



**Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
Dr. Antonio Núñez Jiménez  
Facultad de Metalurgia y Electromecánica  
Departamento de Metalurgia-Química**

# **COMPORTAMIENTO DEL ARRASTRE DE SÓLIDOS DEL SISTEMA DE DESTILACIÓN DE COLAS AL SISTEMA DE ABSORCIÓN EN LA UBP RECUPERACIÓN DE AMONIACO- COBALTO**

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero en  
Metalurgia y Materiales

**Autor:** Julio Alejandro González Matamoros

**Curso**

**2017-2018**





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

# **COMPORTAMIENTO DEL ARRASTRE DE SÓLIDOS DEL SISTEMA DE DESTILACIÓN DE COLAS AL SISTEMA DE ABSORCIÓN EN LA UBP RECUPERACIÓN DE AMONIACO- COBALTO**

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero en  
Metalurgia y Materiales

**Autor: Julio A. González Matamoros**

**Firma: \_\_\_\_\_**

**Tutores: MS.c. Yunior Correa Cala**

**Firma: \_\_\_\_\_**

**Ing. Henry Aguilera Batista**

**Firma: \_\_\_\_\_**

**Año 2018**

## **Declaración de autoridad**

**Yo:** Julio Alejandro González Matamoros

Autor del Trabajo de Diploma comportamiento del arrastre sólido del sistema de destilación de cola al sistema de absorción en la UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto, declaro la propiedad intelectual al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

---

Julio A. González Matamoros

---

MS.c. Yunior Correa Cala

---

Ing. Henry Aguilera Batista

## **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado primeramente a mi papá Julio Cesar González Cruz y a mi mamá María Isabel Matamoros que son mis seres más queridos, ya que gracias a su apoyo incondicional hoy puedo alcanzar esta meta, los cuales dedicaron todos estos años a mi cuidado y formación como profesional.

A toda mi familia...

## **Agradecimientos**

Agradezco de forma sincera la colaboración de todos aquellos que han contribuido a la realización de este trabajo, en especial:

- ❖ A mis tutores
- ❖ A mis hermanos Aimee González Matamoros y Luis Ernesto González Matamoros.
- ❖ A mis padres Julio González y María Matamoros.
- ❖ A mi novia Bertha Inés
- ❖ A mis suegros Roger Romero y Berenia Manzanet.
- ❖ A mis tíos y primos.
- ❖ A todos mis compañeros de aula, Felipe, Manuel, Yurixander y a todos en general que de una u otra forma me ayudaron en mi formación como profesional y como persona. Agradezco

## **Pensamiento**

Tenemos que dar nuestros pasos de avance en sentido tecnológico, crear nuestra técnica, la técnica que son nuestros propios técnicos, suministrar la base para que avancemos nosotros por nuestra propia cuenta, para que no tengamos que recibir siempre técnicos de países amigos que vengan a enseñarnos cada cosa como hay que hacerla, para que después caminemos con nuestros propios pies.

Ernesto "Che" Guevara

## **Resumen**

El presente trabajo tiene como propósito determinar el comportamiento del sólido en suspensión, densidad de la cola y concentración de amoníaco de la tecnología carbonato amoniacal de la Empresa Ernesto Che Guevara. Por ello se sometió al método comparativo y valoración con ácido clorhídrico con la combinación de la densidad de la cola. El sólido en suspensión se determinó mediante la técnica de comparación. Se obtuvo en el periodo de muestreo un máximo de 440 ppm y un mínimo de 40 ppm, demostrando así la presencia de sólido en el sistema de absorción. La concentración de amoníaco se determinó mediante la técnica de valoración arrojando un resultado estable en el rango de 130,3 a 186,2 g/L. La densidad de la cola se mantuvo en su mayoría por encima del rango establecido por la UBP Recuperación de Amoníaco-Cobalto (1600-1700 g/L), solo en 6 de las 21 muestras tomadas se mantuvo en el rango (1600, 1650, 1690, 1600, 1650, 1685 g/L) en las 15 restantes por encima de 1700 g/L.

Se analizaron las causas que provocan los arrastres de sólido al sistema de absorción (alta densidad de la cola y falta de instrumentación para medir el nivel del tanque de retención de cola) y se propusieron tres posibles soluciones, instalación de instrumentos medidores de nivel, sistemas purificadores de gases y un segundo cuello de ganso. Mediante la valoración económica y teniendo en cuenta la situación actual de la Empresa se eligió la instalación de un segundo cuello de ganso.

### **Palabras claves:**

Absorción; Destilación; Colas; Sólidos en suspensión; Arrastre de sólidos.

## **Abstract**

The purpose of this work is to determine the behavior of suspended solid, tail density and ammonia concentration of the ammoniacal carbonate technology of Company Ernesto Che Guevara. Therefore, it was subjected to the comparative method and valuation with hydrochloric acid with the combination of the density of the glue. The solid in suspension was determined by the comparison technique. A maximum of 440 ppm and a minimum of 40 ppm was obtained in the sampling period, thus demonstrating the presence of solid in the absorption system. The concentration of ammonia was determined by the titration technique yielding a stable result in the range of 130.3 and 186.2 g/L. The density of the glue remained mostly above the norm established by the UBP Recovery of Ammonia-Cobalt (1600-1700 g/L), only in 6 of the 21 samples taken remained in the range (1600, 1650, 1690, 1600, 1650, 1685 g/L) in the remaining 15 above 1700 g/L.

The causes that cause the dragging of solid to the absorption system (high density of the tail and lack of instrumentation to measure the level of the tail retention tank) were analyzed and three possible solutions were proposed, installation of level measuring instruments, systems gas purifiers and a second goose neck. Through the economic valuation and taking into account the current situation of the Company, the installation of a second goose neck was chosen.

### **Key Words:**

Absorption; Distillation; Tails; Solids in suspension; Drag solids

## Índice de contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO</b> .....	4
<b>1.1 Trabajos precedentes</b> .....	4
<b>1.2 Aspectos generales sobre los fluidos</b> .....	9
<b>1.3 Fundamentos teóricos sobre la destilación</b> .....	10
<b>1.3.1 Mecanismo del proceso de destilación de las colas</b> .....	10
<b>1.4 Fundamentos teóricos sobre la absorción</b> .....	14
<b>1.4.1 Mecanismo del proceso de absorción</b> .....	15
<b>1.5 Descripción del proceso tecnológico</b> .....	20
<b>Conclusiones parciales.</b> .....	22
<b>CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	23
<b>2.1 Métodos empleados en la investigación</b> .....	23
<b>2.2 Materia prima utilizada en la investigación. Características</b> .....	24
<b>2.2.1 Características de la cola</b> .....	24
<b>2.2.2 Características del amoniaco</b> .....	25
<b>2.3 Metodología experimental utilizada para llevar a cabo la toma de muestra</b> .....	26
<b>2.3.1 Toma de la muestra</b> .....	27
<b>2.3.2 Preparación y homogenización de la muestra</b> .....	29
<b>2.3.3 Filtración de la muestra</b> .....	30
<b>2.3.4 Preparación del licor filtrado para la determinación de la concentración de amoniaco</b> .....	31

2.4 Técnicas aplicadas en la investigación .....	31
Conclusiones parciales .....	35
<b>CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
3.1 Evaluación del sólido en suspensión, concentración de amoníaco y densidad de la cola .....	36
3.2 Causas que provocan los arrastres de sólido al sistema de absorción .....	45
3.3 Evaluación de las posibles soluciones al fenómeno de los arrastres de sólido al sistema de absorción.....	46
3.3.1 Primera posible solución a los arrastres de sólido al sistema de absorción.....	46
3.3.2 Segunda posible solución a los arrastres de sólido al sistema de absorción.....	47
3.3.3 Tercera posible solución a los arrastres de sólido al sistema de absorción.....	48
3.4 Valoración económica .....	49
3.5 Valoración ecológica .....	51
Conclusiones parciales .....	53
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS</b>	



## INTRODUCCIÓN

La industria cubana del níquel cuenta con más de 50 años de experiencia en la obtención de Níquel a partir de los minerales lateríticos. Estos recursos han sido la base para el desarrollo de una prominente industria extractiva especializada en la recuperación de los valores de níquel y cobalto presentes en estos minerales, utilizando dos tecnologías para su procesamiento, la ácida, basada en la lixiviación a presión utilizando el ácido sulfúrico y la tecnología Carbonato Amoniacal basada en la lixiviación atmosférica utilizando el amoníaco. Ambas tecnologías requieren de la preparación del mineral para la aplicación de la tecnología de lixiviación.

La Empresa Ernesto Che Guevara se encuentra al norte del yacimiento mineral de Punta Gorda, provincia Holguín, en la costa norte, entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4 km de la Ciudad de Moa y a 2 km del pueblo de Punta Gorda.

La eficiencia de la destilación constituye un elemento esencial en el proceso tecnológico de dicha empresa, la cual determina la recuperación de níquel, amoníaco y del dióxido de carbono presentes en el licor producto y su recirculación al proceso. El proceso de lixiviación carbonato amoniacal, es un proceso continuo que se realiza en condiciones de presión atmosférica. El equipamiento tecnológico del proceso se distingue por su sencillez y amplia utilización de los siguientes equipos, hornos de soleras múltiples, espesadores, columnas de destilación, etc.

Estas características favorecen la creación de una producción con alto nivel de mecanización y automatización. La tecnología Carbonato amoniacal admite la elaboración de la mezcla de los minerales lateríticos y serpentínicos, mientras que la tecnología; por ejemplo, de lixiviación con ácido sulfúrico permite solamente la elaboración de la fracción laterítica.

Desde el punto de vista de consumo de energía eléctrica, la tecnología carbonato amoniacal tiene un alto consumo, sin embargo, tiene muchas

ventajas en comparación con la tecnología piro metalúrgico. Al mismo tiempo este proceso se realiza con un consumo relativamente pequeño de reactivos. El único reactivo que se consume en grandes cantidades es el amoníaco. Los productos finales de la fábrica son el óxido de níquel sinterizado, óxido de níquel en forma de polvo (polvo metalúrgico), polvo químico, sulfuro de níquel, sulfuro de níquel más cobalto, estos constituyen productos estables de exportación en el mercado mundial.

Una de las deficiencias del proceso es el bajo porcentaje de extracción. No obstante, se planifica la perfección gradual de la tecnología carbonato amoniacal, donde se contempla el incremento de la extracción del cobalto en el concentrado de licor.

Dentro de la industria la sección de Recuperación de Amoníaco tiene la función de recuperar el  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$  del licor, así como de las colas obtenidas de la Lixiviación, obteniéndose al mismo tiempo la cola como residuo, y como producto final la pulpa de carbonato básico de níquel, el licor fuerte de amoníaco y  $\text{CO}_2$ .

La sección de la planta donde se destila la cola es una de las más afectadas en la empresa, debido a alta corrosión que están expuesto los equipos y tuberías por donde se mueve la cola, los arrastres de sólidos al sistema de absorción y la inestabilidad de la densidad de la cola, provocando que las torres de absorción y los tanques de retención de colas sufran un gran deterioro, lo que trae consigo la baja eficiencia de la Planta e importantes pérdidas económicas.

**Situación Problemática:** La existencia del arrastre de sólidos del sistema de destilación colas al sistema de absorción en la UBP Recuperación de Amoníaco-Cobalto, causan pérdidas considerables en la productividad de la empresa.

**Problema Científico:** La existencia de poco conocimiento del comportamiento del arrastre de sólidos desde el sistema de destilación de colas al sistema de absorción.

**Objeto de estudio:** Arrastre de sólido del sistema de destilación de colas al sistema de absorción en la UBP Recuperación de Amoníaco-Cobalto.

**Campo de acción:** Comportamiento del arrastre de partículas en sistemas de destilación de cola a sistemas de absorción.

Sobre la base de lo analizado se plantea la siguiente **hipótesis**: Si se analiza el comportamiento del arrastre de sólidos del sistema de destilación de colas al sistema de absorción, se podrán determinar las causas que provocan estos arrastres y a su vez proponer soluciones para mitigar los mismos.

**Objetivo general:**

Analizar el comportamiento del arrastre de sólidos del sistema de destilación de colas al sistema de absorción en la UBP Recuperación de Amoniac-Cobalto, para determinar las causas que lo provocan y proponer soluciones para la mitigación de los mismos.

**Objetivos específicos:**

- Determinar las causas que provoca el arrastre de sólidos del sistema de destilación de colas al sistema de absorción en la UBP Recuperación de Amoniac-Cobalto.
- Proponer soluciones para mitigar los arrastres de sólidos al sistema de destilación de cola al sistema de absorción.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes **tareas de investigación**:

1. Revisión bibliográfica de los antecedentes del tema.
2. Toma y procesamiento de las Muestras.
3. Análisis de los resultados obtenidos del procesamiento de las muestras.
4. Valoración tecnológica de diferentes variantes para realizar la propuesta de mitigación de arrastres de sólidos al sistema de absorción.
5. Valoración económica de las de las posibles soluciones propuestas.

# CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrolla el marco teórico de la presente investigación, partiendo del estudio de las investigaciones realizadas sobre el tema, las cuales nos permiten conocer varias teorías, lo que conlleva a definir el **objetivo del capítulo**, el cual sería: Establecer el estado del arte a partir de la revisión bibliográfica, con la finalidad de disponer de los elementos básicos necesarios para la solución del problema planteado.

## 1.1 Trabajos precedentes

La revisión bibliográfica está dirigida a los aspectos que podrían ayudar al desarrollo del proyecto, principalmente en los arrastres de sólido del sistema de destilación al sistema de absorción en la UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, sin dejar de tener en cuenta su eficiencia y factibilidad.

Mediante el desarrollo varias investigaciones encaminadas a obtener metodologías para el tratamiento de las colas, se destacan algunos autores, (Ponce, 1979), (Zamora, 1981), (Turro, 2002), (Hernández, 2011), entre otros. Las investigaciones precedentes generalmente han sido realizadas a las colas obtenidas como resultado de la tecnología carbonato amoniacal, debido a que de las dos empresas niquelíferas de la región, dos emplean esta tecnología, y por consiguiente los volúmenes almacenados son mayores; además los contenidos de metales valiosos (níquel y cobalto) en la otra tecnología son muy pequeños por su elevada eficiencia, y contiene determinada cantidad de azufre que reduce la posibilidad de aprovecharlos en la metalurgia del acero.

En el ámbito mundial una de las posibles soluciones encontradas para la disminución de los volúmenes de colas, es su empleo en la industria de la construcción; como relleno en la fabricación de carreteras, caminos, terraplenes y ferrocarriles, además como aditivo en la fabricación de cemento, asfalto,

concreto y en la manufactura de ladrillos de silicato de calcio o como fuente de material puzolánico; aunque muchas veces su uso se ve limitado por su fineza, alto contenido de impurezas y deslave de metales trazas (Pupo, 2011).

Los sistemas de hidrotransporte utilizados para el transporte de colas reportan altos consumos de energía asociados, en gran medida, a las pérdidas de carga, las que a su vez están determinadas por el diámetro de la conductora, su estado de explotación, el material de la tubería, el régimen de trabajo de la instalación y las propiedades físico-mecánicas de las colas. (Breff, Izquierdo Pupo, & Garcell, 2008).

(Moreno, 2011), analizó las variantes para la alimentación del sólido de colas a la presa de forma estable, caracterizó el sólido alimentado donde fundamenta el criterio de diseño para el montaje de la bomba reforzadora y para el flujo de pulpa, sólido y residual para las condiciones actuales. Además, realiza cálculos hidráulicos, los cuales fundamentan la propuesta de montaje de una bomba reforzadora para el bombeo de forma estable de pulpa a la presa.

(Estévez, 2006), realizó un estudio en la planta de Recuperación de Amoniaco de la empresa “Comandante Ernesto Ché Guevara“, el cual hizo un cálculo verificativo y la propuesta de modificación de la instalación de bombeo de cola de dicha planta, en este caso el material a transportar es cola de la tecnología carbonato amoniacal, manifestando un menor daño desde el punto de vista corrosivo.

Según los estudios realizados por (Llansana, 2013) plantea que la sección de los alambiques de cola de la Planta de Recuperación de Amoniaco posee pocos equipos de medición de los parámetros en el área pues, el control de las operaciones se realiza desde el panel donde se visualizan las variables de control. La relación vapor/cola se controla directamente desde el panel y es de forma general para todos los alambiques. También plantea que para el control de la operación de los alambiques la densidad de la cola es un parámetro muy importante pues esta no debe exceder los 1690 g/L.

Según el informe realizado por (Almeida, 2013), plantea que la planta de Recuperación de Amoniaco de la empresa Ernesto Che Guevara no está funcionando eficientemente bajo las condiciones actuales de operación. Con un

aumento anticipado en la producción, sobre una base gradual, esta sección de la planta será ineficiente, conduciendo a que se obtengan grandes pérdidas de amoníaco y cobalto del sistema. Esto es debido a que los equipos utilizados actualmente no son los idóneos.

La variedad de las propiedades físico – mecánicas de estas mezclas confiere propiedades específicas a los flujos en su movimiento por tuberías u otros dispositivos de transporte similares. Con frecuencia se requiere la transportación de suspensiones concentradas que exhiben propiedades no newtonianas, en las que las partículas tienden a formar estructuras que exhiben, un comportamiento pseudoplástico, o características plásticas con la aparición de esfuerzos cortantes iniciales. En dependencia de las condiciones de operación, dichos flujos pueden ser laminares o turbulentos con diferentes influencias de las características reológicas de las mezclas. (Breff, 2002).

Las colas lixiviadas del proceso CARON poseen mineralogía compleja, estando constituidas por una mezcla de materiales magnéticos y no magnéticos. Mineralógicamente son fundamentalmente una mezcla de magnetita-maghemita, como fases mineralógicas principales (con más de un 70 % en peso de esta mezcla) y como fases secundarias, serpentina, fayalita y sílice. (Flores, 2013)

(Rodríguez, 2004), estudia la lixiviación ácida reductora (con dióxido de azufre y ácido sulfúrico) de las colas de la planta niquelífera “Comandante Ernesto Che Guevara”, se trazó como objetivo principal determinar los parámetros que permiten obtener, con buenos índices de extracción, un licor de sulfato ferroso y de otros metales (níquel y cobalto), para ser utilizado posteriormente en el procesamiento de los nódulos marinos polimetálicos. Como resultado del trabajo se obtuvo, que al lixiviar las colas “amoniacales” en un medio ácido reductor y condiciones atmosféricas, es posible lograr altas extracciones del hierro, níquel y cobalto y obtener un licor de sulfato ferroso con una concentración relativamente alta de hierro  $2^+$  (agente reductor de posible uso en la lixiviación de los nódulos marinos). La investigación se restringe a obtener un reactivo para utilizarlo en otro proceso, y no para extraer por separado algún elemento de interés; lo que lo hace muy costoso y prolongado.

En estudios realizados por (Ariza, 2003), se llevó a cabo una lixiviación química de las colas de la “empresa Comandante Ernesto Che Guevara”, el trabajo contempla los resultados del estudio realizado a escala de laboratorio, mediante el uso de cuatro ácidos orgánicos para lixiviar colas desechadas. Los ácidos utilizados fueron el tartárico, oxálico, acético y cítrico. El objetivo fundamental consistió en seleccionar entre diferentes ácidos orgánicos el que posee mayor capacidad para extraer el níquel y cobalto contenido en las colas. El desarrollo de la investigación fue concebido a través de la aplicación de las técnicas de diseño de experimentos factoriales, para estudiar el comportamiento de variables tiempo, concentración de ácidos y relación líquido - sólido. Los mejores resultados se obtuvieron con el ácido cítrico lográndose extracciones máximas de Ni de 77,40 y 82,20 %; para el cobalto, además de los elementos antes mencionados se extrajeron en grados apreciables. Las impurezas de manganeso, magnesio y hierro con valores 77,50, 75,30 y 65,70 % respectivamente.

Las colas constituyen el residuo industrial de la planta de níquel “Comandante Ernesto Che Guevara” y está compuesto fundamentalmente por hierro, níquel, cobalto, aluminio, magnesio, silicio y otros, que si se logran recuperar resuelve un gran problema a la sociedad, desde el punto de vista económico, social y ambiental, además de constituir una fuente de materia prima para la industria nacional, en la obtención de subproductos que a la vez se empleen en algunas de las ramas de la economía. Las colas de la tecnología carbonato amoniacal son depositadas en la presa de colas, estos residuos no son utilizados por no contar con una tecnología capaz de procesarlas, además se vierten anualmente alrededor de 7 millones de toneladas (Batista, 2016).

En la eficiencia metalúrgica influyen factores de diversa índole, entre los que cabe mencionar la composición de la materia prima (mineral). Si la composición química y mineralógica de la materia prima (mineral) que ingresa al proceso es determinante en la calidad del producto final, el conocimiento de la composición sustancial de las colas obtenidas en cada etapa del proceso metalúrgico es un elemento para considerar, que puede incluso contribuir a incrementar la eficiencia del mismo mediante la modificación de ciertos parámetros

operacionales; además, permite trazar líneas perspectivas para el uso de las colas. (Purón & Turro, 2003).

(Darby, 2000), se refiere con frecuencia a la transportación de flujos con propiedades no newtonianas, con un comportamiento pseudo plástico o características plásticas con la aparición de esfuerzos cortantes iniciales, en su movimiento por los dispositivos de transporte. En dependencia de las condiciones de operación, dicho flujos pueden ser laminares o turbulentos con diferentes influencias de las características reológicas.

En la tesis doctoral de (Breff, 2002), demuestra que la composición mineralógica, la concentración y temperatura de las muestras ejercen gran influencia sobre el gradiente hidráulico. Se obtuvieron las correlaciones gráficas y expresiones matemáticas que describen el flujo de esas colas por tuberías; así como el factor de fricción para régimen laminar y turbulento. El conjunto de correlaciones obtenidas permitió conformar un modelo matemático aplicado para la metodología de cálculo de las instalaciones de transporte de colas trifásicas en el proceso CARON, que permitió calcular las instalaciones, establecer regímenes racionales de trabajos y seleccionar adecuadamente el equipamiento, así como valorar el trabajo de las existentes.

En la mayoría de los líquidos y suspensiones en general, se ha observado una disminución de la viscosidad con el incremento de la temperatura (Garcell, 1992). Se ha comprobado que la disminución de la viscosidad puede deberse a dos efectos, 1- disminución de la viscosidad del medio dispersante; 2- debilitamiento de las estructuras formadas por las partículas al aumentar la temperatura.

Los procesos en los que el agente separador es el calor se clasifican como operaciones directas, siendo su principal ventaja el hecho de que los productos se obtienen libres de sustancias agregadas. Los procesos en los que se añade una sustancia como agente separador se denominan operaciones indirectas; en estas la sustancia extraída se obtiene en solución, la que deberá a su vez ser separada, ya sea para obtenerla pura, o bien para utilizar nuevamente la sustancia agregada. Rara vez puede ser completa la separación de una sustancia agregada. Esta es una desventaja en estos procesos (Treybal, 1980)

Mediante el estudio de estos trabajos se tiene una base de los problemas que se pueden presentar en los sistemas de colas y absorción, así como sus posibles soluciones.

## **1.2 Aspectos generales sobre los fluidos**

Los fluidos son sustancias que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma. Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases.

**Líquidos:** son prácticamente incompresibles, ocupan un volumen definido y tienen superficies libres.

**Gases:** son compresibles, se expansionan hasta ocupar todas las partes del recipiente que los contenga. Existen dos tipos de flujos permanentes que hay que considerar, el flujo laminar y el flujo turbulento. Que sean permanentes quiere decir que la velocidad del flujo es constante en el tiempo, pero no necesariamente en el espacio. Por otro lado un flujo permanente podrá ser uniforme o no uniforme, la uniformidad implica constancia de la velocidad en el espacio. Flujo laminar: El flujo laminar se da cuando las partículas fluidas se mueven siguiendo trayectorias paralelas y forman el conjunto de ellas, capas o láminas. Los módulos de las velocidades de capas adyacentes no tienen el mismo valor.

El flujo laminar está gobernado por la ley que relaciona la tensión cortante con la velocidad de deformación angular, es decir, la tensión cortante es igual al producto de la viscosidad del fluido por el gradiente de las velocidades. La viscosidad del fluido es la magnitud física predominante y su acción amortigua cualquier tendencia a la turbulencia. Flujo turbulento: En el flujo turbulento las partículas fluidas se mueven de forma desordenada en todas las direcciones.

### **1.3 Fundamentos teóricos sobre la destilación**

La destilación es un método para separar los componentes de una solución; depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. En vez de introducir una nueva sustancia en la mezcla, con el fin de obtener la segunda fase (como se hace en la absorción o desorción de gases) la nueva fase se crea por evaporación o condensación a partir de la solución original. Con el objeto de aclarar la diferencia entre la destilación y las otras operaciones, se va a citar algunos ejemplos específicos.

Cuando se separa una solución de sal común en agua, el agua puede evaporarse completamente de la solución sin eliminar la sal, puesto que esta última, para todos los fines prácticos, casi no es volátil en las condiciones predominantes. Esta es la operación de evaporación. Por otra parte, la destilación se refiere a separar soluciones en que todos los componentes son apreciablemente volátiles. A esta categoría corresponde la separación de los componentes de una solución líquida, de amoníaco y agua. Si la solución de amoníaco en agua se pone en contacto con aire, el cual es básicamente insoluble en el líquido, el amoníaco puede disolverse, pero entonces el amoníaco no se obtiene en forma pura, porque se mezcla con el vapor de agua y el aire. Por otra parte, aplicando calor, es posible evaporar parcialmente la solución y crear, de esta forma, una fase gaseosa que consta únicamente de agua y amoníaco, puesto que el gas es más rico en amoníaco que el líquido residual.

Mediante la manipulación adecuada de las fases, o mediante evaporaciones y condensaciones repetidas, es generalmente posible lograr una separación tan completa como se quiera y recobrar, en consecuencia, los dos componentes de la mezcla con la pureza deseada (Treybal, 1980)

#### **1.3.1 Mecanismo del proceso de destilación de las colas**

Durante el paso de los gases por la chimenea de las columnas de destilación, estos presionan contra las campanas y pasan por el líquido en forma de burbujas las cuales adquieren las formas de los agujeros que poseen dichas campanas; después de salir de estos agujeros, las burbujas aumentan y se unen con las burbujas adyacentes.

Al mismo tiempo esos agujeros, hasta determinada altura (según la velocidad de los gases) están cubiertos por el líquido, con lo cual, entre las campanas y la parte exterior, originan unos espacios (canales) por encima de estos y por el interior de las mismas, producto del paso de los gases. Al paso de los gases por estos canales, una parte de los mismos se distribuyen en el líquido en forma de una espuma fina; a su vez, con los gases, parte de las gotas de líquido y espuma se arrastran, y es transportada al espacio encima de las campanas, de tal forma, que podemos expresar que todo el espacio entre los pisos está lleno de líquido esparcido.

Así mismo, se reconocen cuatro etapas:

- ✓ Etapa de burbujeo
- ✓ Etapa de formación de espuma directamente en las campanas
- ✓ Etapa de burbujeo en gran escala, donde el gas arrastra el líquido
- ✓ Etapa de burbujas finas (espuma) la cual puede ocurrir durante una velocidad alta de los gases y durante una insuficiencia de distancia entre los pisos, transportándola hasta el piso superior.

Los gases con el líquido se encuentran, ante todo, en la etapa de la espuma y burbujeo. La intensidad alcanzada de la formación de espuma y burbujas depende de la altura de burbujeo y de la velocidad con que los gases dan la formación de las burbujas.

El burbujeo no depende del todo de la forma y medidas de los agujeros de los sombreros porque si estos están llenos (sin agujeros) los gases pasan por el borde inferior del sombrero o campana.

La utilización de los agujeros estrechos en las paredes de las campanas, con los cuales los gases se atomizan en un mayor número de finas burbujas es muy conveniente, porque facilita mayor superficie de contacto de los gases con el líquido de la etapa de burbujeo.

La velocidad óptima de los gases y vapor de H<sub>2</sub>O que fluyen, durante los cuales hay la máxima formación de espuma y su mínimo arrastre a la parte superior de los pisos, depende de la altura de los anillos.

Durante el aumento de la velocidad de los gases por encima de la velocidad crítica dada, se aumenta el arrastre de las gotas de solución al siguiente piso superior; durante el mismo puede ocurrir una interrupción de la caída del líquido y la columna queda “colgada” y en otros casos inundada.

El trabajo de la columna de destilación depende también de la formación hidráulica de los pisos de la columna. Con el aumento de la profundidad de las copas de burbujeo del líquido aumenta la efectividad de los pisos, el aumento de la superficie y el tiempo de contacto con el líquido. Una altura bastante grande de burbujeo ocasiona pulsaciones de fluidez de los gases, aumenta el arrastre de las partículas de gotas y aumenta la resistencia hidráulica de la columna. En la copa de burbujeo del líquido, parte del vapor de H<sub>2</sub>O y de los gases desprendidos (NH<sub>3</sub> y CO<sub>2</sub>), empujan por debajo del borde del sombrero y no alcanza el contacto con el líquido.

Este fenómeno puede ocurrir también en caso de que el borde de los sombreros no se encuentre en posición horizontal.

La mezcla de gases que salen de las columnas de destilación de colas contiene como promedio:

NH<sub>3</sub>= 17,55 % en peso

CO<sub>2</sub>= 8,29 %

H<sub>2</sub>O= 74,16 % la cual pasa al condensador.

La cantidad de agua necesaria para enfriar el condensado se regula de tal manera que la temperatura de los gases no condensados a la salida de los condensadores no sea menor de 57 °C ni mayor de 60 °C.

Si no se mantiene la temperatura establecida de los gases a la salida, tenemos por ejemplo que si la temperatura baja de 57 °C, entonces puede suceder que la presencia de amoníaco y de dióxido de carbono, formen incrustaciones de carbonato amoniacal, el cual se origina mediante la siguiente reacción:



De tal manera que baja la capacidad de trabajo del enfriador. Las incrustaciones son posibles extraerlas calentando el sistema de tuberías de los enfriadores, pero influye negativamente, ya que calienta la solución de la absorción que se

conduce con vapor de agua y con ello disminuye la eficiencia del proceso de absorción.

Con temperaturas elevadas de los gases después de la condensación, se lleva al sistema de absorción mayor cantidad de calor. Las altas temperaturas además provocan la disminución del tiempo de vida útil de los equipos.

**El sistema de destilación de colas está formado por los siguientes equipos fundamentales.**

- ✓ Precalentadores de colas PC 301 al 309.
- ✓ Tanque de retención de colas TK 321 A, B, 323 A, B, 325 A y B.
- ✓ Bombas de colas al alambique BO 322 A, B, C y D  
324 A, B, C y D  
326 A, B, C y D
- ✓ Alambiques de destilación de colas AB 301 al 309.
- ✓ Condensadores de gases CS 301 al 309.
- ✓ Bomba del pozo de colas BO 313 A, B, C, D, E, F
- ✓ Bomba vertical del pozo de colas BO 319.
- ✓ Bomba vertical de la canal BO 314.
- ✓ Bomba vertical de la plazoleta de la cola BO 316
- ✓ Agitador AG 315.

**Características técnicas de las torres de Destilación de Cola:**

La función de los alambiques de cola es destilar la cola de la UBP Lixiviación y Lavado con el fin de recuperar el amoniaco y el CO<sub>2</sub> que contienen.

Estos equipos están formados en su interior por 5 platos de bandeja y 11 platos con 24 capas de burbujeo cada uno. Existen 9 instaladas, de estas en trabajo continuo deben estar 5 y de reserva, mantenimiento y limpieza 4.

**Características técnicas:**

Volumen: 120 m<sup>3</sup>

Capacidad: 62 m<sup>3</sup>/h

Presión de diseño: 49033,25 Pa

Presión de prueba: 196133 Pa

Diámetro de la coraza: 3000 mm

Altura de la chimenea: 150 m

Diámetro de chimenea: 219 mm

### **Tanque de retención de cola**

Son los que reciben la cola calentada de los precalentadores. Estos constan de dos partes: Tanque y agitador. El agitador es movido por un motor que transmite a través de un reductor. Estos son 6 distribuidos en tres grupos de dos tanques cada uno. En cada grupo trabaja uno y el otro de repuesto. Cada tanque alimenta a tres alambiques.

### **Características técnicas:**

Diámetro: 6 m

Altura: 4,95 m

Capacidad: 75 m<sup>3</sup>

Espesor: 8 mm

### **Agitador**

Diámetro del impelente: 3,5 m

Velocidad de rotación: 64 rpm

Potencia del motor: 22 kW

Voltaje: 440 V

Factor de Potencia: 0,83

Corriente: 39 A

Eficiencia: 89,5 %

## **1.4 Fundamentos teóricos sobre la absorción**

La absorción es una operación unitaria de transferencia de masa, (Marcilla, 1998), que consiste en poner en contacto, una mezcla gaseosa con un líquido, a fin de disolver de manera selectiva uno o más componentes del gas, y obtener

una solución de éstos en el líquido (Treybal, 1968). Este proceso implica una difusión molecular turbulenta de un soluto "A" a través de un gas "B", que no se difunde y está en reposo, hacia un líquido "C", también en reposo (Geankoplis, 1998). El soluto se recupera después del líquido por desorción o destilación, y el líquido absorbente puede ser desechado o reutilizado (McCabe, 1991).

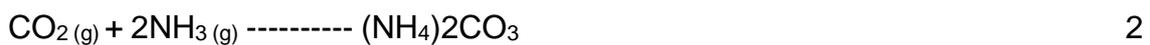
Los procesos de absorción se dividen en dos grupos: en absorción física y absorción química. En el primero, el gas absorbido no entra en interacción química con el absorbente, y en la mayoría de los casos son procesos reversibles; en cambio, en el segundo grupo, el absorbato forma con el absorbente una combinación química (Kasatkin, 1987).

#### 1.4.1 Mecanismo del proceso de absorción

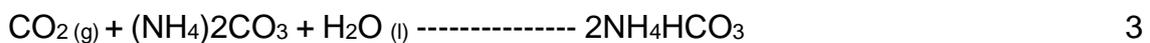
La absorción de un gas es la transferencia de un compuesto soluble de la fase gaseosa a un líquido absorbente relativamente no volátil.

En el sistema de absorción ocurre la disolución del gas NH<sub>3</sub> contenido en la mezcla de los gases que provienen de la destilación de licor y colas, al mismo tiempo se produce un proceso de reacción química enlazado con el gas CO<sub>2</sub>, el NH<sub>3</sub> y el H<sub>2</sub>O ya disueltos. La absorción sencilla está acompañada por un mecanismo químico entre el NH<sub>3</sub> y CO<sub>2</sub>.

Originalmente se pronosticó que durante la absorción de CO<sub>2</sub> por una solución amoniacal, se origina primeramente un carbonato de amonio según la reacción.



Y después el carbonato de amonio ácido.



Sin embargo, la mayor parte de los investigadores juzgan que la carbonatación se realiza pasando primeramente por el carbonato de amonio, según la reacción.



El cual después se hidroliza.



Al mismo tiempo, de los productos de la reacción se forma carbonato según la reacción.



6

La velocidad de carbonatación aumenta con el aumento del contenido de  $\text{NH}_3$  en el licor (solvente) y el contenido de  $\text{CO}_2$  en el gas. Por eso es necesario que los licores que participan en el proceso de absorción tengan altas concentraciones de amoníaco y  $\text{CO}_2$  y además que los gases provenientes de la UBS Planta Termoenergética y Pedro Soto Alba, tengan alto contenido de  $\text{CO}_2$ .

La absorción de las moléculas de gas por la fase líquida, la transferencia de masa, se realiza en la superficie húmeda de la empaquetadura de la torre absorbidora, en la cual se difunde el gas en el líquido.

En la superficie de contacto de la empaquetadura húmeda por donde cae el líquido, en el límite del flujo del líquido y de la fase gaseosa, se forma una capa límite, la cual forma dos capas pegadas "películas"; una de las cuales se compone de moléculas del líquido.

La composición de las películas líquidas y gaseosa directamente en el límite de ambas fases, responde a la concentración de equilibrio, o sea, que en el límite existe la fase de equilibrio.

Durante el proceso de absorción esta fase es perturbada con el ingreso de nuevas partículas y salida de las mismas, las cuales ya estuvieron en contacto, lo que ocasiona que la composición de ambas fases en todo su volumen, no vayan a ser iguales. Perturbando la fase de equilibrio ocasionamos concentraciones no iguales de gas disuelto en la superficie y en el interior del líquido se realiza la difusión de las moléculas de gas a líquido.

El gas absorbido se difunde primeramente en el gas inerte y luego pasa a la película de líquido donde forma una solución y después, la difusión continúa a la masa mayor de líquido. La cantidad de masa que pasa del gas a la fase líquida está dada por la velocidad de intercambio de masa (transferencia de masa).

Durante la absorción a contracorriente, donde el gas fluye en sentido contrario, el líquido puede perturbar el proceso de absorción, una velocidad no proporcional de gas. Esto explica que en el flujo de gas a contracorriente, el movimiento del líquido es frenado.

Esta disminución de velocidad del líquido aumenta durante el aumento de velocidad del flujo de gas hasta que la fuerza de fricción del gas o del líquido se equilibre a la fuerza de gravedad, este es el momento donde empieza la inundación de la torre absorbidora. La inundación de la torre es causada por el aumento rápido de la cantidad de líquido en la empaquetadura y un aumento rápido de la velocidad del gas, esto disminuye el diámetro efectivo.

Durante el aumento de velocidad del flujo de gas en el cual empieza la inundación, se unen a la fuerza de fricción del gas la fuerza de gravedad del líquido y empieza el movimiento regresivo del líquido de abajo hacia arriba ocurriendo la inundación de la absorbidora.

La condición necesaria para alcanzar un mojado perfecto de la parte empacada del absorbedor es hacer un duchado uniforme de las capas superiores de la empaquetadura, esto es, densidad de duchado. Se expresa por la cantidad de duchas en  $m^3/m^2$  del diámetro del absorbedor por hora.

**El sistema de absorción está formado por los siguientes equipos fundamentales.**

- ✓ Torres absorbedoras condensadoras TB 401 A, B, C y D.
- ✓ Torres absorbedoras de CO<sub>2</sub> TB 402 A, B, C y D.
- ✓ Torres depuradoras TB 403 A, B, C y D.
- ✓ Torres finales TB 404 A, B, C y D.
- ✓ Ventiladores VT 405 A, B, C y D.
- ✓ Tanques de licor débil TK 406 y TK 407.
- ✓ Bombas de recirculación BO 400 A, B, C, D y E.
- ✓ Bomba de licor débil BO 408 A, B y C.
- ✓ Enfriadores de licor EN 411 A, 412A, 413A, 414A, 415A,  
EN 411 B, 412B, 413B, 414B, 415B,  
EN 411 C, 412C, 413C, 414C, 415C,  
EN 411 D, 412D, 413D, 414D, 415D,  
EN 411 E, 412E, 413E, 414E, 415E

EN 411F, 412F, 413F, 414F, 415F

EN 416 G (enfriador de placa licor fresco)

EN 417 H (enfriador de placa licor débil)

- ✓ Bomba del sistema de drenaje BO 409.
- ✓ Tanque de licor fresco TK 416 y TK 417.
- ✓ Bomba de licor fresco BO 418 A y B.

### **Características técnicas de las torres de absorción**

#### **Torre final del sistema de absorción**

- Esta torre es la última de las cuatro torres que componen el sistema de absorción y esta tiene la función del lavado final de los gases para su recuperación de amoníaco y CO<sub>2</sub>.
- Está empacada interiormente con anillos PALL (DINAFLO RING) los que se disponen en cestas para ser introducidos y sacados de las mismas.
- Existen cuatro torres instaladas, una por sistema, de las cuales deben trabajar tres y una de reserva.

#### **Características técnicas**

- Presión de trabajo: 0,03 kgf/cm<sup>2</sup> o (2941,995 Pa)
- Presión de prueba: 3,4 kgf/cm<sup>2</sup> o (333426,1 Pa)
- Volumen: 34,6 m<sup>3</sup>
- Diámetro: 1 800 mm
- Altura: 15 050 mm

#### **Torre depuradora de amoníaco**

- Esta torre es la penúltima de las cuatro torres que forman un sistema de absorción y su función principal es absorber la mayor cantidad de amoníaco en los gases tratados.
- Su interior está empacado con anillos PALL (DINAFLO RING) los que se disponen en cestas para ser introducidas y sacadas de las mismas.

- Se encuentran instalados cuatro, una por sistema, trabajarán tres y una de reserva.

### **Características técnicas**

- Diámetros : 1800 mm
- Altura: 9210 mm

### **Torre absorbedora de CO<sub>2</sub>**

- Esta es la ante penúltima torre de las cuatro que forman el sistema de absorción y tiene como función principal la absorción del CO<sub>2</sub> que le llega con los gases de combustión procedente de la sección eléctrica.
- Esta torre en su interior está empacada con anillos PALL (DINAFLO RING) los que se disponen en cestas para ser introducidas y sacadas de las mismas.
- Son cuatro las torres instaladas, una por sistema, deben trabajar tres y una de reserva.

### **Características técnicas**

- Diámetro: 1800 mm
- Altura: 15046 mm

### **Torre absorbedora condensadora**

- Es la primera de las cuatro torres que forman un sistema de absorción y tiene como función principal condensar la mayor parte de los vapores de agua y absorber gran parte del amoniaco y CO<sub>2</sub> que llegan con los gases procedentes de las secciones de destilación.
- Estas torres están empacadas con anillos PALL (DINAFLO RING) los que se disponen en cestas para ser introducidas y sacadas de las mismas.
- Son cuatro torres las que se encuentran instaladas, tres trabajarán normalmente y una de reserva.

### **Características técnicas**

- Diámetro: 3 000 mm
- Altura: 16,580 mm

### **Características técnicas**

- Presión de trabajo: 6 kgf/cm<sup>2</sup> o (588399 Pa)
- Presión de prueba: 9 kgf/cm<sup>2</sup> o (882598,5 Pa)
- Capacidad: 0,250 m<sup>3</sup>
- Diámetro: 700 mm
- Espesor: 6 mm
- Altura: 1 378 mm

### **1.5 Descripción del proceso tecnológico**

La UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto tiene la función de limpiar los licores provenientes de la primera etapa de lixiviación para luego descobaltizarlo y obtener el sulfuro de níquel y cobalto como un producto comercializable, además de destilar el licor descobaltizado para obtener el carbonato de níquel, destilar la cola para recuperar el amoníaco y dióxido de carbono.

La cola enviada desde la UBP Lixiviación y Lavado se distribuye por los precalentadores, cuya función es aumentar la temperatura de la cola antes de enviarla a las columnas de destilación, recuperando parte del calor de los gases desprendidos de las propias columnas.

Con una temperatura de 50 °C se descarga por gravedad desde los precalentadores hasta los tanques de retención de cola, desde donde se bombea hasta las torres de destilación.

La pulpa es descargada de estas torres a una presión aproximada de 0,8 kgf/cm<sup>2</sup> o (78453,2 Pa) se envía por gravedad a dos tanques depresurizadores. La pulpa depresurizada pasa por gravedad al pozo de cola desde donde se bombea hasta el dique de cola. Los gases desprendidos de las columnas de destilación de colas ceden parte de su calor a la pulpa en los precalentadores, que por ser de contacto directo, el condensado pasa a destilación y los gases compuestos

por  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  continúan hacia el hidrociclón, donde se separan las partículas de colas arrastradas por ellos.

Del hidrociclón los gases pasan al intercambiador de tubo y coraza, donde se enfrían hasta una temperatura de (57-60 °C), formando una mezcla líquido - gas que pasa al proceso de absorción luego de recuperado el condensado en el sistema de separación de partículas, este se incorpora a los tanques de retención de cola TK 325 A, B.

La absorción de estos compuestos se efectúa en las torres absorbedoras formada por 4 series de 4 torres cada una. El proceso de absorción se desarrolla a contracorriente, es decir el líquido absorbente se introduce por el tope de las torres y los gases se introducen por la parte inferior de las torres 401 absorbiendo con licores fuertes enfriados y además con licores débiles bombeados desde los tanques de licor débil, el agua se introduce por las torres 403 y 404. El licor débil se forma con los efluentes de las torres 402, 403, 404 y se depositan en los tanques TK 406 y 407 y luego son enfriados con el enfriador de placa. Las torres 402 absorben con licores fuertes enfriados los gases que no se absorben en las torres 401, además a estas torres se añaden los gases de combustión de la UBS Planta Termoenergética y de la planta de hidrógeno de la fábrica Pedro Soto Alba (PSA). En los tanques 406 y 407 se alimenta solución compensadora al 25 % para recuperar las pérdidas de amoniaco en el circuito de Recuperación y Lixiviación.

El licor extraído del fondo de la torre 401 se bombea a las baterías de enfriadores formados por seis unidades y un enfriador de placas, el licor enfriado es almacenado en los tanques de licor fresco TK 416 y 417, de donde se bombea a la UBP Lixiviación y Lavado.

Como medio de enfriamiento se utiliza el agua del sistema de retorno, y para el sistema de absorción se utiliza agua suavizada proveniente de la UBS Planta Termoenergética.

## **Conclusiones parciales.**

- Las investigaciones realizadas sobre las colas de la tecnología carbonato amoniacal han estado encaminadas generalmente al transporte de las colas y sus características.
- En la revisión bibliográfica realizada no se reportan trabajos relacionados con los arrastres de colas del sistema de destilación de colas al sistema de absorción de la UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

## **CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS**

El avance de toda investigación requiere del empleo de un instrumental metodológico para la obtención y confiabilidad de los resultados. La adecuada selección de los métodos y materiales que se utilizan certifican los resultados logrados, por tal motivo a continuación se detallan los métodos y técnicas empleadas en el estudio de los arrastres de sólidos del sistema de destilación de cola al sistema de absorción en la UBP Recuperación de Amoniac-Cobalto en vista de su futuro aprovechamiento.

El objetivo de este capítulo es analizar mediante toma de muestras, el sólido en suspensión, densidad de la cola y la concentración de amoniaco existente en el licor condensado de la cola y así poder demostrar el comportamiento del arrastre de sólido del sistema de destilación al sistema de absorción, para determinar las causas que lo provocan y así proponer soluciones al problema.

### **2.1 Métodos empleados en la investigación**

Toda investigación implica la utilización de métodos que viabilicen el cumplimiento del proceso investigativo, además, es la forma de abordar la realidad, de estudiar los fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, con el propósito de descubrir la esencia de los mismos y sus relaciones.

En el desarrollo de la investigación se aplican las siguientes técnicas del conocimiento

#### **Histórico-lógico:**

El método histórico-lógico permite indagar en los referentes teóricos que identifican las relaciones entre el proceso cognoscitivo lógico y el desarrollo histórico de los procesos en su conjunto y del conocimiento en particular.

El mismo es aplicable para estudiar los arrastres de sólidos desde sus inicios, así como el surgimiento de los procesos de destilación y absorción.

### **Análisis y síntesis:**

El análisis es el proceso por el cual se examina un objeto en sus partes dirigido a lo individual, mientras que la síntesis es la unión de lo que se adquiere en el análisis, es decir, nos aporta el todo, lo general.

En la investigación el método se emplea para analizar las diferentes técnicas aplicadas a licores con soluciones amoniacaes, específicamente la valoración con ácido clorhídrico y por comparación, las cuales se encarga de conocer la concentración de amoniaco y el contenido de sólido en suspensión que compone la muestra.

### **Método inductivo y deductivo:**

Es un proceso que permite la búsqueda de información, toma como referencia la relación de los aspectos generales a los particulares y viceversa (Taylor & R Bogdan, 1984).

Permite abordar los referentes teóricos que se utilizan para sustentar la indagación científica, así como las investigaciones precedentes aplicadas a los licores con soluciones amoniacaes.

## **2.2 Materia prima utilizada en la investigación. Características**

La materia prima utilizada en la investigación es el licor condensado de cola, este licor tiene sólido en suspensión (cola) y una concentración de amoniaco desconocida, lo cual se pretende determinar mediante un proceso experimental.

### **2.2.1 Características de la cola**

La cola es una pulpa de color negro y constituye el residuo de la planta de Lixiviación y Lavado, la que se somete a destilación para recuperar el  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  que contiene. La temperatura de vertimiento es de  $43\text{ }^\circ\text{C}$  y la relación líquido-sólido de 80 % (García, 2011) .

El sólido contenido en el residuo se constituye por mineral reducido, cuya densidad real es de  $3,8\text{ t/m}^3$ . Posee un predominio de las partículas finas, ya que el 60 % de ellas está por debajo de los  $0,044\text{ mm}$ ; la porosidad es de 42,5 % y

su humedad molecular capilar es de 42,4 %. Esto se debe fundamentalmente a que en los hornos de reducción de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, la hematita se reduce a magnetita, producto de la reducción se evacua del mineral parte del oxígeno contenido y deja pequeños poros en los granos de magnetita, lo que provoca una configuración esponjosa (Pelaez, 2002). La gravedad específica de las colas se encuentra en el rango de 2,63 a 3,85 t/m<sup>3</sup> y su peso volumétrico entre 1,30 y 1,46 t/m<sup>3</sup> (Fernandez, 1979).

La composición química fundamental (en %) del material es la siguiente (García, 2011).

Ni = 0,38; Co = 0,08; Fe = 44,69; Cu = 0,02; Zn = 0,04; Mn = 0,76; Mg = 4,77;  
Cr = 1,83; Al = 4,50 y SiO<sub>2</sub> = 15,65.

Su composición mineralógica cualitativa y cuantitativa (en %) está constituida por las siguientes fases (Rojas & Turro, 2003).

Fallalita [(Fe, Mg)<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)] = 11,84

Maghemita [ $\sigma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] = 37,64

Cromoespinelas [(Mg, Fe) Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] = 6,92

Magnetita [Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>] = 42,67

Cuarzo [SiO<sub>2</sub>] = 0,90

### **2.2.2 Características del amoniac**

Es un compuesto químico en estado natural gaseoso, ampliamente utilizado en la industria química y como refrigerante. Se disuelve con facilidad en agua formando el agua amoniacal. Es una sustancia muy corrosiva y tóxica por lo que su manejo requiere medidas de seguridad para evitar daños a la salud e incluso la muerte.

#### **Propiedades físicas y químicas**

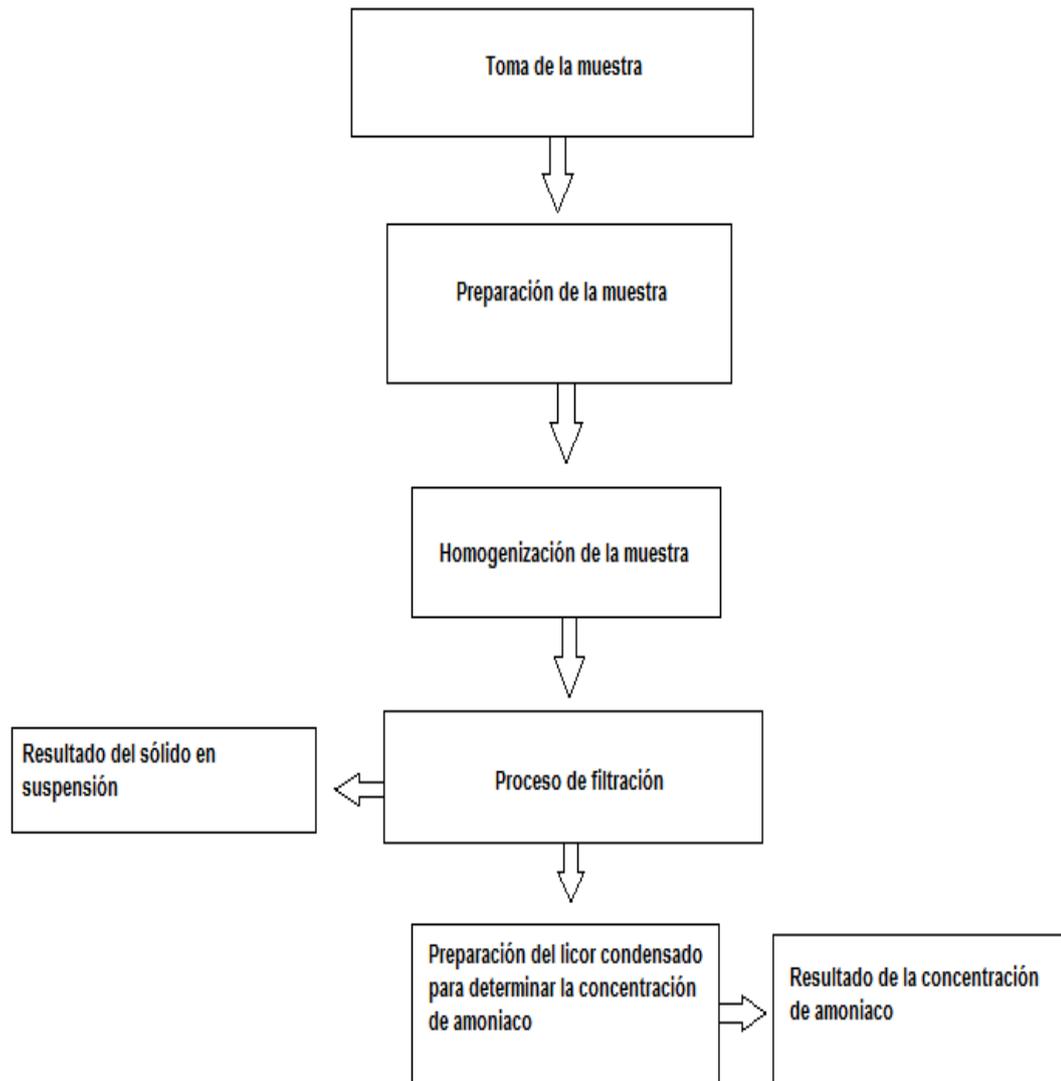
- Gas incoloro en condiciones normales, tiene un olor picante característico, que irrita los ojos y de sabor cáustico.
- Masa molar: 17 g mol<sup>-1</sup>
- Densidad del gas (0 °C y 1 atm.): 0,7714 kg/m<sup>3</sup>

- Temperatura de solidificación:  $-77,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura normal de ebullición:  $-33,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Calor latente de vaporización a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $1265\text{ kJ/kg}$
- Presión de vapor a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $415\text{ kPa}$ .
- Temperatura crítica:  $132,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Presión crítica:  $113\text{ atm}$ .
- Estable a temperatura ambiente, se descompone por el calor.

### **2.3 Metodología experimental utilizada para llevar a cabo la toma de muestra**

El propósito fundamental de la investigación es determinar el comportamiento de los arrastres de sólidos del sistema de destilación de colas al sistema de absorción de la UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Se toman como base las posibilidades que nos brindan los métodos de comparación y valoración, todo en función de demostrar la existencia de sólido en el sistema de absorción para su posible solución.

La metodología seguida en la investigación estuvo basada en la experiencia de trabajos precedentes (Llansana, 2013) y (Flores, 2013). El estudio experimental se llevó a cabo bajo el esquema de la figura 2.1.



**Figura 2.1. Esquema de flujo general para la determinación de sólido en suspensión y concentración de amoníaco.**

### **2.3.1 Toma de la muestra**

En la figura 2.1 se describe el flujo general para la determinación del sólido en suspensión y la concentración de amoníaco, el primer paso consiste en la toma de la muestra. Para la realización del estudio se toma una muestra directamente del tanque separador de partículas del licor condensado de cola, la función de dicho tanque es lograr separar la mayor cantidad de sólido contenido en licor, una vez los gases desprendidos por la cola pasan por el sistema de absorción se logra obtener un licor con alta concentración de amoníaco este licor pasa al tanque separador de partículas donde el sólido que se encuentra en el licor va a

sedimentar dentro del tanque y así lograr un licor libre de sólido, el cual se muestra en la figura 2.2.



**Figura 2.2. Tanque separador de partículas.**

Para la toma de esta muestra es muy importante tener la supervisión de un especialista y usar los medios de seguridad pertinentes, ya que en dicho tanque no existe una toma muestra, debido a que nunca antes se habían realizados investigaciones de este tipo.

Lo primero que se debe hacer es drenar el tanque separador de partículas, el objetivo es lograr que toda la cola que se encuentra en el tanque salga y así no afecte el resultado, como segundo paso es tomar la muestra en un recipiente de un litro de capacidad, el cual se muestra en la figura 2.3, previamente endulzado.

Las muestras se tomaron por siete días, tres veces al día, cada dos horas, fueron tomadas de esa manera para entrar en coordinación con el sistema de muestreo de la planta UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto.

### **2.3.2 Preparación y homogenización de la muestra**

Una vez concluido la toma de la muestra se procede a llevarla al laboratorio para su preparación, esto es un proceso bastante sencillo, lo único que se debe hacer es dejar reposar y enfriar la muestra hasta temperatura ambiente, es importante que este a temperatura ambiente para que no afecte los equipos posteriores.

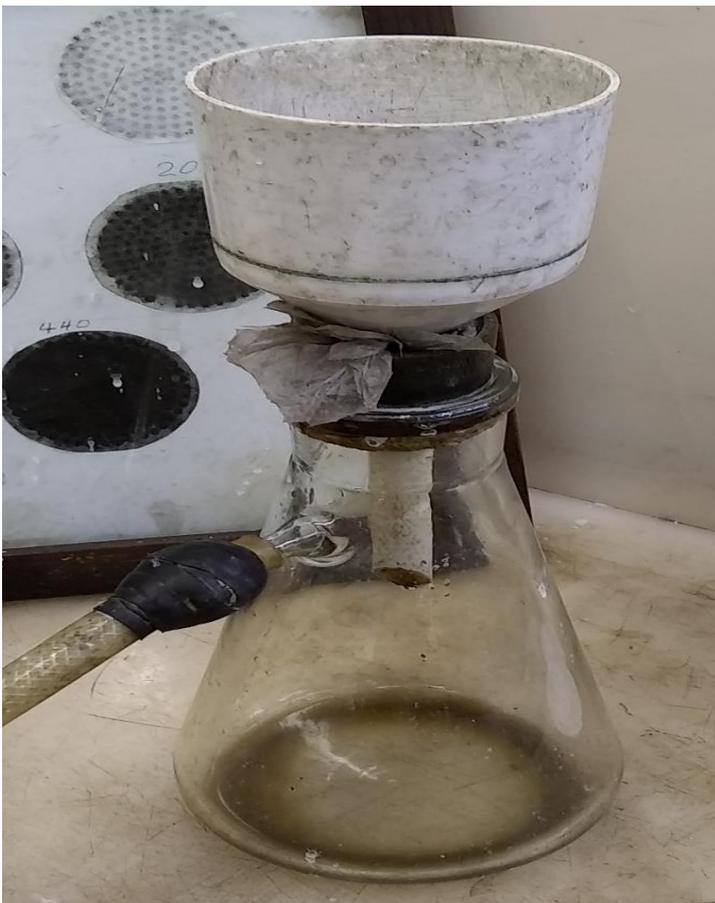


**Figura 2.3. Recipiente de un litro de capacidad.**

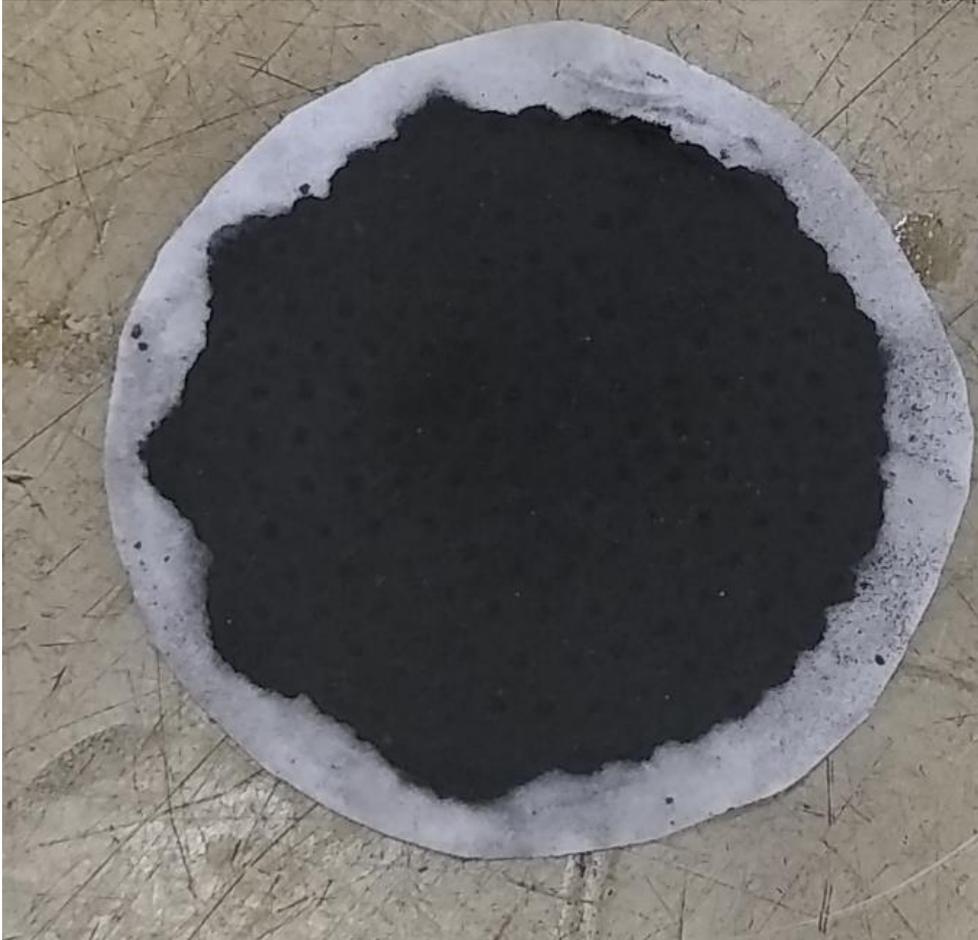
Después de que la muestra está a temperatura ambiente se pasa a la homogenización manual, esto es un paso fundamental ya que la cola tiene una densidad mayor a la del licor, y tiende a sedimentar, por lo que hay que agitar muy bien por varios segundos el frasco donde se encuentra contenida la muestra y así lograr una buena homogenización.

### **2.3.3 Filtración de la muestra**

La filtración se lleva a cabo en un Kitasato que lleva acoplado un embudo de porcelana y una bomba de vacío el cual se muestra en la figura 2.4, donde previamente ha sido colocado un papel de filtro de porosidad media donde quedara retenida la cola diluida en el licor, una vez filtrado se puede obtener el resultado del sólido en suspensión mediante el método comparativo.



**Figura 2.4. Instrumento de filtración.**



**Figura 2.5. Papel de filtro de porosidad media.**

#### **2.3.4 Preparación del licor filtrado para la determinación de la concentración de amoníaco**

Después del proceso de filtración el licor queda libre de sólido y a temperatura ambiente, luego se procede a determinar la concentración de amoníaco mediante el método por valoración con ácido clorhídrico

#### **2.4 Técnicas aplicadas en la investigación**

##### **Método por valoración con ácido clorhídrico:**

Este método establece el procedimiento para la determinación en licores amoniacales que contienen níquel. Las determinaciones se efectúan fundamentalmente para contenidos que varían entre 50 y 200 g/L de amoníaco.

##### **Referencias normativas de método:**

NC 21-01 Agua para análisis.

**Fundamentos del método:**

La porción de ensayo se valora con solución de ácido clorhídrico de concentración conocida, usando metil naranja como indicador.

**Reactivos químicos:**

- Solución de ácido clorhídrico 1,172 N
- Metil naranja 5 g/L
- Solución de ácido bórico 40 g/L: Disuelva 40 g de ácido bórico puro para análisis en aproximadamente 500 mL de agua destilada, enrase a 1 L.

**Muestra:**

La muestra de ensayo se toma directamente de la muestra entregada al laboratorio, la misma se encuentra a temperatura ambiente.

**Procedimiento:**

Tome una porción alícuota de 5 mL y transfírela a un Erlenmeyer de 250 mL de capacidad, que contenga aproximadamente 100 mL de solución de ácido bórico.

**Determinación:**

Al producto contenido en Erlenmeyer adicione 4 o 5 gotas de metil naranja y valore con solución de ácido clorhídrico de concentración conocida hasta viraje del indicador de amarillo a rojo salmón.

**Método comparativo:**

Mediante este método se logra la determinación de sólidos en suspensión en licores amoniacaes, cuyo contenido de solido en suspensión se encuentra en el rango de (20-440) ppm (partes por millón) o también se puede expresar en mg/L.

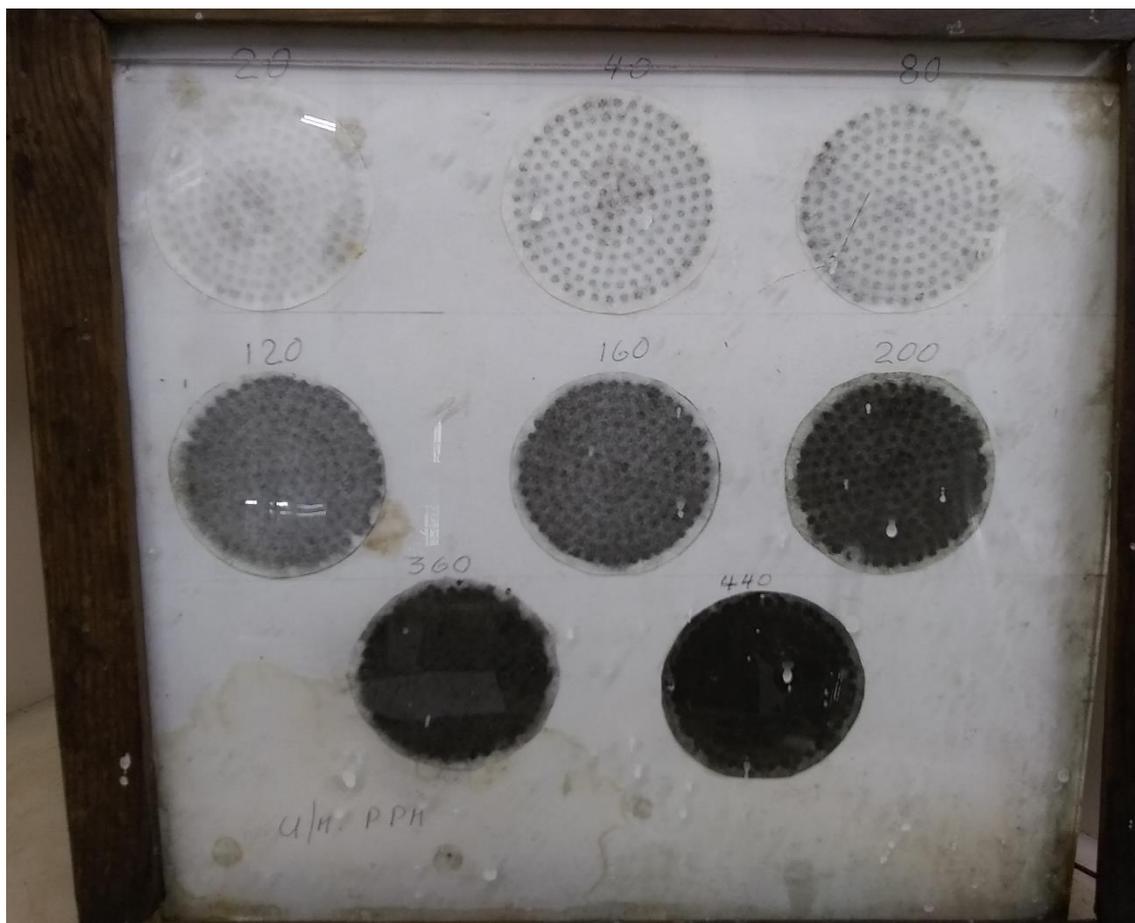
**Referencias normativas del método:**

NRIB 163:1978 Determinación de sólidos en suspensión.

**Fundamentos del método:**

La muestra depositada en el papel de filtro de porosidad media en un embudo de filtración al vacío.

La cantidad de sólido depositada en el papel de filtro, es determinada de forma aproximada por comparación en una tabla de patrones.



**Figura 2.6** Tabla de patrones.

**Los utensilios que fueron utilizados para desarrollar este método fueron:**

- Papel de filtro de porosidad media
- Kitasato de 1 L
- Embudo de porcelana para filtración a vacío
- Bomba de vacío
- Probeta graduada de 100 mL

**Muestras:**

La porción de ensayo se toma directamente de la muestra de laboratorio educadamente homogenizada.

**Procedimiento:**

Agitamos bien la muestra de laboratorio y medimos con la probeta una porción alícuota de 100 mL, filtrada a través del embudo de filtración al vacío, donde

previamente ha sido colocado el papel de filtro, lave la probeta con agua destilada para recuperar el residuo de ensayo.

**Determinación:**

Retiramos el papel de filtro del embudo, esperáramos que se seque a temperatura ambiente y procedemos a comparar con la tabla de patrones.

**Metodología a seguir para determinar la densidad de las colas:**

Para determinar la densidad se toma una muestra directamente de la tubería por donde pasa la cola hacia los tanques de retención, primeramente se toma un recipiente de un litro de volumen y se precede a determinar su masa, luego se llena el recipiente de cola y se le determina su masa, luego se le resta la masa del recipiente vacío y el resultado obtenido es la densidad de la cola.

## **Conclusiones parciales**

- Los métodos de comparación y valoración con ácido clorhídrico fueron los adecuados para el estudio de los arrastres de colas.
- La muestra tomada del licor condensado de cola, en la UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto de la empresa Ernesto Che Guevara se considera representativa con respecto a su volumen total.

## **CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos una vez analizado el comportamiento del arrastre de sólido del sistema destilación de cola al sistema de absorción en la UBP Recuperación de Amoniac-Cobalto en la empresa Ernesto Che Guevara, para poder determinar las causas que provocan este fenómeno y así proponer soluciones que sea factibles a la empresa.

### **3.1 Evaluación del sólido en suspensión, concentración de amoniaco y densidad de la cola**

A continuación, se analizan los resultados del sólido en suspensión, la concentración de amoniaco y la densidad de la cola, presente en el licor condensado en los diferentes días que fueron tomadas las muestras, para así poder definir las causas que provocan el arrastre de sólido al sistema de absorción.

En la tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos durante un periodo de siete días, se tomaron tres muestras diarias cada dos horas.

Los valores que están en color rojo (440 ppm) significan que fueron las que presentaron de mayor contenido de sólido en suspensión en todo el periodo de muestreo y las que están en azul (40 ppm) las de menor.

En el caso de la concentración de amoniaco, las de color rojo manifiestan las más alta concentración, en el rango de 140,8 a 186,2 g/L y las de color azul las que presentan una baja concentración en el rango 130,3 a 137,1 g/L.

Para la densidad, las de color rojo, que se encuentran en el rango de 1700 g/L hasta 1920 g/L, son las de más alta densidad y las de color azul que se encuentran por debajo de 1700 g/L se consideran bajas.

**Tabla 3.1.** Resultados de los análisis realizados a las muestras en un periodo de siete días.

Días	Hora	Números de muestras	Sólido en suspensión (ppm)	Concentración de amoniaco (g/L)	Densidad de la cola (g/L)
1	10:00 am	R:1	440	157	1860
	12:00 pm	R:2	360	135,5	1780
	2:00 pm	R:3	440	172,5	1800
2	8:00 am	R:4	440	186,1	1920
	10:00 am	R:5	40	141,5	1600
	12:00 pm	R:6	40	167	1650
3	10:00 am	R:7	440	170	1840
	12:00 pm	R:8	440	181,6	1790
	2:00 pm	R:9	440	177,3	1700
4	8:00 am	R:10	360	140,8	1720
	10:00 am	R:11	440	137,1	1750
	12:00 pm	R:12	360	130,3	1700
5	2:00 pm	R:13	40	140,8	1690
	4:00 pm	R:14	40	132,1	1600
	6:00 pm	R:15	40	130,3	1650
6	12:00 pm	R:16	360	156,9	1780
	2:00 pm	R:17	360	160,8	1845
	4:00 pm	R:18	360	175,6	1700

7	8:00 am	R:19	440	186,2	1800
	10:00 am	R:20	440	173,1	1750
	12:00 pm	R:21	360	140,8	1685

En la tabla se observa la existencia de sólido en el sistema de absorción, existiendo arrastres en las 21 muestras tomadas, o sea, todos los días de muestreo; también podemos observar que la concentración de amoníaco posee poca variación, manteniéndose en el rango establecido para la planta (140-190 g/L).

Con respecto a la densidad de las colas, existen valores que están por encima de lo establecido por la UBP Recuperación de Amoníaco-Cobalto, mayores a 1700 g/L. En la tabla se observa que prácticamente cada vez que se excede el rango establecido existen altos arrastres de sólidos.

En el gráfico 3.1 se muestra el comportamiento de los arrastres de sólidos al sistema de absorción, estos se encuentran por encima del valor establecido por la planta UBP Recuperación de Amoníaco-Cobalto, (menor a 20 ppm), motivado por la presencia de alto contenido de sólido en el sistema de absorción.



**Figura 3.1.** Comportamiento de los arrastres de sólidos al sistema de absorción.

Como se observa en el gráfico las muestras (1; 3; 4; 7; 8; 9; 11; 19; 20) fueron las de mayores arrastres de sólidos, alcanzando el valor de 440 ppm, esto está relacionado a que en el momento que fueron tomadas, los tanques de retención de cola donde se generan los gases que van hacia el sistema de absorción estaban por encima de su nivel máximo, provocando que las colas se introduzcan en el conducto de gases, lo que trae consigo un aumento en los arrastres de sólido hacia el sistema de absorción.

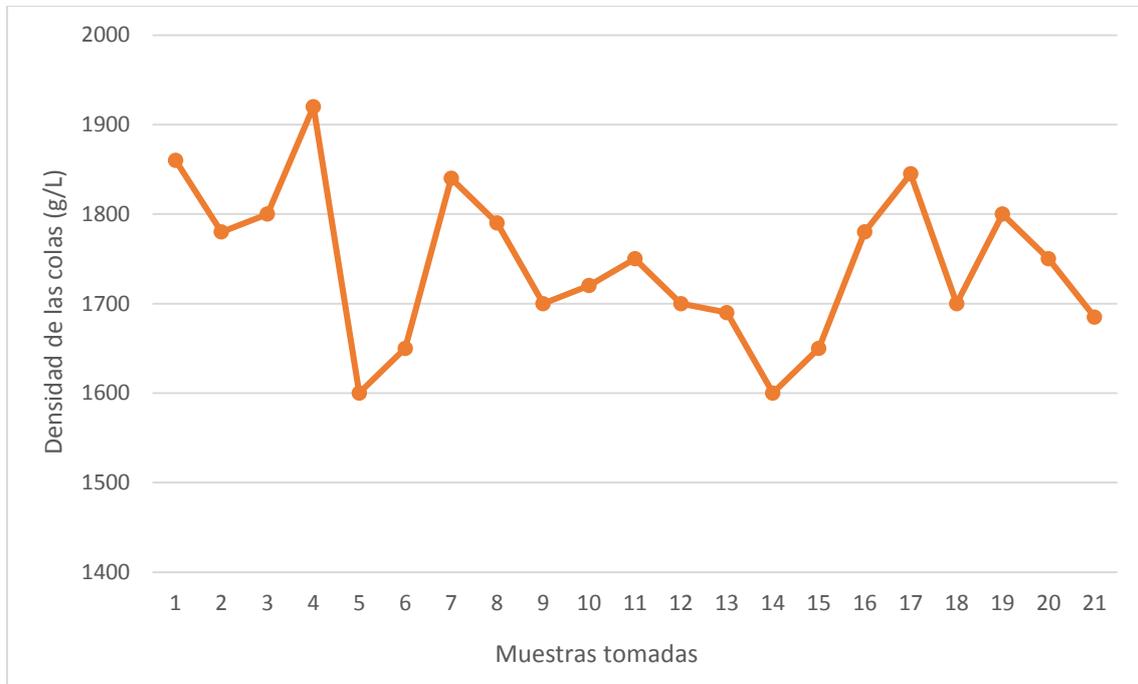
En el gráfico 3.2 se muestra el comportamiento de la concentración de amoniaco, donde existe un comportamiento estable, dentro del el rango establecido mayor de 140 g/L y menor a 190 g/L. En las muestras tomadas osciló entre 130,3 y 186,2 g/L.



**Figura 3.2.** Comportamiento de la concentración de amoniaco en el licor condensado de las colas.

La poca variación de la concentración de amoniaco manifiesta que el arrastre de sólidos no afectan la calidad del amoniaco en el licor condensado de cola, o sea por mucho sólido que exista en licor, las concentraciones de amoniaco se van a mantener estables, en el rango de 140-190 g/L, no siendo así con las torres de absorción, las cuales si sufren daños debido a las incrustaciones de sólido.

El gráfico 3.3 nos ofrece el comportamiento de la densidad de las colas, la cual está por encima de la norma establecida para la planta UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto. En 15 de las muestras tomadas, superando los 1700 g/L; esto es algo que hay que tener en cuenta a la hora de analizar las causas que provocan los arrastres de sólidos al sistema de absorción.

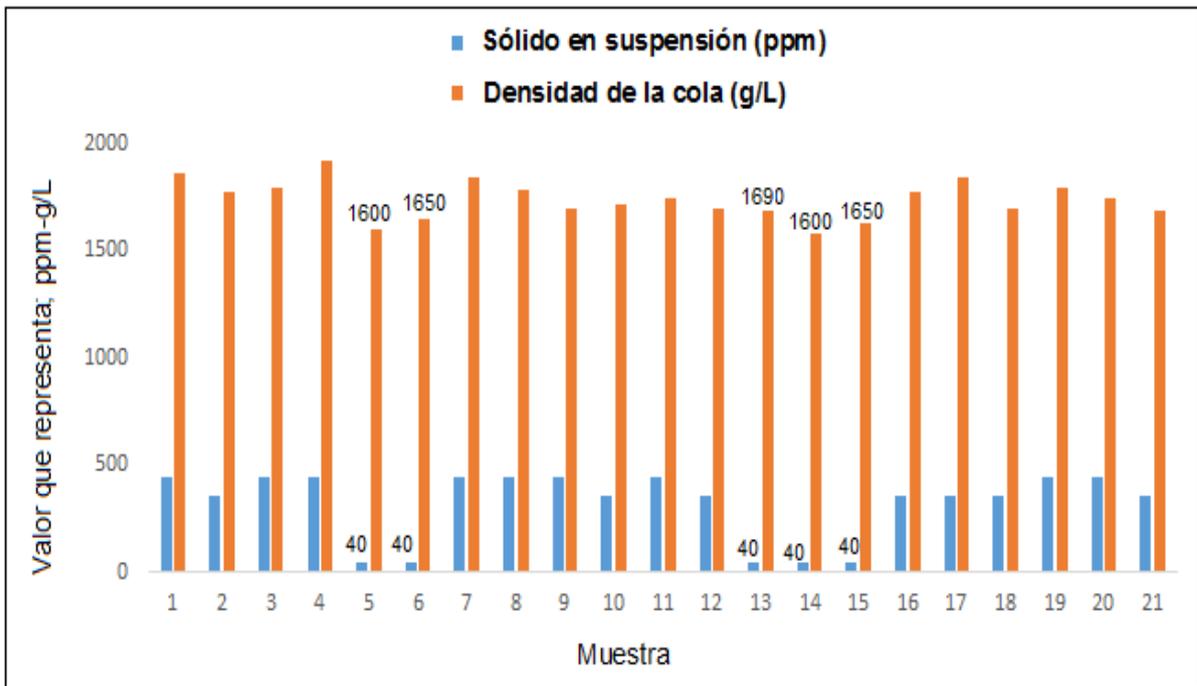


**Figura 3.3.** Comportamiento de densidad de las colas.

Este aumento y descenso de la densidad de las colas es debido a malas operaciones para mantener el rango establecido, ya que no existe un sistema que nos permite conocer la densidad real constantemente, la densidad se toma cada dos horas y en este periodo de tiempo existe fluctuación en la misma, sólo después de este periodo de tiempo se vuelve a conocer la densidad existente y es donde se toman medidas pertinentes para estabilizar la misma.

Las medidas que se toman para disminuir la densidad es informar inmediatamente a la planta de Lixiviación y plantearle el problema para que procedan a la inyección de agua en las tuberías por donde circula la cola.

La figura 3.4 representa la dependencia que tiene el sólido en suspensión con respecto a la densidad de las colas, como se ha mencionado existe una estrecha relación entre la densidad y los arrastres de sólidos.



**Figura 3.4.** Comportamiento de los arrastres de sólido con respecto a la densidad de la cola.

Como se puede apreciar en el gráfico cuando las densidades están en el rango de 1600-1690 g/L, el sólido en suspensión se mantiene relativamente bajo, alcanzando el valor de 40 ppm, esto es debido a que las bombas encargadas del transporte de las colas no sufren daño alguno, ya que están diseñadas para el transporte de fluidos con densidades menores a 1700 g/L y logran mantener el nivel del tanque de retención de cola a un nivel estable.

En el caso de los valores de densidad por encima de 1700 g/L, existe un crecimiento del sólido en suspensión, para la muestra 4 se alcanza una densidad de 1920 g/L, de esta manera se arrastran 440 ppm de sólido en suspensión, en estas condiciones las bombas van a empezar a perder potencia y no serán capaces de mantener un nivel estable en el tanque, lo que trae consigo el reboso de la cola provocando que exista un nivel elevado de sólido en suspensión.

En la tabla 3.2 se muestra el promedio diario del sólido en suspensión, concentración de amoníaco y densidad de la cola.

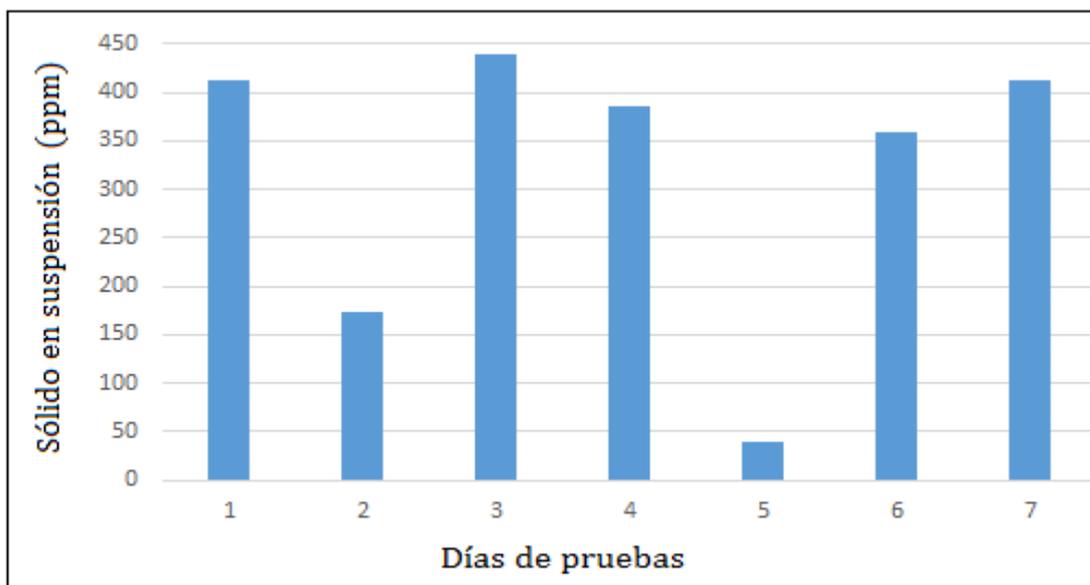
**Tabla 3.2.** Promedio diario del sólido en suspensión, concentración de amoniaco y densidad de las colas en las muestras analizadas

Días	Sólido en suspensión (ppm)	Concentración de amoniaco (g/L)	Densidad de las colas (g/L)
1	413	155	1813
2	173	164	1723
3	440	176,3	1776
4	386	136	1723
5	40	134,4	1643
6	360	164,4	1775
7	413	166,7	1745

En la tabla podemos observar que la concentración de amoniaco promedio por día se mantiene bastante estable, estando en el rango establecido para la UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto.

Sin embargo, no pasa lo mismo con la densidad de la cola, observando la tabla 3.2 nos podemos percatar que los valores de densidad en su mayoría están por encima de lo establecido para la UBP Recuperación de Amoniaco-Cobalto, mayores a 1700 g/L.

En la figura 3.5 se muestra el comportamiento diario del sólido en suspensión.

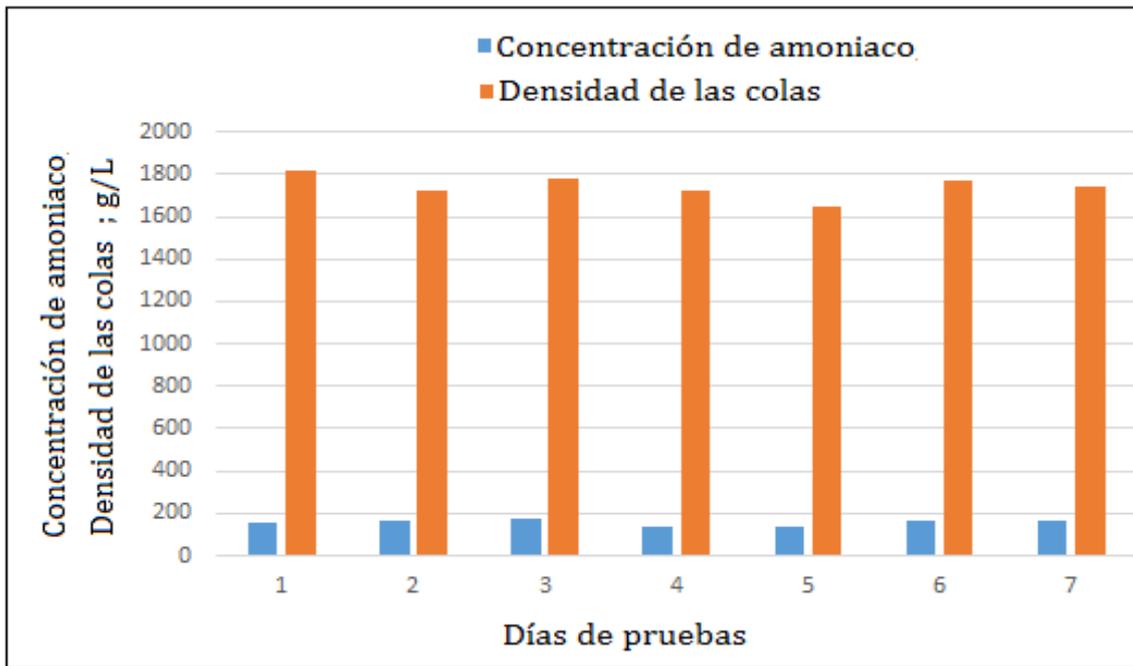


**Figura 3.5.** Comportamiento diario de los arrastres de sólido.

Como se puede observar en el gráfico sólo el quinto día de operación se mantuvo bajo con respecto a los arrastres de sólidos (40 ppm), a pesar que está por encima de la norma (por debajo de 20 ppm), esto está relacionado con la estabilidad alcanzada ese día referente a la densidad promedio.

El día de mayor arrastre fue el tercero, alcanzando valores de 440 ppm, esto está relacionado con la elevada densidad de la cola en ese día.

En la figura 3.6 se muestra el comportamiento diario de la concentración de amoniaco y densidad de las colas.



**Figura 3.6.** Comportamiento diario de la concentración de amoniaco y densidad de las colas.

En el gráfico se observa que sólo al quinto día de operación la densidad de las colas se mantuvo estable, alcanza valores de 1643 g/L y como se mencionó anteriormente fue el día de menor arrastre de sólidos (40 ppm), corroborando de esta forma la relación existente entre la densidad y los arrastres de sólidos. Los seis días restantes la densidad se mantuvo alta, oscilando en el rango de (1723 a 1813 g/L), ocasionando elevados arrastres de sólidos de 173 a 440 ppm.

La concentración de amoniaco promedio por día posee poca variación, en los días de estudio osciló en el rango de (136-176,3 g/L), esto quiere decir que el sólido existente en el licor condensado de la cola no afecta la concentración de amoniaco.

### **3.2 Causas que provocan los arrastres de sólido al sistema de absorción**

Es importante realizar un buen análisis de las causas que provocan el arrastre de sólido, para así poder determinar una solución que sea eficiente para la planta UBP Recuperación de Amoniac-Cobalto de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Como se explicó en el gráfico 3.3, los valores elevados de la densidad de la cola en las días que se realizaron las pruebas arrojaron un valor promedio de densidad de la cola por encima de lo establecido, la densidad es un factor que influye mucho en las causas de los arrastres de sólidos al sistema de absorción, ya que si su valor está por encima de 1700 g/L las bombas encargadas del transporte de dicha cola desde el tanque de retención de cola hacia el sistema de torres de destilación dejan de funcionar al 100 %, debido a que no están diseñadas para el transporte de fluidos con densidades mayores a 1700 g/L, provocando que el flujo de entrada a los tanques de retención de cola sea mayor al flujo de salida, esto implica que el nivel de cola suba más de lo establecido ya que estos tanques no cuentan con instrumentos que sean capaces de medir el nivel de cola, causando reboso en el tanque.

Estos tanques de retención de cola están diseñados de forma tal que los gases liberados de la cola caliente no se escapen, por lo que se instaló una línea de gases que va directo al sistema de absorción. Cuando el nivel del tanque sube demasiado la cola se introduce en la línea de gases provocando el arrastre de sólido del sistema de destilación de cola al sistema de absorción.

Los ingenieros de la planta UBP Recuperación de Amoniac-Cobalto diseñaron un dispositivo a dicho tanque, que no es más que una tubería en forma de un cuello de ganso, la función de dicho dispositivo es lograr que cuando el tanque se pase del nivel establecido, antes de llegar a la línea de gases derrame la cola y así el operador pueda darse cuenta y poder tomar las medidas pertinentes para evitar dicho arrastre.

Pero estos cuellos de ganso no son del todo eficientes debido a su pequeño diámetro (250 mm) por lo cual se tapan muy fácilmente, lo cual nos lleva a la siguiente pregunta, ¿ por que no lo diseñaron con un diámetro mayor y así evitar que se tapan?; como se explicó anteriormente la cola caliente libera gases por

lo que si el diámetro del cuello de ganso es más grande, mayor será el escape de gases, haciendo imposible operar cerca de los tanques de retención de cola y causando pérdidas de amoníaco contenido en dichos gases.

Después de analizar lo planteado anteriormente, se llega a la conclusión que las causas fundamentales que provocan los arrastres de sólido del sistema de destilación de cola al sistema de absorción son las siguientes:

1. Alta densidad de las colas.
2. Falta de instrumentación para medir el nivel del tanque de retención de colas.

### **3.3 Evaluación de las posibles soluciones al fenómeno de los arrastres de sólido al sistema de absorción**

Una vez conocidas las principales causas que provocan los arrastres de sólido del sistema de destilación de cola al sistema de absorción, podemos evaluar las posibles soluciones y seleccionar la más eficiente posible logrando resolver el problema existente, para así poder evitar que existan gastos por concepto mantenimiento y conservar la vida útil de las torres de absorción.

#### **3.3.1 Primera posible solución a los arrastres de sólido al sistema de absorción**

Es importante destacar que los tanques de retención de cola carecen de instrumentación para medir el nivel de dicho tanque, siendo esto una de las causas que provocan los arrastres de sólido al sistema de absorción.

Si actualmente los tanques de retención de cola contaran con un instrumento capaz de medir desde el nivel mínimo hasta el nivel máximo no existiesen arrastres de sólido al sistema de absorción, ya que el operador sería capaz de saber cuándo el tanque alcanza su nivel máximo y así evitar que la cola se introduzca en el conducto de gases.

La posible solución está basada en:

#### **Medidores de nivel**

1. Nivel por presión de fondo (instrumento transmisor de presión con platillo separador de membrana).
2. Relé para el control de nivel por medio de electrodos.

### **Ventajas y desventajas de estos medidores de nivel.**

La ventaja que nos ofrece el medidor de nivel por presión de fondo es que le brinda la información al operador de forma continua del nivel mínimo hasta el nivel máximo del tanque y tiene una exactitud prácticamente exacta.

Sus desventajas es que es un instrumento muy costoso, se daña con facilidad por no soportar las altas temperaturas y para desmontarlo y darle mantenimiento hay que sacar el tanque de retención de cola de operación.

El relé para el control de nivel por medio de electrodos nos ofrece unas ventajas diferentes al anterior, este nos ofrece una señal lumínica y sonora cuando el tanque alcanza su nivel máximo y así evitar el derrame de cola, brinda estabilidad en las operaciones del tanque, se le puede dar mantenimiento sin necesidad de sacar de operación el tanque de retención de cola y refleja en el panel de operaciones las indicaciones de nivel bajo, medio y máximo.

Las desventajas de este dispositivo es que no refleja en el panel una indicación continúa del nivel del tanque de retención de cola y tiene un precio demasiado alto.

### **3.3.2 Segunda posible solución a los arrastres de sólido al sistema de absorción**

En la actualidad los tanques de retención de cola cuentan con un dispositivo llamado Cuello de Ganso diseñado por los ingenieros de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, dicho dispositivo es una tubería de aproximadamente 5 m de longitud y 250 mm de diámetro, instalado a una altura de 4 m en el tanque, una vez que la cola llegue al nivel donde fue instalado el Cuello de Ganso se derramará y así el operador puede percatarse que el tanque está alcanzando el nivel máximo y pueda tomar las medidas necesarias.

El Cuello de Ganso tiene un defecto, su diámetro es muy pequeño y se tupa con facilidad, una vez tupido, la cola no se derramará y se introduce en el conducto de gases donde ocurrirán los arrastres de colas al sistema de absorción y el operador no se puede percatar de esto, por tanto, si al tanque se le instala un segundo Cuello de Ganso, con un diámetro más pequeño que el primero (200 mm) y a una altura de 30 cm más arriba del primero, se evitarían grandes pérdidas de gases y el operador se podría percatar del derrame de colas, de esta

manera también el operador se percataría que el primer cuello de ganso está tupido y podría bajar el nivel del tanque para destupir el primer cuello de ganso y evitar el arrastre de colas.

La posible solución está basada en:

**Instalación de un segundo Cuello de Ganso, con un diámetro inferior al existente.**

**Ventajas y desventajas de la instalación de un segundo cuello de ganso.**

Las ventajas que nos ofrece la instalación de un segundo cuello de ganso es que se mitigarían los arrastres de cola al sistema de absorción al existir una segunda alternativa, para su mantenimiento no es necesario sacar el tanque de retención de cola de operación y el costo de fabricación e instalación de dicho dispositivo muy bajo con respecto a los otros instrumentos.

Las desventajas de los cuellos de ganso es que solo ofrecen información visual, o sea, el operador debe estar en el área donde se encuentran ubicado los tanques de retención de cola para percatarse cuando el tanque está alcanzando su nivel máximo, otra de las desventajas es que se tupen con frecuencia debido a su pequeño diámetro.

**3.3.3 Tercera posible solución a los arrastres de sólido al sistema de absorción**

En los inicios de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara no existían los problemas de los arrastres de sólidos en los sistemas de destilación de cola al sistema de absorción en la planta Recuperación de Amoniaco-Cobalto, debido a que existía un diseño bien elaborado que no permitía que llegaran sólidos al sistema de absorción, dicho sistema estaba elaborado de la siguiente manera, los gases desprendidos de la cola caliente que se encuentran en los tanques de retención de cola pasaban primero por un sistema captador de sólidos o purificadores de gases, los cuales fueron retirados porque las tuberías por donde pasaban los gases antes de llegar al sistema purificador de gases eran de aluminio y con el tiempo se fueron deformando impidiendo el funcionamiento correcto de estos equipos, por lo cual se decidió retirar estos equipos y dejar el conducto de los gases desprendidos de la cola directo al sistema de absorción.

El problema de los arrastres de sólido podría quedar resuelto volviendo a instalar en la planta un sistema purificador de gases, pero con modificaciones para evitar los problemas que existieron en su momento; tales modificaciones **serian:** cambiar las tuberías por donde pasan los gases que son de aluminio por un metal más resistente a la deformación y también plantearse instalar un sistemas de purificación de gases más modernos para lograr una alta eficiencia en las torres de absorción.

### **Ventajas y desventajas de un sistema purificador de gases.**

Las ventajas que nos ofrecen estos tipos de sistemas purificadores de gases es que eliminarían por completo los arrastres de sólidos al sistema de absorción y un importante ahorro económico en reparaciones de estos equipos dañados por la causa de los arrastres de sólidos.

Las desventajas de estos sistemas es que hay que parar generalmente la planta para su instalación, así como la adquisición de equipos elevadamente costosos.

### **3.4 Valoración económica**

La valoración económica que se propone en el presente trabajo de diploma está basada en el costo de los equipos en mercado el internacional, que serían necesarios instalar en la Planta de Recuperación de Amoniaco-Cobalto de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, para así poder hacer una buena selección de las propuestas de solución a los arrastres de sólidos del sistema de destilación de cola al sistema de absorción, algunos precios oscilan fuera de lo normal, debido a la importación por terceros países por causa del bloque económico impuesto a nuestro país; en la tabla 3.3 se muestran los precios y cantidad de equipos a instalar.

**Tabla 3.3.** Precios de los equipos a instalar.

<b>Posibles propuestas</b>	<b>Equipos a instalar</b>	<b>Cantidad de equipos a instalar</b>	<b>Precio en USD</b>
1	Hidrociclón	1	20000 - 40000
2	Medidores de nivel	6 (uno por cada tanque de retención de cola)	9107 (por unidad)
3	Cuello de ganso	6 (uno por cada tanque de retención de cola)	33 (por unidad)

Como se muestra en la tabla 3.3, los precios de los sistemas purificadores de gases (hidrociclón) y medidores de nivel (relé por medio de electrodos) son elevadamente altos, también son altos consumidores de energía eléctrica. Debido a que es necesario la instalación de más de uno de estos equipos, la empresa no está en condiciones de hacer una inversión de este tipo en estos momentos, en cambio la instalación de los cuellos de ganso tienen un costo relativamente bajo y no consume energía eléctrica con respecto a las otras dos soluciones propuestas, ya que es un dispositivo que se fabrica en la misma empresa y es capaz de mitigar el problema en cuestión.

Por lo cual, basándonos en el costo económico, efectividad y consumo eléctrico, la propuesta más adecuada para mitigar el arrastre de sólidos del sistema de destilación de cola al sistema de absorción, es la instalación de un segundo cuello de ganso en los tanques de retención de cola.

### 3.5 Valoración ecológica

Durante años el hombre en su actividad productiva no tuvo necesidad de pensar en las consecuencias de esta en el medio ambiente. Esto fue posible ya que la magnitud de su actividad y los recursos energéticos que se consumían eran insignificantes. En la actualidad existen industrias que requieren de un elevado consumo de energía y reactivos, en el transcurso o al final del proceso generan gases y residuos sólidos, los que afectan directamente a la atmósfera y al medio ambiente.

Una de estas industrias es la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, la que genera residuales sólidos en su proceso. Estos a su vez constituyen un permanente foco de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, aumentando la concentración de casi todos los elementos por encima de los valores admisibles para agua potable, los suelos y el aire, siendo el hombre el mayor receptor del impacto provocado por dichas colas.

Estos residuos se agigantan cada día con el avance de la explotación de los yacimientos de níquel, constituyendo sectores descubiertos y desmembrados, los que intensifican el arrastre de los suelos con la concebida ruptura del equilibrio fluvial y la acumulación de sedimentos.

Constituyendo además un sector de pérdidas de coberturas vegetal, lo que no solo altera el ciclo hidrológico sino también va a facilitar la acción del viento como agente erosivo intenso.

Podemos decir que cuando un residual se descarga directamente a un cuerpo receptor puede producir en éste malos olores en este caso es del  $\text{NH}_3$ , condiciones que además de ser estéticamente inaceptables deterioran la calidad del medio ambiente. Otros compuestos como grasas, aceites, bacterias patógenas, nitrógeno, fósforo, metales pesados, compuestos orgánicos, pueden causar serios problemas al medio, poniendo en peligro la salud de la población.

En la mayoría de los casos, la mejor solución sería aquella que brinde a los desechos una forma tal que puedan tener alguna utilidad. Conservar el medio ambiente es técnicamente posible y socialmente indispensable.

Por lo planteado anteriormente nos vemos en la necesidad de encontrar una alternativa al tratamiento de estos residuos que permita mitigar su impacto

ambiental y un aprovechamiento más racional a los recursos naturales no renovables.

## Conclusiones parciales

- Los arrastres de sólidos en suspensión oscilaron entre los 40 y 440 ppm.
- La concentración de amoníaco en las 21 muestras tomadas poseen un comportamiento estable, encontrándose en el rango de 130,3 a 186,2 g/L; la concentración diaria osciló entre 136 y 176,3 g/L.
- La densidad de las colas está por encima en 15 de las muestras tomadas, superando los 1700 g/L.

## CONCLUSIONES GENERALES

- Se demostró que existe arrastre de sólidos en las 21 muestras analizadas. Las muestras (1; 3; 4; 7; 8; 9; 11; 19; 20) fueron las alcanzaron mayores valores, alcanzando valor de 440 ppm. Cuando las densidades están en el rango de 1600-1690 g/L, el sólido en suspensión se mantiene relativamente bajo, alcanzando valor de 40 ppm.
- Se comprobó que cuando se manifiestan valores de densidad superiores a 1700 g/L, existe un aumento del arrastre de sólido. La muestra 4 con densidad de 1920 g/L, arrastra 440 ppm de sólido. Sólo el quinto día de operación mantuvo un bajo arrastre de sólidos (40 ppm), la densidad fue estable (1643 g/L). El día de mayor arrastre fue el tercero, con valor de 440 ppm. Los seis días restantes la densidad se mantuvo alta, oscilando entre 1723 y 1813 g/L, ocasionando elevado arrastre de sólido de 173 a 440 ppm.
- Se determinó que causas que provocan el arrastres de sólido son:

Alta densidad de las colas y falta de instrumentación para medir el nivel del tanque de retención de colas, la posible solución para mitigar el arrastre de sólido está basada en:

Instalación de un segundo Cuello de Ganso, con un diámetro inferior al existente (250 mm).

## **RECOMENDACIONES**

1. Estudiar las causas que provocan la inestabilidad en la densidad de las colas.
2. Realizar un estudio económico con más profundidad para la implementación de tecnologías más avanzadas con el fin de lograr un mejor rendimiento en los sistemas de destilación de colas y absorción.

## BIBLIOGRAFÍA

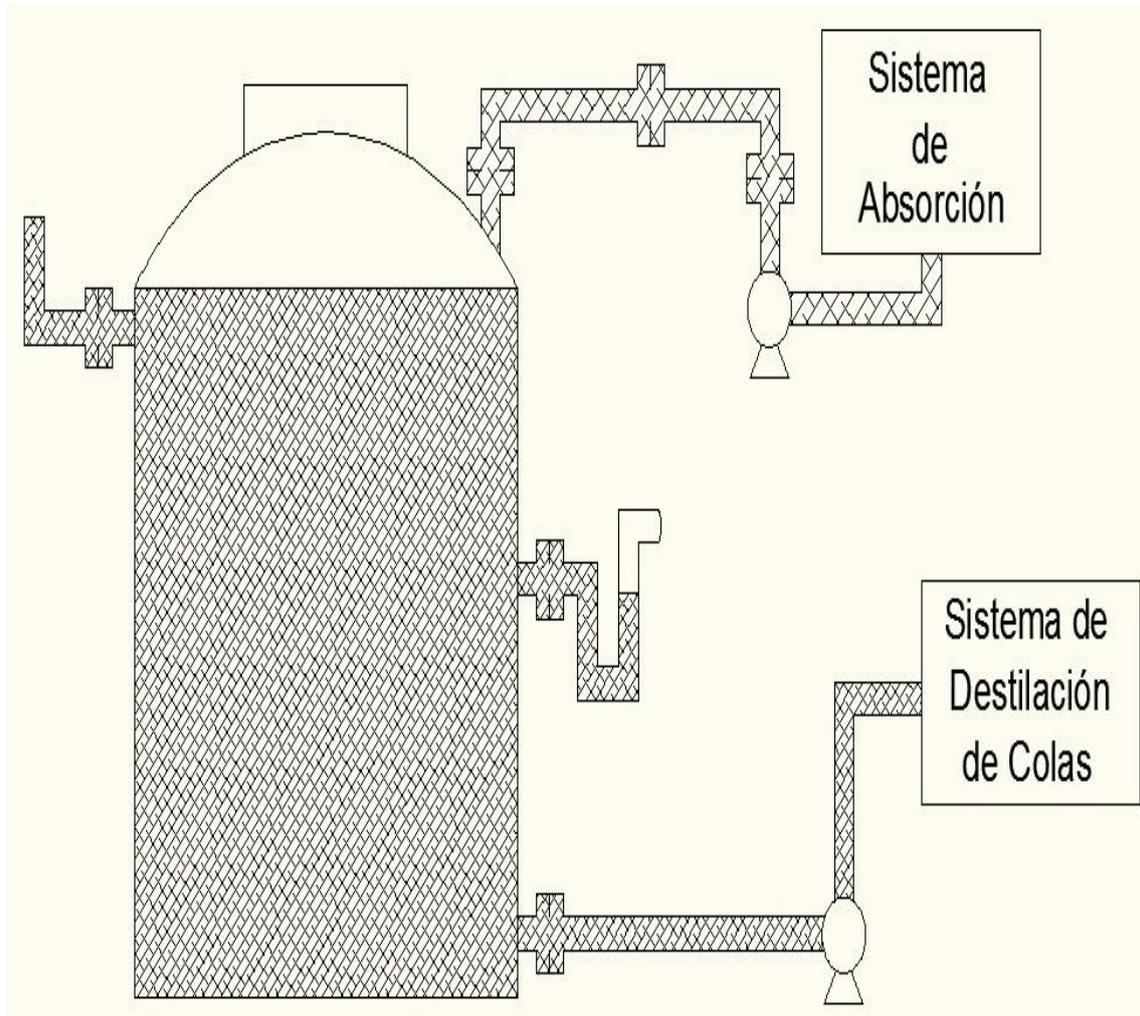
1. Almeida, A. R. (2013). *Supervisión de las instalaciones de la Planta de Recuperación de Amoniaco-Cobalto.*
2. Batista, R. d. (2016). *BENEFICIO EN MESAS DE LAS COLAS DE LA EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA.*
3. Breff, A. T. (2002). *Estudio del hidrotransporte de las colas en el proceso de carbonato amoniacal.* Tesis en opción de doctor en ciencias técnicas, Moa.
4. Breff, A. T., Izquierdo Pupo, R., & Garcell, L. (2008). Parámetros y regímenes del hidrotransporte de colas lateríticas en el proceso Caron. *Minería y Geología, 24(4).*
5. Darby, R. (2000). *Laminar and turbulent pipe flows of non-Newtonian fluids, in flow dynamics and transpot phenomen.*
6. Estévez. (2006). *Cracterización de la Planta Recuperación de Amoniaco-Cobalto de la Empresa Ernesto Che Guevara.*
7. Fernandez, J. A. (1979). *Datos aportados sobre las colas de la empresa René Ramos Latourt.*
8. Flores, N. C. (2013). *Estudio de la compocición mineralógica de diferentes materiales lateríticos y cola del proceso CARON.* Moa.
9. Garcell, A. C. (1992). Caracterisación reológicas de las pulpas de limonita de Moa. *Tecnología Química, 1, 63-68.*
10. García, E. (2011). *Extracción de cobalto por lixiviación ácida de los residuales sólidos de la tecnoligía carbonato amoniacal.*
11. Geankoplis, C. J. (1998). *Proceso de transporte y operaciones unitarias .* México: Editorial Continental S. A.

12. Hernández, C. (2011). *Recuperación de Niquel, Cobalto y Hierro a partir del residuo sólido de la Empresa Ernesto Che Guevara.*
13. Kasatkin, A. G. (1987). *Operaciones Básicas y Aparatos en Tecnología Química.* La Habana.: Pueblo y Educación.
14. Llansana, H. A. (2013). *Supervisión de la planta de Recuperación de Amoniaco-Cobalto.*
15. Marcilla, A. (1998). *Introducción a las Operaciones de Separación - Cálculos por etapas de equilibrio.* Levante: Publicaciones Universidad de Alicante.
16. McCabe. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.* Madrid: McGraw - Hill.
17. Moreno. (2011). *Análisis sobre la limitación de la capacidad en el bombeo de las colas en la planta de lavado en las capacidades actuales de proceso.*
18. Pelaez, R. (2002). *Evaluación experimental de la recuperación de cobalto mediante la lixiviación orgánica de la empresa Ernesto Che Guevara.*
19. Ponce, N. (1979). *Mineralogía y Composición sustancial del yacimiento artificial Colas de Nicaro.*
20. Pupo, A. R. (2011). *Comportamiento de las colas de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara ante la intensidad de un campo magnético.* Moa.
21. Purón, A. R., & Turro, A. (2003). *Composición Mineralógica de las colas del proceso caron en Moa. Minería y Geología, 20(3).*
22. Rodríguez, M. P. (2004). *Lixiviación ácida reductora (con SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de las colas de la planta niquerífera de Punta Gorda.*
23. Rojas, A., & Turro, A. (2003). *Composición mineralógica de las colas del proceso CARON en Moa. Minería y Geología.*
24. Taylor, S., & R Bogdan. (1984). *Introducción a los métodos cualitativos de la investigación .*

25. Treybal. (1968). *Operaciones de Transferencia de Masa*. México: McGraw - Hill.
26. Treybal. (1980). *Operaciones con Transferencia de Masa*. Ciudad Habana: Pueblo y Educación.
27. Turro, A. (2002). *Estudio del hidrotransporte de colas en el proceso carbonato amoniacal*.
28. Zamora, J. (1981). *Tostación magnetizante de colas con carbón vegetal como agente reductor*.

# ANEXOS

Anexo 1. Tanque de retención de cola con un cuello de ganso



Anexo 2. Tanque de retención de cola con dos cuellos de ganso

