EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL SUPRESOR DE POLVO EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES AURÍFEROS A NIVEL DE LABORATORIO

CARLOS FELIPE JAIMES LEÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES

BUCARAMANGA

2016

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL SUPRESOR DE POLVO EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES AURÍFEROS A NIVEL DE LABORATORIO

CARLOS FELIPE JAIMES LEÓN

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO METALÚRGICO

DIRECTOR:

Prof. WALTER PARDAVÉ LIVIA INGENIERO METALÚRGICO, MSc

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES

BUCARAMANGA

2016

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Beneficio de Minerales por el uso de sus laboratorios, equipos y acompañamiento.

Agradecimiento especial a la mina Reina de Oro por proporcionarme el mineral para la ejecución de este proyecto.

Al laboratorio de Rayos X de la Universidad Industrial de Santander por su asesoramiento en el análisis de muestras de mineral aurífero.

DEDICATORIA

"A mi familia que siempre ha estado apoyándome, a todos los docentes y compañeros que me han ayudado a formarme profesionalmente en el transcurso de mi vida universitaria, al profesor Walter Pardavé. Gracias"

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. ANTECEDENTES	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	16
3.1 GESTIÓN DEL MINERAL A EMPLEAR Y REACTIVOS	17
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO DE LA MINA REINA DE ORO	18
3.3 BENEFICIO DE MINERALES SIN SUPRESOR DE POLVO Y CON SUPRESOR DE POLVO A DIFERENTES CONCENTRACIONES	20
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	26
4.1 TRITURACIÓN	26
4.2 MOLIENDA	26
4.3 ESPESAMIENTO	28
4.4 FLOTACIÓN	29
4.5 RETENCIÓN DE LÍQUIDOS	31
5. CONCLUSIONES	32
6. RECOMENDACIONES	34
CITAS	35

LISTA DE FIGURAS

Pág.
Figura 1. Esquema de las principales fuentes de material particulado PM10 y
PM2.5 en las operaciones unitarias de procesamiento de minerales auríferos12
Figura 2. Levantamiento de material particulado; (a) sin supresor de polvo y (b)
con supresor de polvo13
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología experimental empleada para el
desarrollo de la invetigación16
Figura 4. Flujograma de las operaciones de la mina Reina de Oro del municipio de
Vetas-Santander17
Figura 5. Forma de asociación del oro presente en el mineral por medio la
lixiviación diagnóstico19
Figura 6.Reducción de tamaño de partícula por medio de trituración de mandíbulas
(Planta de Aceros UIS)20
Figura 7. Cuarteo por cortadores de riffles (Planta de Aceros UIS)21
Figura 8. Molienda por medio de molino de bolas (Planta de Aceros UIS)22
Figura 9. Prueba de espesamiento (a) Mezcla homogénea sin sedimentar, (b)
sedimetanción23
Figura 10. Recolección de concentrado en espumas de flotación para minerales
auríferos en una celda de flotación DENVER Sub-b (Planta de Aceros UIS)24
Figura 11. Retención de líquidos (a) Filtro prensa para extracción del exceso de
líquido; (b) Mineral con líquido retenido (Planta de Aceros UIS)25
Figura 12. Porcentaje de mineral pasante -100m en función del tiempo27
Figura 13. Velocidad de sedimentación en función de la profundidad de la probeta
28

LISTA DE TABLAS

Pág.
Tabla 1. Análisis químico del mineral por medio de fluorescencia de rayos X19
Tabla 2. Especies cristalinas presentes en el mineral obtenido por difracción de
rayos X19
Tabla 3. Variación de la efectividad de molienda en función del porcentaje de
supresor de polvo presente en la pulpa27
Tabla 4. Variación de la velocidad de sedimentación en función de la
concentración del supresor de polvo-cloruro de calcio
Tabla 5. Parámetros de la flotación, variación del pH y concentrado de espumas.
29
Tabla 6. Fases presentes en los concentrados de flotación del mineral aurífero de
la Mina Reina de Oro a diferentes concentraciones de supresor de polvo
determinado por difracción de rayos X (DRX) a un voltaje de 40kV y una corriente
de 40mA
Tabla 7. Retención de líquidos en un mineral aurífero de un tamaño de partícula
menor a la malla No. 100 a diferentes concentraciones de supresor de polvo31

RESUMEN

TITULO:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL SUPRESOR DE POLVO EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES AURÍFEROS A NIVEL DE LABORATORIO*

AUTORES:

CARLOS FELIPE JAIMES LEÓN**

PALABRAS CLAVES:

Supresor de polvo, cloruro de calcio, beneficio de minerales aurífero.

DESCRIPCIÓN

Se realizó un estudio que permite evaluar la influencia de un supresor de polvo cloruro de calcio en las operaciones unitarias de beneficio de minerales aplicadas a minerales auríferos extraídos de los yacimientos de la mina Reina de Oro en Vetas-Santander. Se ejecutaron pruebas de trituración, molienda, espesamiento y flotación del mineral sin supresor de polvo con el fin de obtener resultados tomados como base de comparación para posteriormente realizar las mismas pruebas bajo los mismos parámetros adicionando diferentes concentraciones del supresor (1%, 2%, 4%, 8% y 16%). Durante el desarrollo de la investigación se caracterizó al mineral libre de reactivos y con el supresor de polvo a diferentes concentraciones por medio de difracción de rayos X. La presencia de una sustancia química, como el supresor de polvo puede alterar las propiedades fisicoquímicas tanto del medio como del mineral. El cloruro de calcio facilita la producción de partículas finas durante el proceso de molienda, pero al ser utilizado como densificador en la industria vuelve la pulpa más densa, disminuyendo la velocidad de espesamiento a medida que aumenta la concentración del supresor. Durante el proceso de flotación, a nivel macroscópico el tamaño y color de la espuma no se vio afectado por el supresor, el peso del concentrado obtenido de la espuma no mostró una tendencia que lo relacione con la presencia del supreso, a medida que se tenía una mayor concentración se tenía una cantidad menor de fases cristalinas como lo muestra la prueba de DRX. La aplicación adecuada del cloruro de calcio en puntos específicos en el proceso de extracción de oro disminuye la emisión de PM10 sin afectar la productividad de las operaciones unitarias evitando posibles gastos en mantenimiento de máquinas o en complejos sistemas captadores de polvo.

^{*}Trabajo de grado

^{**}Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Director: Walter Pardavé Livia

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE EFFECT OF DUST SUPPRESSANT IN PROCESSING GOLD-BEARING MINERALS IN THE LABORATORY*

AUTHORS: CARLOS FELIPE JAIMES LEON **.

KEY WORDS: DUST SUPRESSANT, CALCIUM CHLORIDE, BENEFIT AURIFEORUS MINERALS.

DESCRIPTION

A study was realized to evaluate the influence of dust suppressant (calcium chloride) in the unit operations of benefit of minerals applied to auriferous minerals extracted from the deposits of mine Reina de Oro in the town Vetas-Santander. Test crushing, grinding, thickening and flotation ore were executed without dust suppressant to obtain results to compare later with the same test under identical parameters adding different concentrations of dust suppressant (1%, 2%, 4%, 8% and 16% w/w). During the development of the research the free mineral reagents was characterized and subsequently with the different concentrations of dust suppressant by X-ray diffraction. The presence of a chemical substance, such as the selected dust suppressant can change the physicochemical properties in the medium and the mineral. The calcium chloride dust suppressant facilitates the production of fine particles during grinding, but when it used as densifier in the industry it do the pulp denser, decreasing the speed of thickening with increasing the concentration of dust suppressant. During the flotation process, macroscopically the size and color of the foam was not affected by the suppressor, the weight concentrate obtained from foam didn't show a tendency linked with the presence of dust suppressant, with higher concentration fewer crystalline phases were obtained like shown in the XDR test. The appropriate application of Calcium chloride at specific points in the gold extraction process reduces the emission of PM10 without affecting the productivity of the unit operations, avoiding possible expenses on maintenance of machines or complex collector of particulate material systems.

^{*} Degree Project

^{**} Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Advisor: Walter Pardavé Livia

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica que consiste en la extracción de minerales presentes en la corteza terrestre con el fin de llegar a concentrar un determinado mineral valioso por medio de procesos técnicos establecidos; durante su proceso de exploración, explotación y cierre de mina se ven relacionados aspectos como lo son el económico, social, ambiental y cultural.

Durante las etapas de proceso de minerales como dinamitar, trasportar, almacenar, triturar, moler entre otros, emiten grandes cantidades de polvo que pueden afectar la calidad del aire de la mina y zonas aledañas, conllevado a dificultar las operaciones de la planta, deterioro de maquinaria y enfermedades respiratorias; en las faenas mineras se emplean diversos reactivos como supresores de polvo que encapsulan partículas finas haciéndolas más densas, aferrándolas al suelo.

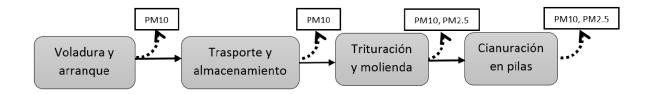
La mina Reina de Oro, del municipio de Vetas-Santander ha brindado el mineral que allí se extrae para que se someta a la investigación que en este documento se expone.

Este proyecto tiene como fin la evaluación de las operaciones unitarias de trituración, molienda, espesamiento y flotación en el procesamiento de beneficio de minerales antes y después de aplicar un supresor de polvo a diferentes concentraciones (1%, 2%, 4%, 8% y 16%w/w); el supresor de polvo seleccionado ha sido el cloruro de calcio. El proyecto es realizado por la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander con el apoyo de la mina Reina de Oro.

1. ANTECEDENTES

La minería es una de las actividades más antiguas realizadas por las sociedades la cual consiste en la extracción de minerales presentes en la corteza terrestre con el fin de llegar a concentrar un determinado mineral valioso por medio de procesos técnicos establecidos. Dicha actividad minera está relacionada de forma directa con impactos de tipo social, económico, cultural y ambiental. En etapas de extracción de minerales como lo son la voladura, trituración [6], molienda [10], trasporte, almacenamiento [4] entre otras operaciones generan el levantamiento de masas de polvo a corrientes de aire, ver Figura 1; esta acumulación de material particulado puede ser arrastrada grandes distancias y precipitar a diferentes velocidades dependiendo del tamaño de partícula y las corrientes de aire [2]. La composición química de las partículas suspendidas en el aire puede ser activa o inerte generando un deterioro avanzado en máquinas al sedimentarse sobre ellas, de igual manera puede afectar de forma negativa la flora y fauna de las zonas aledañas a la mina y generar enfermedades respiratorias al ser inaladas durante la respiración, llevando a que la contaminación del aire genere el cierre de la mina [3-4].

Figura 1. Esquema de las principales fuentes de material particulado PM10 y PM2.5 en las operaciones unitarias de procesamiento de minerales auríferos.

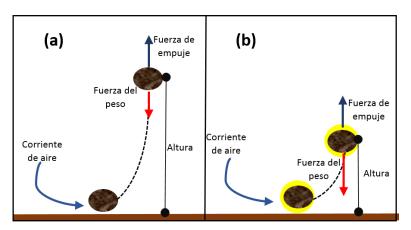


La provincia de Soto-Norte del departamento de Santander es una región reconocida por su gran riqueza mineral al contar con yacimientos de oro, principalmente en los municipios de California y Vetas; en donde se pueden observar minas a gran, mediana y pequeña escala. En el municipio de Vetas, la mina Reina de Oro adelanta procesos de extracción de oro y actualmente no cuenta

con ningún tipo de control de levantamiento de polvo y es una empresa mediana para la cual emplear un sistema complejo de filtros captadores de polvo se sale de sus capacidades económicas y técnicas.

Los supresores de polvo son sustancias en estado líquido que se han empleado en caminos granulares y zonas con tendencia a la emisión de material particulado; es una técnica sencilla y de bajos costos respecto a sistemas colectores de polvo como los son los filtros. El supresor de polvo tiene la capacidad de aglomerar y densificar a las partículas [4], en la Figura 2 se puede observar un esquema del efecto del supresor de polvo sobre una partícula sometida a una corriente de aire.

Figura 2. Levantamiento de material particulado; (a) sin supresor de polvo y (b) con supresor de polvo.



El cloruro de calcio como supresor de polvo tiene la capacidad de absorber el la humedad del ambiente en función de la humedad relativa, en climas con altas temperaturas su capacidad para disminuir el levantamiento de polvo es del 55% al 65% [12], y para terreros con un medio húmedo con temperaturas medianas-bajas la capacidad para mitigar la emisión de polvo es del 82.1% al 99.9% con el 2% de peso [24].

Se tiene el conocimiento de que el cloruro de calcio como supresor de polvo mitiga el levantamiento de material particulado PM10, pero no se han realizado estudios del efecto de esta sustancia en las diferentes operaciones unitarias de beneficio de minerales auríferos, en donde, si el supresor tiene un efecto negativo de algún tipo sobre las operaciones generará que no sea viable la aplicación como técnica alternativa para la disminución del levantamiento de polvo.

Para determinar el efecto del cloruro de calcio como supresor de polvo en las operaciones de beneficio de minerales auríferos en las operaciones de trituración, molienda, espesamiento y flotación se realizaron las pruebas con concentraciones del 1%, 2%, 4%, 8% y 16% w/w de supresor, con el fin de relacionar el efecto del reactivo sobre cada una de las etapas de procesamiento; analizando la información suministrada por las pruebas realizadas estimar la viabilidad de la aplicación del cloruro de calcio como supresor de polvo en el procesamiento de minerales auríferos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

 Evaluar la aplicación del cloruro de calcio a diferentes concentraciones como supresor de polvo en las operaciones unitarias de beneficio de minerales a nivel de laboratorio al mineral proporcionado por la minera Reina de Oro del municipio de Vetas-Santander.

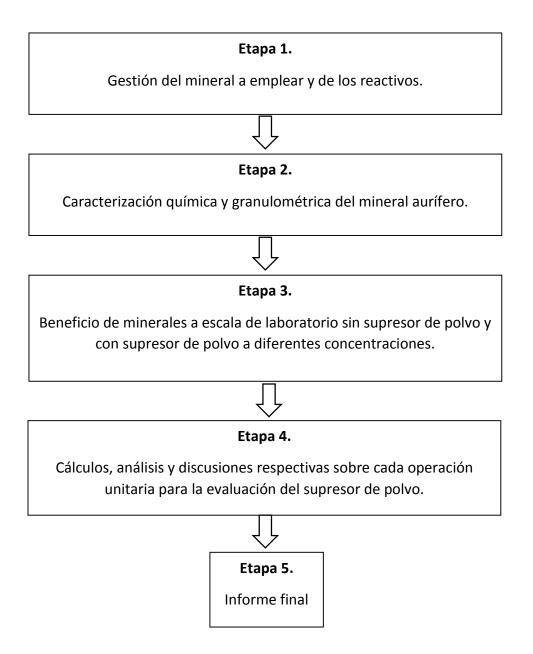
2.2 Objetivos Específicos

- Realizar procesos de trituración, molienda, espesamiento y flotación al mineral antes y después de aplicar el supresor de polvo a diferentes concentraciones.
- Identificar la efectividad de los procesos con el supresor de polvo aplicado respecto al mineral sin contenido de supresor.
- Realizar un diagnóstico de viabilidad de la aplicación de un supresor de polvo en el proceso de beneficio de minerales auríferos.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Con la finalidad de alcanzar los objetivos del proyecto ejecutado por ésta investigación se realizó la metodología que se observa en la Figura 3.

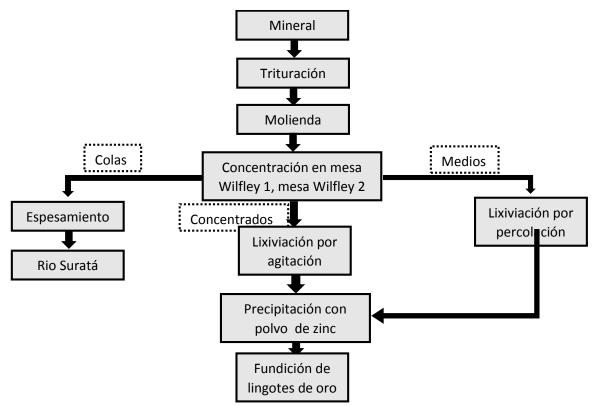
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología experimental empleada para el desarrollo de la investigación.



3.1 GESTIÓN DEL MINERAL A EMPLEAR Y REACTIVOS

El proyecto gira en torno a la evaluación de un supresor de polvo en las operaciones de beneficio de minerales auríferos; para lo cual, la minera Reina de Oro aportó 25 kilogramos de mineral aurífero. Los reactivos empleados fueron: supresor de polvo (cloruro de calcio), colector (Aerofloat 208 promoter) y espumante (Aeroflroth 65) entregados por la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. En la Figura 4 se ve el flujograma de las operaciones de la mina Reina de Oro del municipio de Vetas-Santander.

Figura 4. Flujograma de las operaciones de beneficio de minerales de la mina Reina de Oro del municipio de Vetas-Santander.



Fuente: Visita a las instalaciones de la mina Reina de Oro del Municipio de Vetas-Santander.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO DE LA MINA REINA DE ORO

3.2.1 Análisis granulométrico

El mineral entregado por la minera Reina de Oro tenía un diámetro promedio de 8.1cm determinado midiendo dos dimensiones de las rocas (ancho y largo) a 40 muestras, siendo este un tamaño de partícula alto no adecuado para los procesos de concentración de mineral valioso. Se tomó 150 g de mineral después de haber sido triturado para su análisis granulométrico, después de un tiempo de molienda se pudo evidenciar que el producto del mineral final es más fino que el inicial, teniendo 96% del mineral de 100 µm luego de pesar el mineral del tamiz. El tamaño de partícula es de vital importancia en las plantas de beneficio de minerales auríferos, para obtener una mayor liberación del mineral valioso y aumentar el área de contacto entre el mineral y los diferentes reactivos empleados.

3.2.2 Análisis químico por fluorescencia de rayos X

La fluorescencia de rayos X hace parte de la caracterización química del mineral, teniendo como resultado los datos que se muestran en la Tabla 1, información adaptada de la investigación realizada en el 2015 y publicada en el 2016 en donde se investigó sobre la huella hídrica de la mina Reina de Oro para la cual se caracterizó el mineral que allí se extrae [6]; al igual que los valores de los tenores de los elementos oro y plata arrojados por el ensayo al fuego para el mineral es de 31,4 g/T y 60,8 g/T respectivamente, también para la fluorescencia de rayos X y la lixiviación diagnóstico .

Tabla 1. Análisis químico del mineral por medio de fluorescencia de rayos X.

	Si	Fe	S	Al	K	Mg	Ti	Na	Ca	As
ELEMENTO										
CONCENTRACIÓN [%]	22,16	10,97	8,3	5,2	3,33	3 0,37	0,34	0,17	0,13	0,12
ELEMENTO	Zr	Ва	Mn	Z	'n	Pb	Р	Cu	Cl	Cr
CONCENTRACIÓN [%]	0,07	0,07	0,06	5 0,	06	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01

3.2.3 Difracción de rayos X

La pirita presente en el mineral es un indicio de que las partículas de oro pueden estar asociadas a la matriz mineralógica de dicha especie, forma de asociación frecuente en los minerales de Santander. Por medio de difracción de rayos X se tiene los resultados de la Tabla 2. Información adaptada

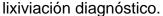
Tabla 2. Especies cristalinas presentes en el mineral obtenido por difracción de rayos X.

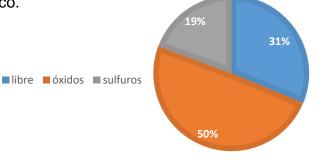
	Fases cristalinas	Nombre
Óxidos	SiO ₂	Cuarzo
Sulfuros	FeS₂	Pirita
	KAISi₃O ₈	Ortoclasa
Silicatos	Na(AlSi ₃ O ₈₎	Albita
	$KMg_3(Si_3AI)O_{10}(OH)_2$	Flogopita
	KAI ₂ (SiAI) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	Moscovita

3.2.4 Lixiviación diagnóstico

De la lixiviación diagnostico se tuvieron los porcentajes de la forma de asociación del oro presente en el mineral, ver Figura 5.

Figura 5. Forma de Asociación del oro presente en el mineral por medio de la





Fuente: Determinación de la huella hídrica en una planta industrial de beneficio de minerales de la mina Reina de Oro de Vetas-Santander, Trabajo de Grados UIS.

3.3 BENEFICIO DE MINERALES SIN SUPRESOR DE POLVO Y CON SUPRESOR DE POLVO A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Se realizó pruebas a nivel de laboratorio con las operaciones unitarias de trituración, molienda, sedimentación y flotación, al mineral que había sido sometido a cuarteo para obtener una distribución homogénea del mineral; adicional a las operaciones unitarias, el mineral se sometió a una prueba de retención de líquidos. Cada operación se realizó tres veces para cada una de sus concentraciones de supresor de polvo (0%, 1%, 2%, 4%, 8% y 16%w/w) para tener un valor promedio y un grado de exactitud mayor.

3.3.1 Trituración

Las dimensiones del mineral entregado por la mina directamente traído de boca de mina no permitió el cuarteo del mineral, para la reducción de tamaño primario se empleó la trituradora de mandíbula del laboratorio de beneficio de minerales UIS, ver Figura 6.

Figura 6. Reducción del tamaño de partícula por medio de trituración de mandíbulas (Planta de Aceros UIS)



La trituración se realizó preparando en un recipiente de 1000mL una solución de cloruro de calcio con concentraciones de 0%, 1%, 2%, 4%, 8% y 16% w/w para humedecer con las que se alimentaba la trituradora de mandíbulas, la carga circuló de forma constante y se almacenó posteriormente.

3.3.2 Cuarteo del mineral aurífero por medio de cortadores de riffles

El cuarteo por medio de riffles se realizó para obtener muestras homogéneas y así; el sistema de cortadores de riffles utilizado fue el HUMOLDT ver Figura 7.

Figura 7. Cuarteo por cortadores de riffles. (Planta de Aceros UIS)



Se introdujo el mineral en el cortador de riffles y se separó en dos fracciones iguales; una de ellas se descartó, almacenándola aparte y la otra parte se empleó para alimentar los cortadores de riffles donde se repitió el proceso anterior hasta tener una muestra homogénea de 500g.

3.3.3 Molienda

Para obtener un tamaño de partícula más pequeño y un grado de liberación del mineral mayor, se sometió a molienda en el molino de bolas de la Figura 8.

Figura 8. Molienda por medio del molino de bolas (Planta de Aceros UIS).



Se preparó una pulpa del 30% de sólidos tomando como peso del mineral 100 gramos, luego se introdujo el mineral al monino con 30 cuerpos moledores de 3 tamaños diferentes realizando la molienda por tiempos de 1, 2, 4, 8 y 16 minutos para cada concentración del supresor de polvo, se separó el retenido y el pasante malla 100 para secar a 80°C y registrar los respectivos pesos.

3.3.4 Espesamiento

Se preparó una pulpa con150g de mineral, en una probeta de 1000mL completando el volumen con agua (aproximadamente 850mL), el cual se agitó para obtener una solución homogénea y dar inicio al espesamiento, ver Figura 9 (a), posteriormente se registró el tiempo total en sedimentar, tomando registro del tiempo al avanzar cada 4cm la última línea que diferencia las fases como se observa en la Figura 9 (b); con el diferencial de distancia y de tiempo se calculó la velocidad de sedimentación para cada concentración de supresor de polvo por medio de la ecuación V=dr/dt, para cada concentración del supresor de polvo se realizaron tres pruebas.

Figura 9. Prueba de espesamiento. (a) Mezcla homogénea sin sedimentar. (b) sedimentación.



3.3.5 Flotación

En la celda de flotación DENVER Sub-A se vertió una pulpa conformada por 500g de mineral pasante malla 100 y 1500mL de agua, se agitó por 3 minutos para adicionar 4 gotas e colector, posteriormente se volvió a agitar por 3 minutos y se adicionaron 4 gotas de espumante para luego agitarlo por 3 minutos y abrir la válvula del aire durante 20 minutos para generar la espuma la cual se recolectó, ver Figura 10, el concentrado de las espumas se introdujo en el filtro prensa para eliminar la mayor cantidad de agua posible; finalmente se secó en el horno a 80°C y se pesó el concentrado final. El proceso se realizó para cada concentración de supresor de polvo planteado, y el concentrado de espumas se sometió a difracción de rayos X para un análisis cualitativo y cuantitativo de las especies cristalinas presentes en él.

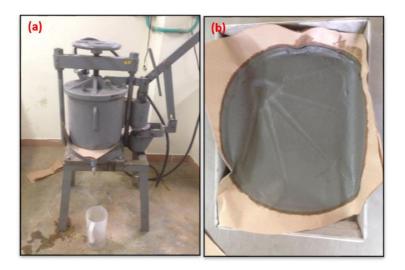
Figura 10. Recolección de concentrado en espumas de flotación para minerales auríferos en una celda de flotación DENVER Sub-b (Planta de aceros UIS)



3.3.6 Retención de líquidos

Para determinar la capacidad de retener líquidos se seleccionó un tamaño de partícula pasante a la malla 100, ya que es un tamaño de partícula similar al que se usa en diferentes procesos de concentración de minerales de gran importancia como por ejemplo la lixiviación por percolación. Se mezcló de forma homogénea una pulpa con 150g de mineral pasante malla 100 en 1000mL de agua vertiéndolos en el filtro presa extrayendo el agua, Figura 11 (a), después se midió el volumen de agua extraído y pensar el mineral humedecido, ver Figura 11 (b), una vez seco el mineral por medio del horno a una temperatura cercana a los 80°C se pesó el mineral.

Figura 11. Retención de líquidos. (a) Filtro prensa para la extracción del exceso de líquido; (b) Mineral con líquido retenido. (Planta de aceros UIS)



4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 TRITURACIÓN

En el desarrollo de la trituración, al ser el proceso de conminución primario y directo, donde el mineral con el que es alimentada la trituradora de mandíbula circula casi de forma directa, se observó que el producto de la trituración no se vio afectado por la presencia del supresor de polvo, para cada una de las concentraciones del cloruro de calcio en la solución empleada para humedecer el mineral se tuvo que el porcentaje de 100% pasante. Variando la humedad, se notó que a mayor humedad se disminuía la emisión de PM₁₀, aun así, durante el proceso de trituración, las rocas grandes con humedad superficial tenían la capacidad de generar polvo debido a que realizar una reducción brusca de su tamaño, se generan nuevas rocas con dimensiones menores y libres de humedad, las cuales emitían PM₁₀.

4.2 MOLIENDA

Se tiene una clara y esperada tendencia al aumento de la cantidad de mineral pasante a la malla 100 a medida que se tiene un mayor tiempo de molienda, esto es debido a que se le da más oportunidad del constante choque entre los cuerpos moledores y el mineral. La presencia del supresor de polvo (cloruro de calcio) en la pulpa facilitó la producción de finos, ver Figura 12.

Con base en la molienda sin la adición del supresor de polvo cloruro de calcio se puede observar en la Tabla 3 la variación de la producción de finos pasante malla 100 en función de la concentración del cloruro de calcio, donde se tiene aumentos que van desde el 6.6% para concentraciones del 1%w/w hasta lograr un aumento del 27.5% para concentraciones del 16%w/w.

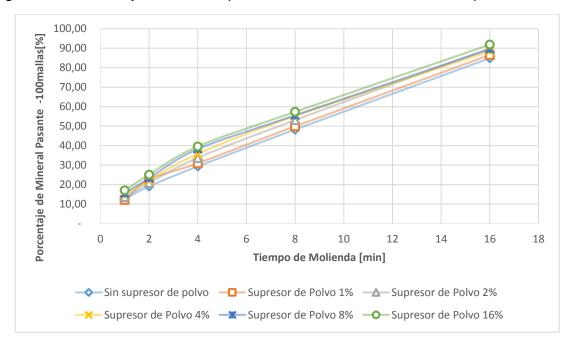


Figura 12. Porcentaje de mineral pasante -100m en función del tiempo

Tabla 3. Variación de la producción de material fino pasante malla 100 en fun

Variación de producción de materi fino pasante malla 100 [%]		
+6,6		
+11,4		
+17,2		
+20,7		
+27,5		

Nota:

- (+) Aumento de la producción de material fino pasante malla 100
- (-) Disminución de la producción de material fino pasante malla 100

El crecimiento de la producción de finos en la molienda fue evidente, el cual se puede dar por diversos factores como lo es que la presencia del cloruro de calcio aumenta la densidad de la pulpa, haciendo así que el efecto cascada generado por los cuerpos moledores en conjunto con la pulpa sea más ideal para la producción de material fino.

4.3 ESPESAMIENTO

El cloruro de calcio es empleado como densificador de soluciones; en el proceso de espesamiento, la densidad es un parámetro fundamental en el proceso, debido a que la velocidad de sedimentación es inversamente proporcional a la densidad del medio líquido. El aumento de la concentración del supresor de polvo – cloruro de calcio en la parte líquida de la pulpa disminuyó la velocidad de sedimentación, esto se puede observar en la Figura 13.

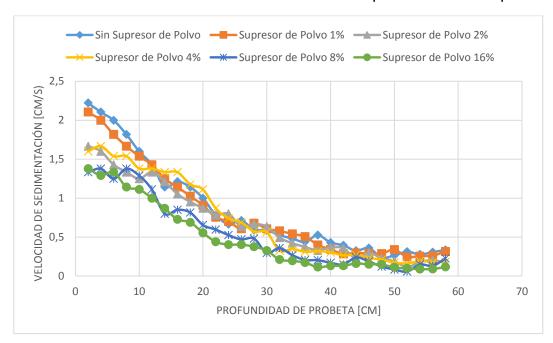


Figura 13. Velocidad de sedimentación en función de la profundidad de la probeta.

A medida que se precipita el mineral en el fondo del recipiente la velocidad va decreciendo tomando la tendencia de un valor constante, donde la velocidad de sedimentación se hace similar para cada una de las concentraciones de supresor de polvo. Para tener un valor numérico del efecto del cloruro de calcio sobre el espesamiento se puede observar en la Tabla 4 la variación de la velocidad de sedimentación tomando como base de comparación el proceso sin la presencia del supresor; en ella se constató la disminución de la velocidad de sedimentación.

Tabla 4. Variación de la velocidad de sedimentación en función de la concentración del supresor de polvo-cloruro de calcio

Porcentaje de Supresor de polvo (cloruro de calcio)	Variación de la velocidad de sedimentación [%]
1%	-3,7
2%	-17,1
4%	-17,7
8%	-40,3
16%	-49,4
Nota:	

- (+) Aumento de la velocidad de sedimentación
- (-) Disminución de la velocidad de sedimentación

4.4 FLOTACIÓN.

Durante la flotación el peso del concentrado en espumas de flotación no tuvo una tendencia clara de crecimiento o decrecimiento en función de la concentración del supresor de polvo, tal como se ve en la Tabla 5, la variación del pH durante cada etapa de la flotación se mantuvo constante y no se vio afectado por la presencia del supresor de polvo. A nivel macroscópico no se notaron cambios significativos en el tamaño de la espuma ni en su color.

Tabla 5. Parámetros de la flotación, variación del pH y concentrado de espumas.

concentración del supresor	Liquido [ml]	sólido [g]	tiempo total de flotación [min]	pH1	pH2	рН3	concentrado [g]
0%	1500	500	20	6	6	6	73,89
1%	1500	500	20	6	6	6	85,01
2%	1500	500	20	6	6	6	78,4
4%	1500	500	20	6	6	6	81,8
8%	1500	500	20	6	6	6	73,15

Nota:

El pH se midió con papel pH

El la espuma con el concentrado obtenido del proceso de flotación fue sometido a difracción de rayos X (DRX), en la Tabla 6 se muestra un resumen cualitativo y cuantitativo de los elementos presentes en la espuma de la flotación. Las muestras a diferentes concentraciones muestran composiciones y concentraciones similares, se tiene una cantidad alta de la fase cristalina de Ortoclasa, Cuarzo, Moscovita y Pirita, donde estas fases superan el 71% de la composición del concentrado de la flotación; no se tiene una tendencia sobre el efecto del supresor de polvo relacionado con un elemento específico, pero se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje del supresor de polvo se puede obtener una cantidad menor de fases cristalinas totales. No se observó la formación de algún tipo de cloruro en los concentrados de la flotación.

Tabla 6. Fases presentes en los concentrados de flotación del mineral aurífero de la Mina Reina de Oro a diferentes concentraciones de supresor de polvo determinado por difracción de rayos X (DRX) a un voltaje de 40kV y una corriente de 40mA.

NOMBRE	PORCENTAJE DE ELEMENTO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DEL SUPRESOR DE POLVO							
	0%Supresor	1%Supresor	2%Supresor	4%Supresor	8%Supresor			
Pirita	10,9	8,6	11,1	10,9	11,6			
Cuarzo	27,8	25,8	25,1	25,7	25,7			
Moscovita	17,4	16,5	15,2	18,1	14,8			
Ortoclasa	21,0	22,6	20,8	16,3	20,7			
Calcita	1,1	1,6	-	-	-			
Phillipsita	-	NC	NC	NC	NC			
Alunita	NC	NC	NC	-	-			
Anatasa	-	-	-	NC	NC			
Total Cristalino	78,2	75,1	72,2	71	72,8			
Amorfos y	21,8	24,9	27,8	29	27,2			
Otros								

Nota

NC: no cuantificable, fase identificada pero debido a su baja concentración no es posible realizar su cuantificación.

(-): fase no detectada-

4.5 RETENCIÓN DE LÍQUIDOS

Durante el desarrollo de la retención de líquidos, se tuvo que a medida que se aumenta el porcentaje del supresor de polvo, el porcentaje de líquidos tendía a un valor constante (aproximadamente 5%), ver Tabla 7, Aun así se tiene una ligera tendencia a la disminución de la retención de líquidos, esto es generado por el aumento de la densidad de la pulpa, pero para lograr una variación grande de la retención de líquidos se necesitaría una cantidad muy superior al 16% de cloruro de calcio en la pulpa.

Tabla 7. Retención de líquidos en un mineral aurífero de un tamaño de partícula menor a la malla No. 100 a diferentes concentraciones de supresor de polvo.

Porcentaje de supresor	sólido [g]	volumen de agua inicial [ml]	volumen de agua final [ml]	% de líquido retenido
0%	150	1000	940	6,00
1%	150	1000	940	6,00
2%	150	1000	940	6,00
4%	150	1000	950	5,00
8%	150	1000	950	5,00
16%	150	1000	960	4,00

5. CONCLUSIONES

De la investigación se puede concluir que:

- Durante la trituración la presencia del cloruro de calcio como supresor de polvo no afecta el proceso y la aplicación de éste disminuye el levantamiento de polvo, aun así, para tamaños grandes de rocas la emisión de polvo no se veía disminuida por el supresor de polvo.
- La presencia del supresor de polvo aumenta la producción de finos en la etapa de molienda donde para las concentraciones de 1, 2, 4, 8 y 16% de supresor de polvo la producción de finos pasante malla 100 aumentó un 6.6, 11.4, 17.2, 20.7 y 27.5% respectivamente.
- La velocidad de sedimentación disminuyo a medida que aumentaba la concentración de supresor de polvo cloruro de calcio, donde se tuvo que para las concentraciones de 1, 2, 4, 8 y 16% la velocidad disminuyó un 3.7, 17.1, 17.7, 40.3 y 49,4% respectivamente.
- A niveles macroscópicos, el supresor de polvo no afectó el proceso de flotación, la espuma tuvo un color constante y tamaños de burbujas similares; el peso del concentrado de espumas no tuvo una relación directa con la concentración del supresor de polvo, no obstante, por medio de un análisis a los concentrados por medio de difracción de rayos X se observó que el concentrado poseía cantidades significativas de cuarzo, ortoclasa, moscovita y pirita (aproximadamente del 71%); adicional a lo anterior, se tiene que a medida que aumenta el porcentaje de supresor de polvo en la pulpa de la flotación se tuvo una recolección menor de fases cristalinas de tal forma que concentraciones de 1, 2, 4 y 8% la cantidad de fases cristalinas totales disminuyó en un 3.9, 7.6, 9.2 y 7.0%.
- La aplicación del cloruro de calcio como supresor de polvo en faenas mineras es viable, más aún en zonas de donde proviene el mineral (Provincia Soto-Norte)

debido a que la temperatura es mediana baja, haciendo que el supresor de polvo disminuya la emisión de material particulado de un 82.1 a un 99.9% con 2% de cloruro de calcio; estando así por debajo de los 100µm que permite la Resolución 0610 del 2010 del Ministerio de Medio ambiente; disminuye el tiempo de residencia del mineral durante la molienda, la velocidad de sedimentación se ve decrecida y disminuye la cantidad de fases cristalinas durante la flotación; dicho supresor de podría aplicar en zonas aledañas a donde se realiza la voladura, vías, cintas transportadoras, trituradoras y molinos.

6. RECOMENDACIONES

Realizar la evaluación del cloruro de calcio como supresor de polvo en más operaciones unitarias de tratamiento de minerales auríferos como lo son la lixiviación por agitación, lixiviación por percolación, mesa wiffley, apilamiento en el almacenamiento, etc. De igual manera se puede variar el tipo de supresor de polvo por otros reactivos que ofrece el mercado ya que es importante estudiar esta alternativa para disminuir la contaminación en masas de aire sin afectar de forma significativa la producción de la planta.

CITAS

- [24] Armando Orobio, Luz Mery Portocarrero y Liliana Serna. Evaluación de cloruro de calcio como agente mitigador de polvo en vías de afirmado. Universidad del Valle, Colombia, 2007.
- [15] Arthur F. Taggart, Elements of ore dressing, Jonh Wiley & Sons, Inc. 1951, Pág: 388-418.
- [2] Baird Colin. Química Ambiental. Reverté S.A. Barcelona. 2004. pág. 116-118
- [11] Beneficio y transformación de minerales. SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, Disponible en http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/yacimientos-minerales/beneficiotransminerales [27 de marzo 2014].
- [7] B. A. WILLS, BSC, PHD, CENG, MIMM, *Mineral Processing Technology*, 2da edition, PERGAMON PRESS, 1981. Pág. 316-337.
- [20] Diego Martín O., Tesis Doctoral, Lignosulfonatos de Zn adheridos en NPK como fertilizantes en cultivos de Trigo y Maíz, Madrid-España, 2009, Pág: 55-56.
- [4] En Caminos Mineros, Prácticas para Suprimir el Polvo. 2013, http://www.dustaside.cl/archivos/Informe_Tecnico_Supresor_de_Polvo_Final.pdf [Consulta: Jueves, 23 de abril de 2015]
- [5] Fernando Brierley V., Felipe Salas B. *Química El Agua.* Open Green Road. 2013.
- [6] GARCÍA FONSECA, Vanessa y SOLANO SANABRIA, Carlos (2016), Determinación de la huella hídrica en una plata industrial de minerales de la mina Reina de Oro de Vetas-Santander, Universidad Industrial de Santander, Santander, Colombia.
- [10] Guía minero ambiental. Beneficio y transformación MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. [en línea]

- http://www.minminas.gov.co/documents/10180/416798/beneficio.pdf [16 octubre de 2002], [Consultado: viernes 15 de mayo de 2015]
- [18] Hill, McCreary, Perry, General Chemestry, 4ta edición, New Jersy-USA
- [14] Ing. Arturo Lobato Flores, Introducción a la Metalurgia. Disponible en: https://www.convencionminera.com/perumin31/images/perumin/recursos/Metalurgi a%20IIMP%20Introduccion%20a%20Ia%20metalurgia.pdf [Consultado: 16 de mayo de 2015]
- [17] Jesús Merino Pérez, María José Noriega Borge, Fisiología general, Universidad de Cantabria, Disponible en: http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/fisiologia-general/materiales-de-clase-1/tema-1.-introduccion-al-estudio-de-la-fisiologia/Tema%202B-Bloque%20I-Enzimas.pdf , [Consultado: 17 de mayo de 2015]
- [3] Kenneth Wark, Cecil F. Warner; *CONTAMINACIÓN DEL AIRE Origen y control.* LIMUSA NORIEGA EDITORES. México, 2004. pág. 37-39
- [21] Legaz Berbel, Rámses, Tesis de Maestría, Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustibles, Barcelona-España, 2010, Pág: 23-24.
- [22] Lucas Lizandro Dízas M., Eduardo Tomás Portocarrero R., Tesis Pregrado, Manual de producción de Caña de Azucar (Saccharum Officinarum L.), Honduras, 2002, Pág: 3-4.
- [9] Mariana Valenzuela V., Tesis, El asfalto, en la conservación de pavimentos, Universidad Austral de Chile, 2003, Pág: 12
- [23] Multisa Industrial, DL10 Supresor de Polvo, Disponible en: http://www.multinsa.com/2010/site/productos-industrial.html , [Consultado: 18 de mayo de 2015].

- [16] Rogelio Rodriguez T., Victor Manuel Castaño M., Miguel Martínez M., Documento técnico, Emulsiones alfálticas, México, 2001, Pág: 21
- [1] Spiro, Thomas G.; Stigliani, William M. *Química Medioambiental. 2da edición*. Pearson Prentice Hall. Madrid. 1996, pág. 225
- [12] UNIVERSIDAD DE NEVADA Y LA AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE E.E.U.U, "Impacto Potencial de la Aplicación de Supresor de Polvo", 2002