis}_{\text{Floculante}}$: Dosis de floculante en g/t (gramos de floculante por toneladas de sólido en la pulpa.

$M_{\text{Sólido}}$: Masa de sólido en t/h.

$\text{Conc}_{\text{Floculante}}$: Concentración de la solución de floculante en g/L.

Con una dosis de 40 g de floculante por toneladas de sólido de carbonato de níquel, el consumo es de 2,193 kg/día y un flujo de 3,05 L/min de solución diluida hasta 0.5 g/L de floculante. La solución madre se prepara a 2 g/L.

Como el objetivo final es la recuperación del níquel en los sólidos en suspensión de los rebosos del sedimentador de carbonato, con el níquel total y disuelto obtenido del control de la producción, por un balance de masa se determina el níquel que se encuentra en los sólidos en suspensión. Ver tabla 2.3.

Tabla 2.4 Comportamiento del níquel en los rebosos de los sedimentadores de carbonato

Del 1ro al 27 de enero del 2010	Ton/día	%
Ni destilado:	24,47	100
Ni destilado que no va a la filtración:	1,297	5,30
Ni destilado en el reboso como sólido en suspensión:	0,758	3,10
Ni en el reboso del sedimentador de carbonato como sólidos en suspensión:	0,758	58,43

En la tabla 2.4 se muestra que se destilan 24,47 toneladas de níquel diarias como promedio, de ellas 1,297 toneladas no van al proceso de filtración por encontrarse en el licor de reboso del sedimentador, representando el 5,30 % de lo destilado, y 0,758 toneladas como sólido en suspensión, siendo el 58,43 % del níquel que no va a filtración está dado por el níquel como sólidos en suspensión.

2.2 Equipos

Preparador Automático de Floculante Sólido

El preparador automático de floculante sólido utilizado es presentado en la figura 2.1, el mismo cuenta con una tolva donde se deposita el floculante y un dosificador que lo suministra automáticamente. En el tablero de control se ajusta la concentración y el consumo deseado en kilogramos por hora.



Figura 2.1 Preparador Automático de Floculante Sólido

En la tabla 2.5 se muestran las características fundamentales del preparador automático de floculante sólido.

Tabla 2.5 Principales características del Preparador Automático de Floculante Sólido

Características	Especificaciones
Capacidad de producción nominal(L/h)	6,000
Flujo de agua para dilución (L/h)	1,734 (dilución madre al 0,5 %) 6,934 (2da dilución al 0,1 %)
Calidad del agua de dilución	Libre de sólidos suspendidos
Material de fabricación de los tanques	Polipropileno
Rango de preparación (%)	0,2 al 0,5 en solución madre 0,1 a +0,15 en solución final
Cantidad de producto alimentada (kg/h)	4 a 132
Dimensiones(mm)	3946 x 1550 x 1953
Consumo de energía	440 V; 60 Hz; 5,0 kW

La solución de floculante se vierte en un tanque con un control de nivel para evitar derrames, el mismo se emplea para la maduración y almacenaje, la instalación cuenta además con bombas dosificadoras que permiten regular de forma manual el consumo o flujo, tiene capacidad para 6000 L/h.

La planta cuenta con dos tanques de 1 m³ cada uno, desde donde se dosificaría a la línea de carbonato de níquel que alimenta el sedimentador.

Instalación empleada en el proceso de investigación

Con el fin de lograr los objetivos propuestos, fue necesario realizar una instalación con el propósito de recepcionar y almacenar la solución de floculante a alimentar al sedimentador de carbonato básico de níquel (figura 2.2), cuenta con los elementos siguientes:

- Dos tanques donde se almacena la solución de floculante.
- Registro en cada tanque, para el chequeo interior o para la adición de floculante en polvo.

- Línea de agua a cada tanque, para el lavado o para la preparación de la solución de floculante.
- Línea de aire a cada tanque para la agitación de la solución de floculante.
- Línea de agua en la descarga de los tanques, para lavar la línea.
- Dos embudos donde se realizará la calibración de los flujos de solución de floculante y agua a cada sedimentador.
- Línea de agua a cada embudo para la dilución de la solución de floculante a cada sedimentador.
- Niveles de cristal.
- Cuatro rotámetros, dos para la solución de floculante y dos para el agua de dilución.

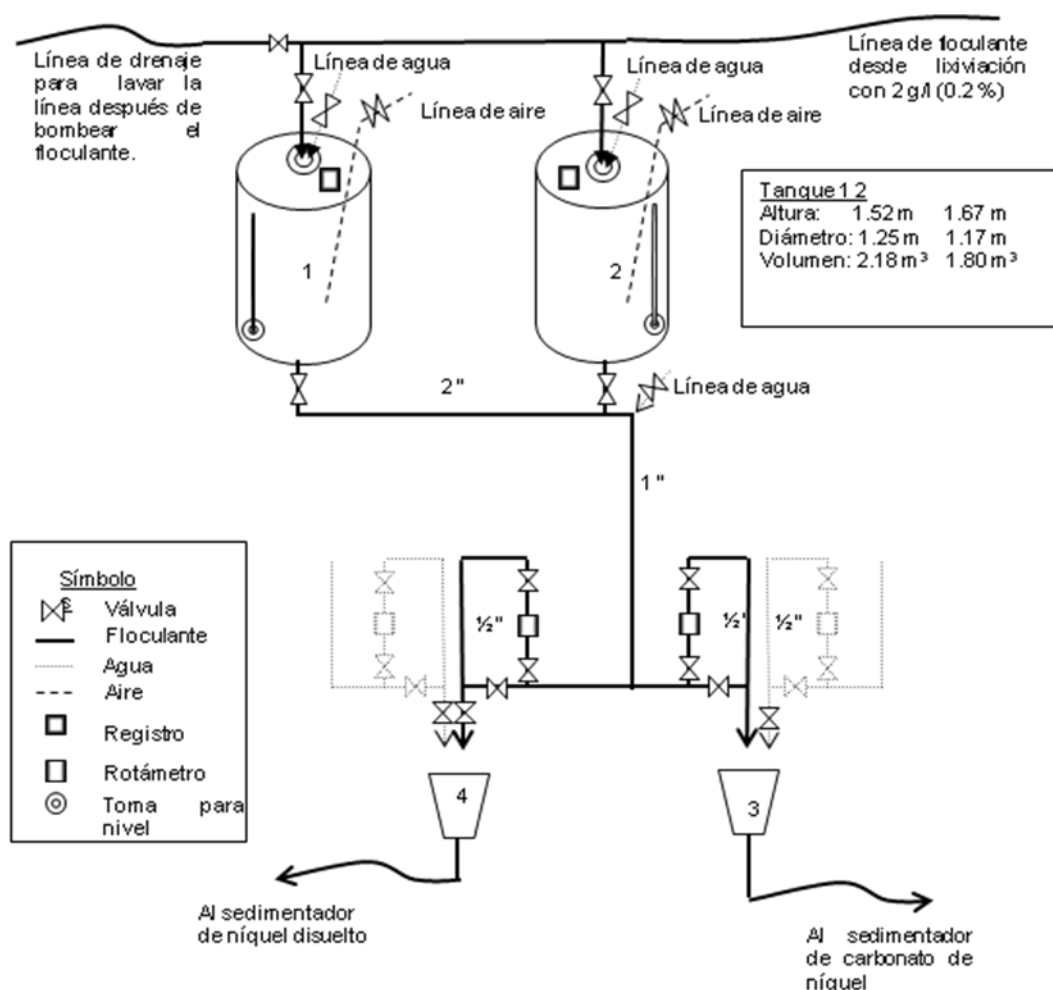


Figura 2.2 Instalación de floculación química de la Planta de Recuperación de Amoniaco

Rotámetros

En la figura 2.3 se muestran los rotámetros empleados para medir el flujo de floculante alimentado.



Figura 2.3 Rotámetro utilizado para la medición del flujo de solución de floculante.

2.3 Variables, niveles y matriz del diseño experimental

Para la planificación de los experimentos, elaboración y valoración de los resultados experimentales se utilizó el software STATGRAPHICS. Versión 5.1. Se utilizó un diseño factorial del tipo 3³ que estudia los efectos de tres variables, a tres niveles. Para el procesamiento de los datos de las pruebas de floculación se utilizó el Excel. Se estudió la influencia de los parámetros que a continuación se relacionan sobre las regularidades físicas del proceso de sedimentación de las pulpas de carbonato con adición de floculantes:

Variables Independientes:

- Posición de adición del floculante.
- Concentración del floculante.
- Dosis del floculante.

En la investigación se trabajó con los siguientes parámetros constantes:

Variables fijas:

- Flujo de licor producto a destilar, m³/h: 140 – 170
- Concentración de níquel en el licor producto a destilar, g/L: 6 – 8
- Concentración de amoníaco en el licor producto, g/L: 52 – 62
- Concentración de la solución madre de floculante, g/L: 2

Variables dependientes:

- Ni en sólidos en suspensión en el reboso del sedimentador de carbonato.

Para el diseño de la matriz de experimentación se utilizó el método factorial completo, que está basado en todas las posibles combinaciones entre las variables de estudio y los niveles escogidos, como se muestra en la tabla 2.6 las variables son: dosis del floculante utilizado es de 20, 40 y 60 gramos de floculante por tonelada de sólido en el carbonato, la concentración de floculante 0,1; 0,30 y 0,5 g/L y el punto de adición del floculante se sitúa a 1,35 y 10 metros antes de la descarga de la línea de alimentación de carbonato de níquel al sedimentador y simultáneamente en ambos puntos.

Tabla 2.6 Variables y niveles de experimentación

Variables Independientes	Niveles		
	Mínimo	Medio	Máximo
Dosis del floculante (g/t)	20	40	60
Concentración del floculante (g/L)	0,1	0,30	0,5
Posición del floculante (m)	1,35	10	18,65

Se estudiarán tres factores y tres niveles, quedando la cantidad de pruebas a realizar de la forma siguiente:

$$N = n^{\theta}$$

donde:

N: número de experimentos;

n: número de niveles;

θ : número de factores

Determinación de la cantidad de pruebas:

$$3^3 = 27 \text{ pruebas.}$$

Tabla 2. 7 Matriz de experimentación codificada o variables de entrada

No.	Posición del floculante (m)	Dosis de floculante (g/t)	Concentración del floculante(g/L)
1	+	+	+
2	+	+	-
3	+	+	x
4	+	-	+
5	+	-	-
6	+	-	x
7	+	x	+
8	+	x	-
9	+	x	x
10	-	+	+
11	-	+	-
12	-	+	x
13	-	-	+
14	-	-	-
15	-	-	x
16	-	x	+
17	-	x	-
18	-	x	x
19	x	+	+
20	x	+	-
21	x	+	x
22	x	-	+
23	x	-	-
24	x	-	x
25	x	x	+
26	x	x	-
27	x	x	x

Durante la investigación se realizarán 27 ejecuciones, como puede verse en la tabla 2.8, cada una será en los dos turnos de trabajo del día (cada 12 horas), con dos réplicas cada una, por lo que se necesitarán 81 días.

Tabla 2.8: Matriz real experimental.

No.	Posición del floculante (m)	Dosis de floculante(g/t)	Concentración del floculante(g/L)
1	1,35	20	0,10
2	1,35	20	0,25
3	1,35	20	0,50
4	1,35	40	0,10
5	1,35	40	0,25
6	1,35	40	0,50
7	1,35	60	0,10
8	1,35	60	0,25
9	1,35	60	0,50
10	10	20	0,10
11	10	20	0,25
12	10	20	0,50
13	10	40	0,10
14	10	40	0,25
15	10	40	0,50
16	10	60	0,10
17	10	60	0,25
18	10	60	0,50
19	18,65	20	0,10
20	18,65	20	0,25
21	18,65	20	0,50
22	18,65	40	0,10
23	18,65	40	0,25
24	18,65	40	0,50
25	18,65	60	0,10
26	18,65	60	0,25
27	18,65	60	0,50

2.4 Metodología empleada en la toma de muestras para la experimentación

Se aplicó el muestreo descrito en la norma de empresa NEIB 03-06-02 “Muestreo del licor de reboso de los sedimentadores de carbonato básico de níquel y níquel disuelto”, la misma establece la siguiente metodología para la toma de la muestra:

- Se toma una muestra puntual cada dos horas, para ello se abre la válvula y se drena la línea por unos instantes.
- Coloque el frasco destapado debajo del chorro de licor de reboso y endúlcelo 2 ó 3 veces.
- Tome la muestra (100 mL) lo más rápidamente posible y tápela de inmediato, todas las tomas elementales son vertidas en un mismo frasco para formar una muestra compósito de 12 horas
- Se traslada al Laboratorio Central para su posterior análisis.

2.5 Técnicas de análisis

Los análisis químicos se realizan por la norma de empresa NEIB-01-12-47 “Determinación de níquel en muestras H_2 y H_5 . Método espectrofotométrico por Absorción Atómica”.

La muestra en forma de un aerosol, se introdujo en la llama, donde reacciones químicas y térmicas crean átomos libres capaces de absorber una longitud de onda característica. La mayor parte de los átomos libres se encuentran en el estado base, los cuales son excitados por una fuente de luz que emite una línea espectral estrecha de la energía característica. La disminución de la energía (absorción) es entonces medida. Esta absorción es directamente proporcional a la concentración de los átomos libres en la llama según la ley de Lambert-Beer.

El instrumento se calibra en estándar y la concentración de la muestra se interpola de estos, la energía de la fuente de luz se modula y los dispositivos electrónicos del equipo se sincronizan solamente para la señal de esta fuente. Como fuente de radiación para excitar los átomos libres en la llama se utiliza una lámpara de cátodo hueco la cual produce una línea espectral estrecha característica del material del cátodo. Para lograr convertir la muestra líquida en vapor se utiliza un atomizador, el cual consta de tres partes principales: un nebulizador, una cámara de nebulización y

un quemador. El sistema completo convierte el líquido en un aerosol y trasfiere la muestra al quemador donde ocurre la formación de átomos.

La medición espectrofotométrica del níquel se realiza a una longitud de onda de 248,3 nm.

En la figura 2.4 se muestra el equipo para realizar los análisis de espectrofotometría de absorción atómica SP-9.



Figura 2.4 Equipo de Absorción Atómica SP-9

Conclusiones Parciales

1. Se tienen los métodos y procedimientos adecuados para realizar la investigación y alcanzar los objetivos que se propusieron.

CAPÍTULO 3 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE 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. En la tabla 3.1 se muestran los resultados.

Tabla 3.1 Resultados experimentales de la floculación del carbonato de níquel

No.	Posición	Dosis	Concentración	Destilación de LP			Reboso Sedimentador Carbonato					
				Volumen	Ni		Ni Total		Ni Disuelto		Ni Suspensión	
	m	g/t	g/L	m ³	g/L	t	g/L	t	g/L	t	g/L	t
1	1,35	20	0,10	1628,00	6,17	10,04	0,488	0,871	0,178	0,316	0,310	0,556
2	1,35	20	0,30	1526,17	7,00	10,69	0,433	0,732	0,197	0,334	0,236	0,398
3	1,35	20	0,50	1485,67	6,43	9,51	0,405	0,646	0,196	0,311	0,209	0,335
4	1,35	40	0,10	1525,17	6,69	10,18	0,359	0,603	0,178	0,298	0,181	0,304
5	1,35	40	0,30	1464,83	7,70	11,29	0,276	0,444	0,118	0,190	0,158	0,254
6	1,35	40	0,50	1133,83	7,85	8,91	0,294	0,362	0,135	0,166	0,159	0,196
7	1,35	60	0,10	1485,83	7,23	10,73	0,269	0,441	0,139	0,229	0,130	0,212
8	1,35	60	0,30	1287,67	5,96	7,72	0,232	0,330	0,110	0,156	0,122	0,174
9	1,35	60	0,50	1449,17	6,20	8,97	0,194	0,307	0,088	0,141	0,106	0,166
10	10	20	0,10	1265,67	7,00	8,88	0,445	0,616	0,153	0,212	0,292	0,403
11	10	20	0,30	1754,50	7,37	12,93	0,408	0,787	0,171	0,332	0,237	0,456
12	10	20	0,50	1540,83	7,23	11,15	0,393	0,660	0,186	0,309	0,207	0,351
13	10	40	0,10	1153,33	7,45	8,54	0,337	0,436	0,157	0,207	0,180	0,229
14	10	40	0,30	1258,00	7,33	9,22	0,292	0,406	0,133	0,187	0,159	0,219
15	10	40	0,50	1126,67	7,72	8,73	0,362	0,447	0,181	0,222	0,181	0,225
16	10	60	0,10	1496,67	7,43	11,08	0,277	0,455	0,145	0,235	0,132	0,220
17	10	60	0,30	1465,33	7,58	11,09	0,308	0,492	0,177	0,282	0,131	0,209
18	10	60	0,50	1349,83	7,75	10,46	0,252	0,373	0,142	0,209	0,111	0,164
19	18,65	20	0,10	1010,00	7,42	7,49	0,246	0,273	0,110	0,121	0,136	0,152
20	18,65	20	0,30	1661,67	7,54	12,52	0,242	0,441	0,109	0,199	0,133	0,242
21	18,65	20	0,50	1563,17	7,34	11,50	0,276	0,479	0,137	0,235	0,140	0,244
22	18,65	40	0,10	1677,17	7,76	13,00	0,262	0,483	0,139	0,257	0,122	0,226
23	18,65	40	0,30	1580,00	7,57	11,94	0,225	0,388	0,103	0,175	0,123	0,214
24	18,65	40	0,50	1590,83	7,67	12,19	0,302	0,521	0,169	0,291	0,133	0,229
25	18,65	60	0,10	1718,67	7,13	12,28	0,237	0,442	0,147	0,272	0,090	0,170
26	18,65	60	0,30	1409,50	6,61	9,32	0,348	0,532	0,263	0,397	0,086	0,135
27	18,65	60	0,50	1156,67	6,42	7,43	0,370	0,484	0,324	0,426	0,046	0,058

En esta tabla se aprecian todos los resultados de los experimentos realizados, incluyendo los mejores y los de menor validez, así como las diferentes condiciones que los sustentan con respecto a dosis, concentración y posición de adición de floculante.

3.1 Análisis estadístico de los resultados experimentales

El procesamiento de estos datos fue realizado a través del programa STATGRAPHICS PLUS 5.1. El intervalo de confianza escogido para este diseño es de un 95 %, todos los factores e interacciones que tengan un valor probable menor que 0,05 (los cuales pueden también identificarse gráficamente si no sobrepasan la línea vertical azul de diagrama de Pareto) no tiene significación estadística y por lo tanto pueden eliminarse sin una repercusión grave en los resultados del modelo.

Tabla 3.2 Efectos estimados para Ni Suspensión

Efectos estimados	Valor	Error estándar
promedio	0,264333	+/- 0,0272767
Posición	-0,102778	+/- 0,0252533
Dosis	-0,181	+/- 0,0252533
Concentración	-0,056	+/- 0,0252533
Posición - Dosis	0,077	+/- 0,0309289
Posición - Concentración	0,0596667	+/- 0,0309289
Dosis - Concentración	-0,0055	+/- 0,0309289

La tabla 3.2 muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones. También se muestra el error normal de cada uno de los efectos, el cual mide su error de muestreo.

Puede observarse que las tres variables estudiadas inciden en la disminución del níquel presente en forma de suspensión en el reboso del sedimentador de carbonato, siendo las de mayor impacto la dosis de floculante adicionada y la posición donde se adiciona el floculante en la línea de alimentación, esto se puede comprobar en el Gráfico de Pareto estandarizado para Ni Suspensión como se muestra en la figura 3.1, donde se describen los efectos de las variables estudiadas, todos los factores de influencia considerados y de su respectiva interacción. Como puede verse las

variables estudiadas fueron estadísticamente significativas, en los resultados que brinda este gráfico se nota que la dosis, la posición y la concentración tienen un efecto negativo sobre el níquel en suspensión, es decir que contribuyen a que el mismo disminuya.

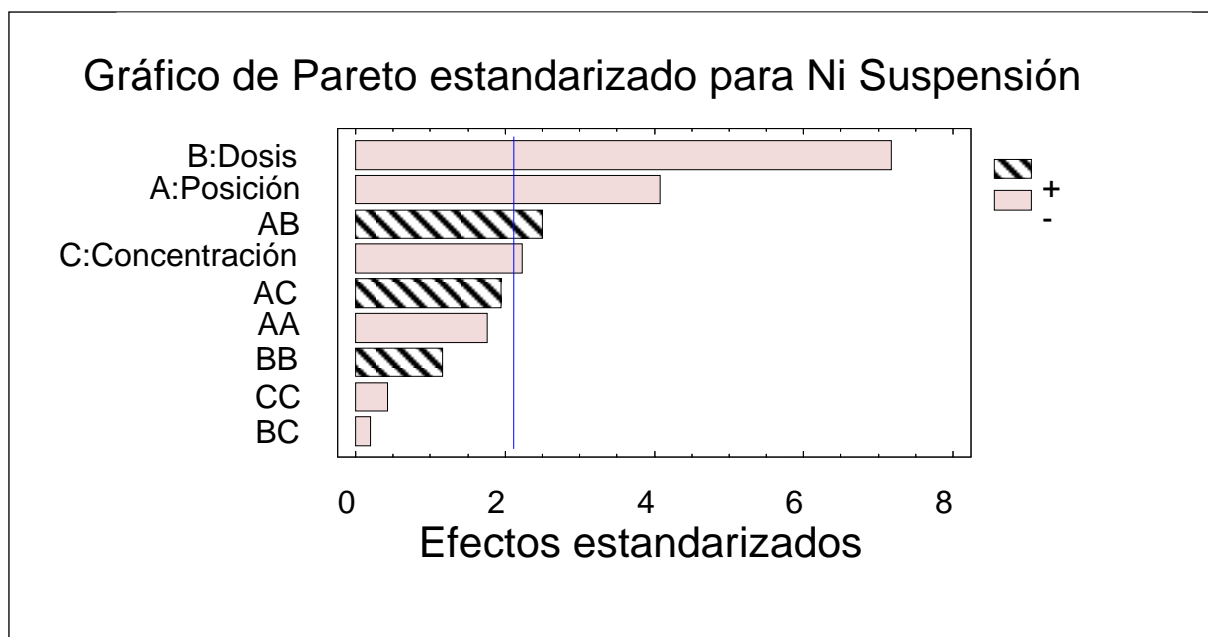


Figura 3.1 Gráfico de Pareto estandarizado para Ni Suspensión

En la tabla 3.3 se muestra el análisis de varianza de la sedimentación del níquel en suspensión. Se observa que algunas de las variables poseen un valor probable inferior a 0,05, para un 95 % de nivel de confianza, indicando que poseen significación estadística sobre la sedimentación de níquel en suspensión.

Tabla 3.3 Análisis de la Varianza para Ni Suspensión (ANOVA)

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	Estadígrafo F	Valor Probable
Posición	0,0475347	1	0,047534	16,56	0,0008
Dosis	0,147424	1	0,147424	51,37	0,0000
Concentración	0,014112	1	0,014112	4,92	0,0405
Posición - Dosis	0,017787	1	0,017787	6,20	0,0234
Posición -	0,0106803	1	0,010680	3,72	0,0706
Dosis - Concentración	0,0000907	1	0,000090	0,03	0,8610
Error Total	0,0487864	17	0,002869	-	-
Total (corr.)	0,299442	26	-	-	-

$$R^2 = 83,7076 \%$$

$$R^2 \text{ (ajustado)} = 75,0822 \%$$

$$\text{Error Estándar de Estimación.} = 0,0535704$$

$$\text{Error absoluto de la media} = 0,0322881$$

$$\text{Estadístico Durbin-Watson} = 1,83174 \text{ (P=0,1173)}$$

$$\text{Autocorrelación residual Lag 1} = -0,0441708$$

La tabla de ANOVA divide la variabilidad en Ni Suspensión en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos. En este caso, 4 de los efectos tienen los p-valores inferiores a 0,05; indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0 % de nivel de confianza.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 83,7076 % de la variabilidad en Ni Suspensión. Para el intervalo de confianza establecido en este diseño (95 % de confiabilidad) se comprueba que el ajuste del modelo se considera bueno, pues así lo indica el estadístico R^2 ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 75,0822 % (hasta 70 % se considera aceptable). El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0,0535704. El error absoluto de la media de 0,0322881 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el valor probable es superior a 0.05, no hay indicios de correlación de serie en los residuos.

En la tabla 3.4 se muestra los coeficientes de regresión para el níquel en suspensión.

Tabla 3.4 Coeficientes de regresión para Ni Suspensión

PARAMETROS	VALOR
Constante	0,708651
Posición	-0,00981413
Dosis	-0,0115775
Concentración	-0,149947
Posición - Posición	-0,000510096
Posición - Dosis	0,000222543
Posición - Concentración	0,0172447

Dosis - Dosis	0,0000629167
Dosis - Concentración	-0,0006875
Concentración -Concentración	-0,225

Partiendo de la tabla anterior y procesando la información, a continuación se muestra la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos a partir del STATGRAPHICS. La ecuación del modelo ajustado es

$$\begin{aligned} \text{Ni Suspensión} = & 0,708651 - 0,00981413 \cdot \text{Posición} - 0,0115775 \cdot \text{Dosis} - 0,149947 \cdot \\ & \text{Concentración} - 0,000510096 \cdot \text{Posición}^2 + 0,000222543 \cdot \text{Posición} \cdot \text{Dosis} + \\ & 0,0172447 \cdot \text{Posición} \cdot \text{Concentración} + 0,0000629167 \cdot \text{Dosis}^2 - 0,0006875 \cdot \text{Dosis} \cdot \\ & \text{Concentración} - 0,225 \cdot \text{Concentración}^2 \end{aligned}$$

Siendo los valores de las variables especificados en sus unidades originales.

A partir de la valoración realizada y empleando los efectos estimados para Ni Suspensión (tabla 3.1) y el gráfico de Pareto estandarizado (figura 3.1), se excluyeron las variables menos significativas (Posición - Posición, Posición - Concentración, Dosis - Dosis, Dosis - Concentración y Concentración - Concentración), mostrando el nuevo resultado estadístico.

En la figura 3.2 se muestra el gráfico de Pareto estandarizado, en el mismo aparecen sólo las variables estudiadas y las interacciones que tienen significación estadística.

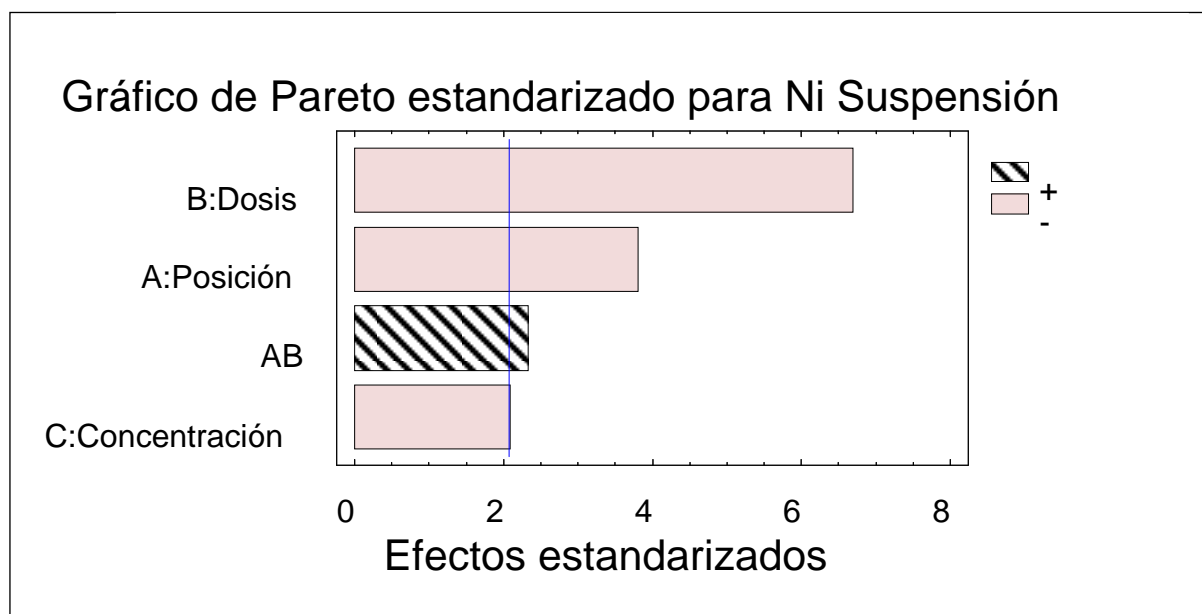


Figura 3.2 Gráfico de Pareto estandarizado para Ni Suspensión

En el gráfico de Pareto estandarizado se excluyeron las variables menos significativas, mostrando que las variables de mayor influencia sobre el níquel en suspensión son la dosis de floculante y la posición en que se adiciona el mismo, y la interacción entre la dosis de alimentación y la posición, la concentración tienen una menor incidencia en el níquel en suspensión presente en el reboso del sedimentador. La figura 3.3 corresponde al Gráfico de Efectos principales para el Níquel en Suspensión, en el mismo se muestra el efecto de las variables estudiadas: dosis, concentración y posición de adición de floculante.

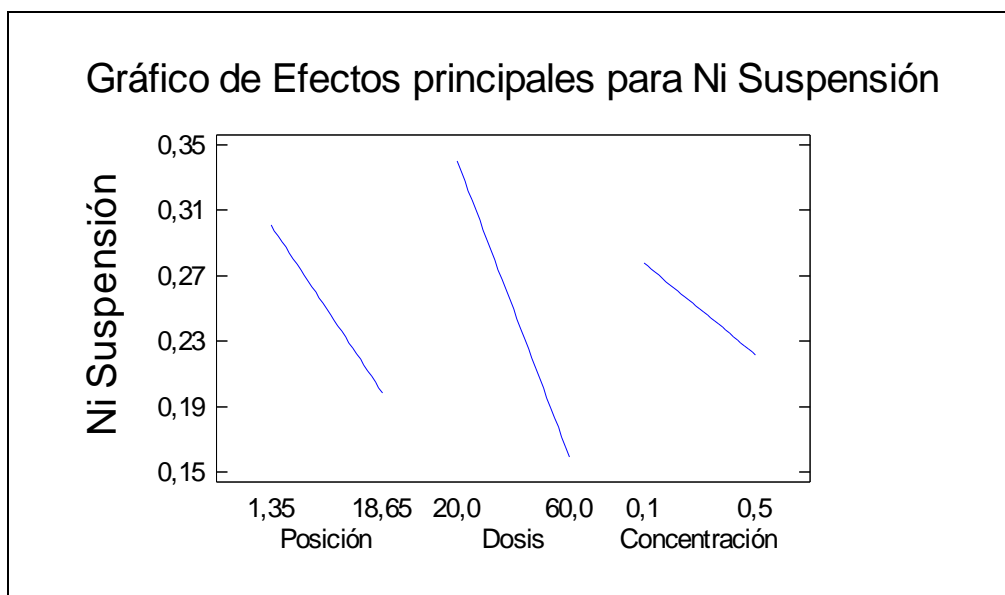


Figura 3.3 Gráfico de Efectos principales para Ni Suspensión

Como se puede observar en la figura 3.3, la dosis de floculante incide directamente en el níquel en suspensión, con el aumento de la dosis el contenido de níquel disminuye considerablemente, para dosis de 20 g/t se logran valores de níquel en suspensión de aproximadamente 0,33 g/L, disminuyendo con el incremento de la dosis hasta valores aproximados de 0,16 g/L con dosis de 60 g/t, lo mismo sucede con la posición de adición del floculante, cuando esta variable posee niveles mínimos (1,35 m) el contenido de níquel en suspensión se encuentra alrededor de 0,28 g/L, disminuyendo en la misma medida que la posición se acerca a los niveles máximos donde se alcanzan valores de 0,20 g/l aproximadamente, el incremento de la concentración de floculante incide favorablemente en la recuperación del níquel en

forma de suspensión; al incrementarse la concentración de 0,10 g/L hasta 0,50 g/L disminuye el níquel en suspensión desde valores de 0,28 g/L hasta 0,24 g/L .

La figura 3.4, muestra el gráfico de la interacción para níquel en suspensión, en el mismo se muestran las interacciones de la dosis y la posición de adición de floculante.

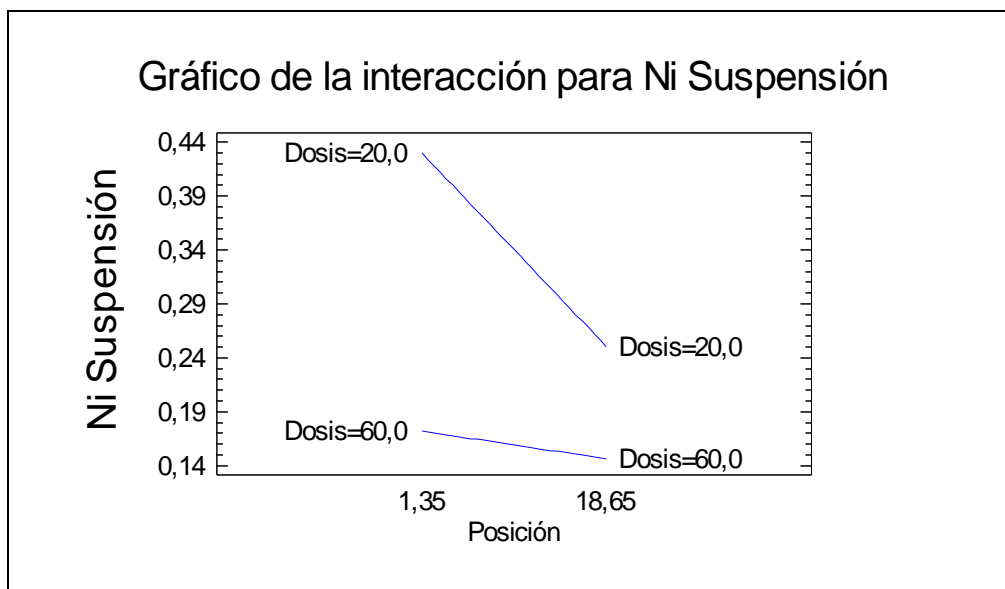


Figura 3.4 Gráfico de la interacción para Ni Suspensión

En el gráfico de interacción de la dosis y la posición de adición de floculante se observa que para el nivel mínimo de la posición (1,35 m) y en las dosis de 20 y 60 g/t, los valores de níquel en suspensión son superiores a los obtenidos cuando se trabaja con el nivel máximo de la posición para las mismas dosis, además se muestra que para la dosis de 60 g/t (nivel máximo) la recuperación del níquel en suspensión es superior a los resultados con dosis de 20 g/t.

En el gráfico de Superficie de respuesta estimada de la figura 3.5 se puede apreciar con mayor claridad la interacción entre la posición de adición del floculante y la dosis de alimentación, siempre al incrementarse la dosis de floculante y los puntos de adición disminuye la concentración de níquel en suspensión.

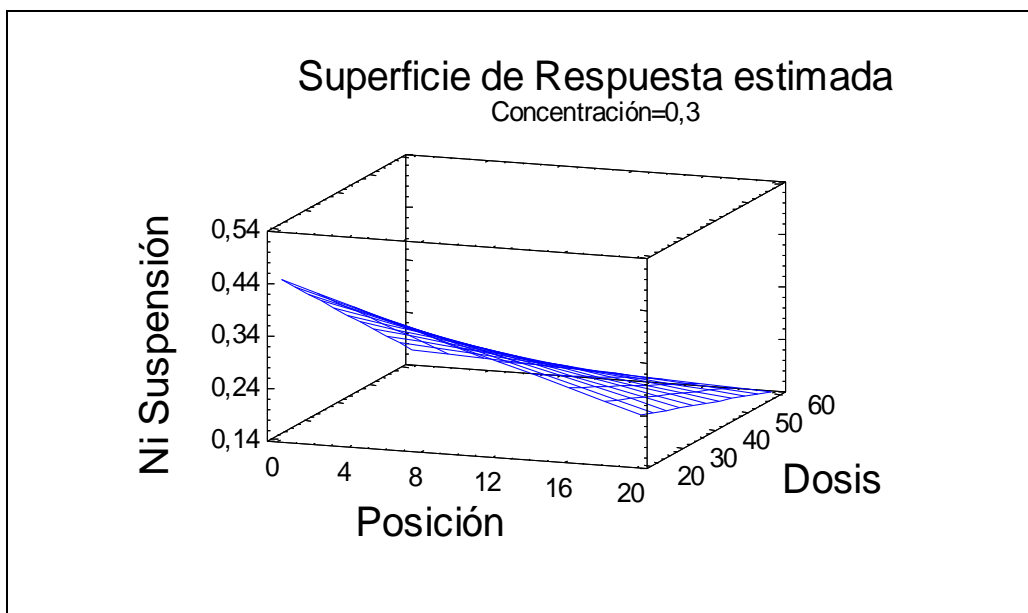


Figura 3.5 Gráfico de Superficie de respuesta estimada

Tabla 3.5 Coeficientes de regresión para Ni Suspensión

Constante	0,621093
Posición	-0,0148426
Dosis	-0,00675043
Concentración	-0,14
Posición - Dosis	0,000222543

A continuación se muestra la ecuación de la regresión que se ajustado a los datos.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Ni Suspensión} = 0,621093 - 0,0148426 \cdot \text{Posición} - 0,00675043 \cdot \text{Dosis} - 0,14 \cdot \text{Concentración} + 0,000222543 \cdot \text{Posición} \cdot \text{Dosis}$$

Respuesta Optimizada

En la tabla 3.6 se muestra la respuesta optimizada obtenida del STATGRAPHICS y la combinación de niveles de factores que minimizar para obtener los menores valores de Ni Suspensión por encima de la región indicada.

Tabla 3.6 Respuesta Optimizada

Meta:	Minimizar Ni Suspensión		
Valor óptimo	0,118278		
Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Posición	1,35	18,65	18,65
Dosis	20,0	60,0	60,0
Concentración	0,1	0,5	0,5

Efecto de la dosis de floculante

En el gráfico de la figura 3.6 se presentan los resultados del níquel en suspensión al variarse la dosis del floculante adicionado.

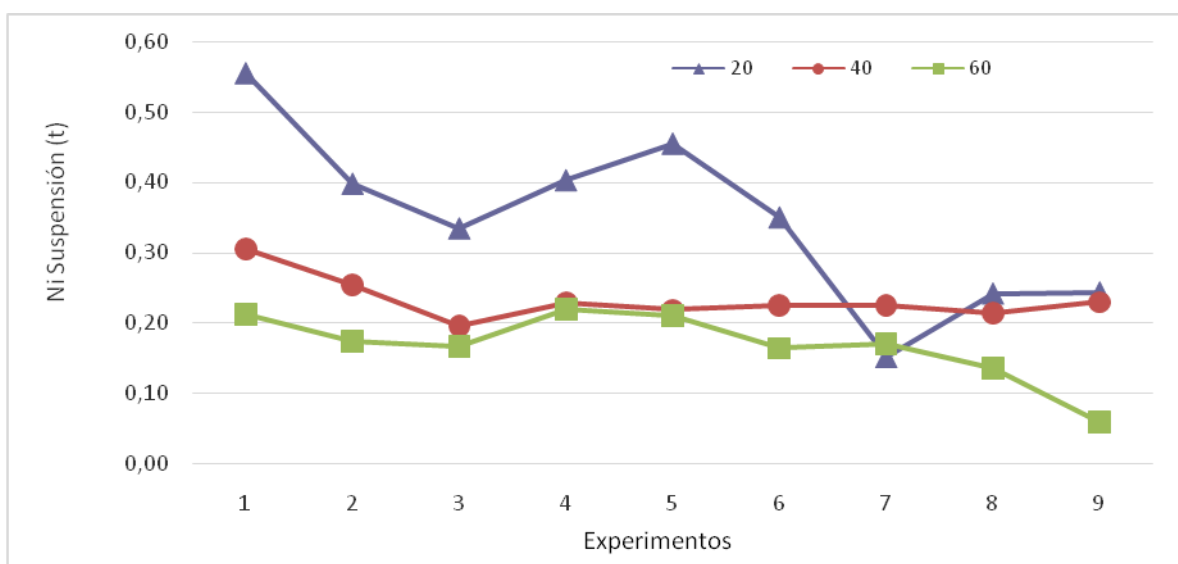


Figura 3.6 Comportamiento de las dosis de floculante experimentadas

En el gráfico anterior (figura 3.6) se puede observar que es significativa la disminución de las toneladas de níquel en suspensión en el reboso del sedimentador de carbonato al utilizar dosis de 60 g/t de sólido.

Efecto de la concentración de floculante

En el gráfico de la figura 3.7 se muestran los resultados del níquel en suspensión al variarse las concentraciones del floculante adicionado.

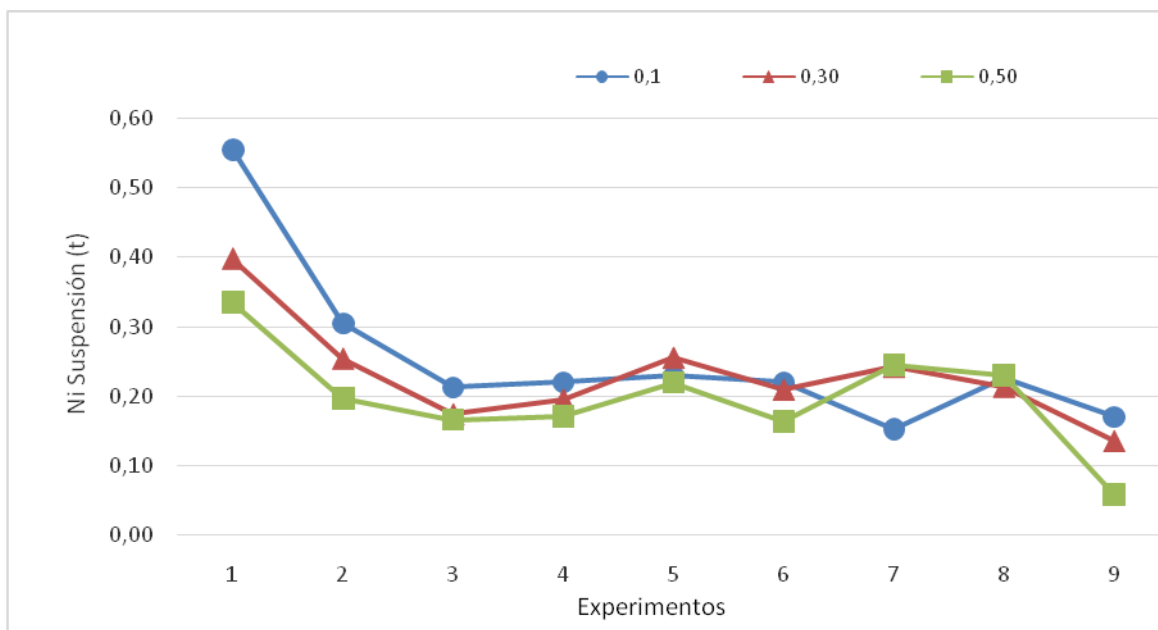


Figura 3.7 Comportamiento de las concentraciones de floculante experimentadas

Al compararse el comportamiento del níquel en suspensión para diferentes concentraciones de floculante se puede observar que los mejores resultados se obtienen al utilizarse concentración de floculante de 0.50 g/L, además se observa que en la medida que se incrementa la concentración de floculante las toneladas de níquel en suspensión disminuyen.

Efecto de la posición de adición del floculante

En el gráfico de la figura 3.8 se muestran los resultados del níquel en suspensión al variarse la posición de adición de floculante.

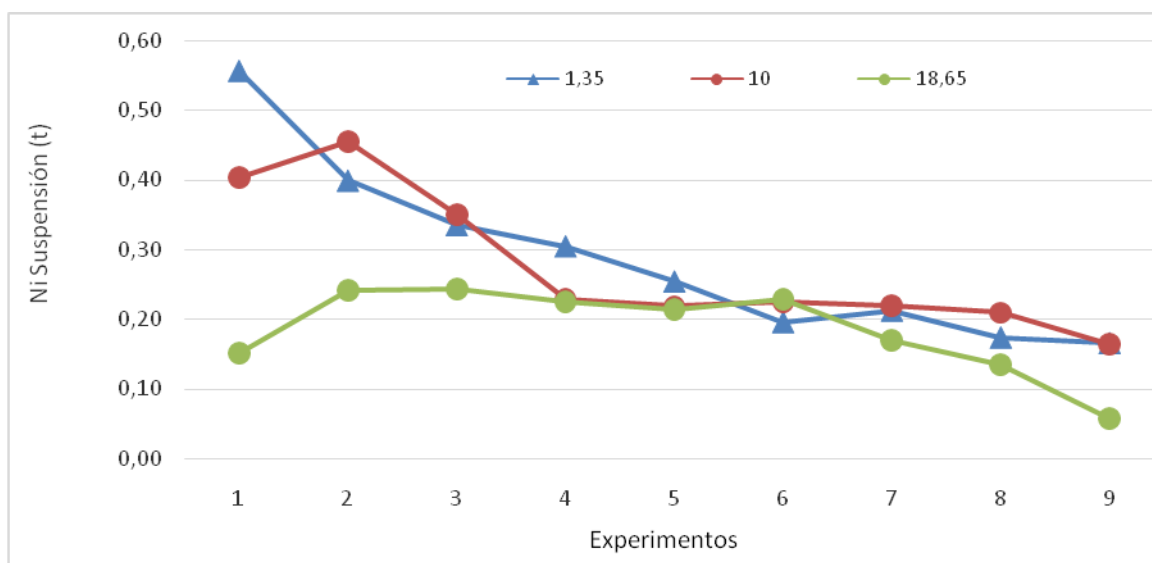


Figura 3.8 Comportamiento de las posiciones de adición de floculante experimentadas

Los resultados se graficaron, obteniéndose la figura 3.8, en la misma se puede observar que cuando se adiciona floculante en los dos puntos de la línea de alimentación de carbonato, se logran los menores valores de níquel en suspensión en el licor de reboso del sedimentador, por lo que hay mayor recuperación del metal en el proceso de sedimentación.

Comportamiento del níquel en suspensión en dos etapas: Con adición de floculante y sin adición de floculante

En el gráfico de la figura 3.9 se expresan los resultados del níquel en suspensión durante un periodo de adición de floculante y otro sin adición de floculante.

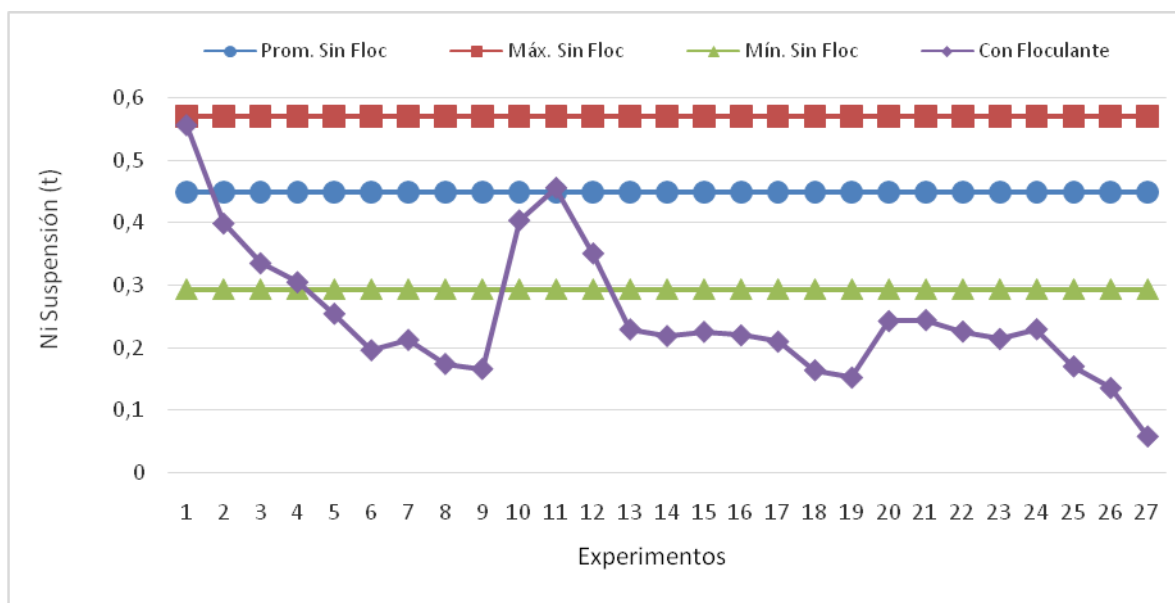


Figura 3.9 Comportamiento del níquel en suspensión con adición de floculante y sin adición de floculante

En la figura 3.9 se muestran los resultados de níquel en suspensión obtenidos en dos periodos: Con adición de floculante y sin adición de floculante, la etapa de adición de floculante corresponde al período de experimentación y la etapa sin adición de floculante corresponde al mes de operación analizado para determinar los parámetros de operación necesarios con los cuales se iniciara la floculación (Tabla 2.3).

Del análisis de la grafica se obtiene que la mayor cantidad de valores de níquel en suspensión cuando se utiliza floculante se encuentran muy por debajo del valor mínimo obtenido en la etapa sin floculante.

3.2 Evaluación económica

Tabla 3.7 Comportamiento de los parámetros de operación

Parámetros/ turnos	Sin Floculante	Con Floculante	Diferencia
Volumen (m ³)	1157	1157	0
Ni Licor Prod. (g/L)	7,03	6,42	0,61
Ni destilado (t)	8,13	7,43	0,70
Ni total (g/L)	0,209	0,370	- 0,16
Ni total (t)	0,266	0,484	- 0,22
Ni suspensión (g/L)	0,134	0,046	0,09
Ni suspensión (t)	0,171	0,058	0,11
Eficiencia (%)	97,8	99,2	1,4

En la tabla 3.7 se muestra el comportamiento de los parámetros de operación necesarios para realizar el balance de masa, y así determinar la cantidad de níquel en suspensión que se logra incorporar al proceso de filtración y no se pierde por el reboso del sedimentador.

Al comparar los dos periodos de trabajo se demuestra que con la floculación de las pulpas de carbonato se logra incrementar la eficiencia de este proceso en 1.4 %, recuperándose la cantidad de níquel en suspensión equivalente a 0.11 t por cada turno de trabajo, aplicándole una eficiencia al proceso de calcinación de 96% se obtiene 0,1056 t, considerando el precio del níquel de 18 377,5 USD/t (enero 2013), representa un ingreso de 1940,664 USD por turno de trabajo, lo que representaría al año 1416684,72 USD.

Cálculo del consumo de floculante

El consumo de floculante se determinó teniendo en cuenta la masa de sólidos en el carbonato de níquel, la concentración y la dosis de floculante adicionada.

Para una masa de sólidos de 1,29 t/h, una dosis de floculante de 60 g/t y una concentración de 0,50 g/L, se obtiene:

$$M_{sólidos} = \frac{LP_{Dest} \cdot Conc [Ni LP]}{\% Ni [CO_2] \cdot 1000}$$

$$M_{sólido} = \frac{96,4 \frac{m^3}{h} \cdot 6,42 \frac{g}{L}}{0,48 \cdot 1000}$$

$$M_{sólidos} = 1,29 \text{ t/h}$$

$$F_{floculante} = \frac{Dosis_{Floculante} \cdot M_{Sólidos}}{Conc. Floculante}$$

$$F_{floculante} = \frac{60 \frac{g}{t} \cdot 1,29 \frac{t}{h}}{0,50 \frac{g}{L}}$$

$$F_{floculante} = 154,8 \text{ L/h}$$

$$M_{floculante} = F_{Floculante} \cdot Conc. Floculante$$

$$M_{floculante} = 154,8 \frac{L}{h} \cdot 0,50 \frac{g}{L}$$

$$M_{floculante} = 77,4 \frac{g}{h}$$

$$M_{floculante} = 77,4 \frac{g}{h} \cdot 12 \text{ h}$$

$$M_{floculante} = 929 \text{ g} = 0.929 \text{ Kg}$$

Se determinó que la masa de floculante a utilizar es de 0,929 Kg por turnos de trabajo, considerando que el precio del floculante es de 4,41 USD/Kg, representa un gasto de 4,10 usd por turno de trabajo, lo que representaría al año 2 990,73 USD, el cual se considera despreciable con respecto al ingreso por concepto de recuperación del níquel en forma de sólidos en suspensión.

Otros Gastos

No se consideran los costos de realización de la instalación ya que la misma fue realizada con materiales en desuso, no hay consumo energético y se utiliza el operador del área de trabajo.

3.3 Evaluación ecológica

Es de gran importancia la recuperación e incorporación al proceso del níquel presente en los rebosos del sedimentador de carbonato, ya que con ello se logra un mayor aprovechamiento de los recursos naturales.

CONCLUSIONES

Se determinó el efecto de las variables analizadas: concentración y dosis del floculante adicionado y la posición de adición del floculante en la línea de alimentación del carbonato, las cuales influyen positivamente en la disminución del níquel en suspensión presente en el reboso del sedimentador de carbonato, siendo las de mayor influencia la dosis y la posición de adición de floculante.

Se demostró, que con la utilización de floculante en el proceso de sedimentación de las pulpas de carbonato de níquel se logra mayor eficiencia en este proceso, incrementándose la misma en 1,4%.

Se obtuvo el modelo estadístico-matemático de regresión ajustado que se adecua al rango de las variables y los niveles experimentados para la sedimentación del carbonato de níquel y se obtiene una respuesta optimizada que permite alcanzar las mejores condiciones tecnológicas de sedimentación con la adición de floculantes.

RECOMENDACIONES

Realizar otras investigaciones donde se pongan de manifiesto la influencia de otros factores en el proceso de sedimentación de las pulpas de carbonato de níquel.

Colocar tabique en la línea de alimentación del carbonato al sedimentador para lograr una mayor turbulencia y así obtener una mejor homogenización entre el floculante y el carbonato.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cubillet Samón, Mariela; Chaviano Rodríguez, Lino; Espinosa Espinosa, Eluberto. Adición de floculante en la planta de lixiviación de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
2. Espinosa, Eluberto; Ramírez, Carlos; Cubille, Mariela; Sandoval, Nurian. Diseño de una instalación de floculante para la planta de Lixiviación y Lavado de la Che Guevara.
3. Espinosa Espinosa, Eluberto. Diseño de una instalación de floculante para la planta de Lixiviación y Lavado de la Che Guevara.
4. Espinosa Espinosa, Eluberto; Salazar Infante, Yaidisury; Martínez Laurencio, Ariadna; Almaguer Domínguez, Jorge. Informe de la evaluación de muestras de floculantes para muestras de pulpa lixiviadas en la I etapa de la planta de lixiviación y lavado y pulpa de licor producto destilado de la planta de recuperación y sínter de la ECRRL a escala de laboratorio. 2008.
5. García Peña, Evangelina. Determinación de la dosis óptima de floculante en pulpas de Carbonato de Ni + Co obtenidas del proceso Carbonato Amoniacal. 2002.
6. García, Amancia. Utilización de floculantes en la planta de lixiviación y lavado. 1986.
7. García Pérez, Amancia; Rojas, Armando. Comparación de los floculantes Chemadd A-41, 42, y 43 de la firma Chematek, el IP-600 de la firma Zar Cia y el Percol, versión canadiense del Magnafloc R-155. 2000.
8. García Pérez, Amancia. Evaluación de Floculantes. 2002.
9. García Pérez, Amancia. Pruebas de floculación magnética y química en pulpa de lavado de la planta de lixiviación. 2004.
10. García Pérez, Amancia; Milanés González, Marina; Trujillo Nieves, María Elena. Evaluación del floculante Piciz 7010 en la clarificación de los licores y sedimentadores de las pulpas. 2004.

11. González, Adonis. Estudio de densificación de pulpas espesadas de carbonato de níquel. 1978.
12. González Cañivano, José. Floculación, mecanismo y clasificación de los diferentes tipos de floculante. 1983.
13. González Cañivano, José. Factores que influyen en la floculación por polielectrolitos. Agosto. 1984.
14. Gumarov, Emilio. Informe sobre la realización de las pruebas a escala de laboratorio de la influencia del Separan NP-10 en la velocidad del carbonato básico de níquel en los sedimentadores de recuperación de amoníaco. 1966.
15. Hernández Pérez, Raquel. Informe del trabajo de laboratorio en la utilización de diferentes floculantes en las pulpas de lixiviación. 1986.
16. Hernández, Raquel. Utilización de flocúlate en la Empresa Comandante René Ramos Latour. 1990.
17. Hernández Pérez, Raquel; Paz Del Valle, Magalis. Pruebas Industriales sobre la aplicación de floculante en el reboso del sedimentador de carbonato de níquel. 1993.
18. McCabe, Warren; Smith, Julian C. Operaciones básicas de ingeniería química. Volumen II.
19. Morales Márquez, Serapio; Ganzó Pérez, Oscar; Gómez, Víctor; Bové Villa, Ulises; Espinosa Espinosa, Eluberto; Garcés Rigñack, Alexander; Tito Bientz, Eddy. Informe de la evaluación de muestras de floculantes de la Empresa Quimizuk S.A. para muestras de pulpa de la I etapa de lixiviación magnetizada. 2007.
20. Rodríguez Mateo, Carlos. Utilización del floculante Praestol 2530 en la planta de Lixiviación. 1986.
21. Rodríguez Mateo, Carlos. Informe sobre la aplicación de floculantes a la sedimentación y clasificación en lixiviación. 1986.
22. Rodríguez Gan, Raúl. Sedimentadores de carbonato. 1985.
23. Sánchez Guillén, Crispin. "Evaluación del efecto de la floculación química a pulpas de carbonato de níquel en la Empresa Comandante René Ramos Latour". Etapas 01 y 02.

24. Garcell, L. R., A. Díaz y G. Surís. 1988: "Transferencia de Cantidad de Movimiento, Calor y Masa". Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana.
25. Cruz Vázquez, Dixan. Lixiviación ácida de los concentrados de los residuales sólidos de la tecnología carbonato amoniacal "René Ramos Latourt". 2012