

BENEFICIO DE MINERALES DE YESO PROVENIENTES DE LA MINA LA NACUMA “MUNICIPIO DE LOS SANTOS”

RESUMEN

El investigación tiene como objetivo aumentar el %SO₃ en el mineral de yeso a partir de la eliminación de las impurezas presentes en el mineral, aplicando cuatro procesos de beneficio (Mesa Wilfley, Espiral Humphreys, Hidrociclón y flotación), y analizando los resultados obtenidos en estos, se selecciono el proceso de beneficio con el mejor índice de concentración representado por el % Recuperación y % SO₃.

El proceso seleccionado fue el de flotación, en el cual se analizaron las principales características del mineral y se determinaron las variables que intervienen en el proceso de flotación, empleando el diseño experimental 2³ en el que se analizan tres variables de entrada (Tiempo de acondicionamiento, Cantidad de colector y pH) y donde las variables dependientes fueron: la temperatura de flotación, el diámetro de partícula, el % sólidos en la pulpa, el tiempo de residencia y la agitación de la pulpa, esto con el propósito de determinar las mejores condiciones del proceso empleado.

Los mejores resultados se encontraron en la mezcla de los mantos (Churca y Enchaquetada) en proporción (2:1) respectivamente, con un pH de flotación de 9, 1350 gr. Colector / ton mineral y un tiempo de acondicionamiento de 6 minutos, obteniendo una % Recuperación del 70% y una ley del 40 %SO₃.

PALABRAS CLAVES: Mineral de Yeso, Procesos de beneficio, % SO₃, %Recuperación y flotación de minerales.

ABSTRACT

The aim of this research is increase the SO₃ percentage into Gypsum mineral beginning with the elimination of mineral impurities, applying four benefit processes (Wilfley table, Humphreys spiral, Hydrocyclone, and flotation), and analyzing the results of them, it was selected the benefit process with the best concentration index represented by the percentages of recuperation and SO₃.

The selected process was flotation, it was analyzed the main mineral characteristics and the variables of the flotation process were determined using 2³ experimental desing analyzing three income variables (Conditioning time, Collector amount and pH), where the dependent variables were: flotation temperature, particle diameter, pulp percentage, residence time and pulp agitation, all this in order to determine the best process conditions.

The best results were found in the mix of mantles (Churca and Enchaquetada) in 2:1 proportion respectively, with pH value of 9, collector value of 1350 gr. Collector / ton mineral, and 6 minutes of conditioning time, obtaining a percentage recovery of 76%, and % SO₃ law of 40%.

KEYWORDS: Gypsum Mineral, Benefit processes, % SO₃, Recovery ratio y mineral flotation.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades colombianas, obras civiles e infraestructura vial, ha incentivado el campo de la

construcción, el cual depende en gran parte de la industria cementera.

Una materia prima importante para la fabricación del cemento es el yeso, mineral explotado en algunos lugares

WALTER PARDAVE LIVIA

Ingeniero Metalúrgico, MSc
Profesor Cátedra Titular
Universidad Industrial de Santander
wpardave@uis.edu.co

CUSTODIO VASQUEZ QUINTERO

Ingeniero Metalúrgico, MSc
Profesor Titular
Universidad Industrial de
Santander

OSCAR AUGUSTO OREJUELA PARRA

Ingeniero Metalúrgico UIS.

del país como Tolima, Cundinamarca, Boyacá y Santander. En este último departamento la zona del cañón del Chicamocha es la región que tiene los mejores yacimientos de yeso; Esta área es labrada por los ríos Chicamocha y Sogamoso, aledaña al municipio de los Santos, departamento de Santander, 62 Km. Al sur de Bucaramanga, la cual posee yacimientos yesíferos, con altos porcentajes de SO_3 , con lo cual se mide la pureza del yeso. La mina "la nacuma" ubicada en esta región presenta afloramientos de yeso en la base de la formación Rosablanca, con una reserva aproximada de 650.000 toneladas para una vida útil de 21 años.

Las impurezas presentes en el yeso, deterioran la calidad de este y aumentan los costos de transporte, elevando el valor del flete hasta la empresa cementera, además altera el proceso en la fabricación del cemento, debido que los porcentajes de SO_3 no son constantes sino fluctuantes, dificultando el cálculo fijo de yeso por tonelada de cemento producido.

El valor de la tonelada de yeso, depende del $\% \text{SO}_3$, y a su vez influye en el costo del flete; entonces el costo promedio del transporte del yeso se incrementa aproximadamente entre un 10 a 15 % del costo total, lo cual significa una pérdida significativa, además del tiempo adicional invertido para corregir los $\% \text{SO}_3$ requeridos en el proceso de producción de cemento.

Este proyecto busca seleccionar las variables más importantes del proceso de beneficio de yeso en la mina la Nacuma, y tentativamente, aplicarlo a todas las minas de la región, con lo cual se generaría un avance apreciable en las técnicas rudimentarias de explotación de mineral de yeso en la zona.

2. CONTENIDO

2.1 Metodología experimental

El proyecto se desarrollo a través de las siguientes etapas:

- Revisión y análisis de la bibliografía consultada.
- Muestreo de la mena.
- Caracterización del mineral.
- Pruebas preliminares de beneficio en el mineral de yeso (Mesa de sacudimientos Wilfley, Hidrociclón, Espiral Humphreys y Flotación).
- Selección del método con mejores resultados de concentración.
- Diseño de experimentos para el sistema seleccionado.
- Propuesta del diagrama de flujo para el sistema de concentración.
- Elaboración del informe final.

Adicional a las etapas anteriores se llevo a cabo un breve análisis geológico, con el objeto de tener un conocimiento detallado del yacimiento en estudio y específicamente del área de la mina la Nacuma.

Se tomaron muestras de 3 mantos (Churca, Lajeo y Enchaquetada), aprovechando el método de explotación que actualmente tiene la empresa. Se tomaron muestras representativas de cada manto, midiendo su respectivo espesor (Ver Figura 1).



Figura 1. Frente de explotación.

2.2 Etapas de caracterización del mineral

Se realizó con el fin de determinar las características de la mena en los diferentes niveles de cada frente de explotación, con el propósito de definir las operaciones y procesos metalúrgicos más adecuados para su beneficio. Las muestras recolectadas fueron secadas al ambiente y luego trituradas, hasta obtener un tamaño de partícula menor de 5 mm. Por cuarteo se tomó una muestra representativa.

La presente investigación se realizó en tres etapas, entre las cuales se encuentra el trabajo experimental. A su vez este está estructurado en tres actividades que se desarrollaron para alcanzar los objetivos propuestos en el plan de trabajo.

2.3 Ensayos preliminares de los métodos de concentración

La concentración se usó para tratar de eliminar las impurezas presentes en el yeso, inicialmente se realizaron ensayos en los cuatro procesos de beneficio obteniéndose resultados no satisfactorios, puesto que las variables estaban definidas, pero los parámetros de operación no lo estaban.

Por lo anterior se experimento en cuatro procesos de beneficio y se definieron los parámetros de operación, basados tanto en la teoría como en la experimentación. La Tabla 1 presenta los pesos específicos de las especies mineralógicas de los mantos.

Tabla 1. Peso específico de las especies mineralógicas.

Final de fórmula inesperado	% peso Manto 1	% peso Manto 2	% peso Manto 3	Gravedad Especifica (sp-gr)
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7.62	1.22	6.32	2.32

SiO ₂	9.53	2.54	10.68	2.65
CaCO ₃	46.62	6.58	18.75	2.65
CaSO ₄	36.08	44.17	44.14	2.94
Amorfos	0.15	45.49	20.11	
Densidad del Manto (gr/ml)	2.732	2.899	2.817	

2.4 Caracterización del mineral

El análisis por difracción de rayos X para las muestras tomadas de los 3 mantos, reportaron la presencia de especies mineralógicas cuyo análisis de SO₃ en los mantos muestran los resultados representados en la Tabla 2

Tabla 2. % SO₃ en los mantos

Manto	% SO ₃
1 (Churca)	28.9
2 (Lajeo)	49.3
3 (Enchaquetada)	36.6

2.5 Ensayos experimentales de concentración del yeso

Concentración del yeso empleando la mesa de sacudimientos Wilfley.

Con base en el mineral del manto 1 (Churca), se hicieron pruebas preliminares de concentración y se analizo el comportamiento general del proceso. Ver Tabla 3 y Figura 2.

Tabla 3. Influencia del ángulo de inclinación en el manto 1. (Caudal 25 ml/s; % Pulpa 30; Velocidad 250 imp*min; Amplitud ½ “; tamaño de partícula M1.3).

Ensayo	Angulo de Inclinación	% Recuperación	% SO ₃
1	10°	40.20	36.50
2	13°	53.10	31.20
3	16°	60.40	30.10
1 Duplicado	10°	39.90	37.00

2 Duplicado	13°	52.60	30.90
3 Duplicado	16°	60.10	30.20

Analizando los resultados de la Tabla 3 y Figura 2, se concluye que el ángulo de inclinación, con el mejor indicador de concentración es el ángulo de 16°.

Por consiguiente se tomara este resultado como parámetro de operación constante, y se aplicara a las siguientes pruebas de concentración en la mesa Wilfley, teniendo como única variable el diámetro de partícula.

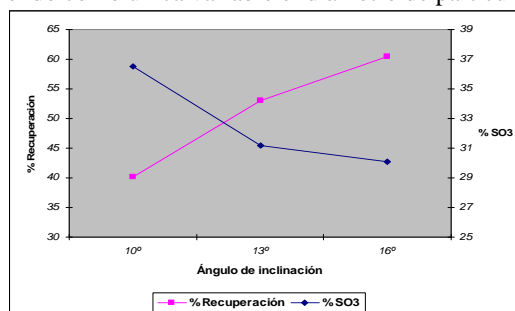


Figura 2. Influencia del ángulo de inclinación en el manto 1. (Caudal 25 ml/s; Pulpa 30% sólidos; Velocidad 250 imp*min; Amplitud ½ “; Tamaño partícula M1.3).

Concentración del yeso empleando el espiral Humphreys.

Se examino el comportamiento general del sistema haciendo ensayos preliminares, se replantearon los parámetros de las variables y se aplicaron al proceso de concentración del mineral en los mantos 1, 2 y 3. Los resultados obtenidos se reportan en las Tablas 4 y su gráfico corresponde a la Figuras 3.

Tabla 4. Influencia del diámetro de partícula en el manto 1. (Presión 40 Psi, Pulpa 30% sólidos).

Diámetro de Partícula (µm)	% Recuperación	% SO ₃
300	35,03	35,80
250	48,40	36,00
180	58,92	36,20

150	50,56	35,90
106	39,41	35,10

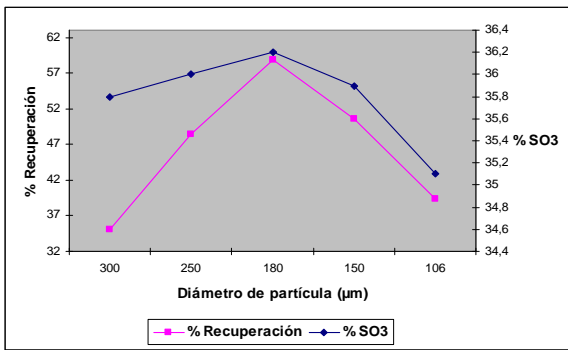


Figura 3. Influencia del diámetro de partícula en el manto 1. (Presión 40 Psi, Pulpa 30% sólidos).

Analizando los resultados del proceso de concentración del espiral Humphreys, se definieron las variables y parámetros de operación que arrojaron los mejores resultados de concentración utilizando los indicadores metalúrgicos.

Diámetro de partícula: 180 (µm)
 Pulpa: 30% sólidos.
 Presión: 40 Psi.

Aplicando el indicador de concentración, se encontró que a mayor % SO₃ en el mineral, disminuye la eficiencia de la concentración.

Concentración del yeso empleando el hidrociclón.

Se examinó el comportamiento general del sistema haciendo ensayos preliminares, se replantearon los parámetros de las variables y se aplicaron al proceso de concentración del mineral en los mantos 1, 2 y 3. Los resultados obtenidos se reportan en las Tabla 5 y su gráfico corresponde a las Figuras 4.

Tabla 5. Influencia del diámetro de partícula en el manto 1. (Presión 40 Psi, Pulpa 30% sólidos).

Diámetro de Partícula (µm)	% Recuperación	% SO ₃
300	31,09	35,9
250	56,49	36,2
180	64,39	36,4
150	50,56	36,4
106	39,89	35,3

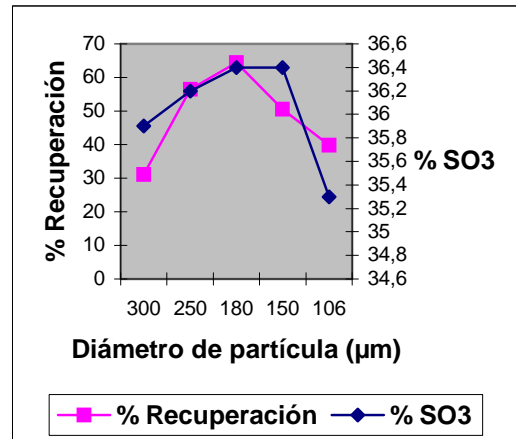


Figura 4. Influencia del diámetro de partícula en el manto 1. (Presión 40 Psi, Pulpa 30% sólidos).

Analizando los resultados del proceso de concentración del Hidrociclón, se definieron las variables y parámetros de operación que arrojaron los mejores resultados de concentración utilizando los indicadores metalúrgicos.

Diámetro de partícula: 180 µm
 Pulpa: 30% sólidos.
 Presión: 40 Psi.

Aplicando el indicador de concentración, se encontró que a mayor % SO₃ en el mineral, disminuye la eficiencia de la concentración. Se observa gran diferencia entre los indicadores de concentración del manto 1 y 3 con el manto 2.

Concentración del yeso empleando flotación. Con base en el mineral del manto 1 (Churca), se hicieron pruebas preliminares de concentración y se analizó el comportamiento general del proceso. Los resultados obtenidos se reportan en la Tabla 6 y su gráfico corresponde a la Figura 5.

Tabla 6. Influencia de la dosificación del colector en el manto 1. (pH= 8, Pulpa 30% sólidos. Diámetro de partícula 180 micras, tiempo de acondicionamiento 5 min., 1200 rpm).

gr. Acido oleico /ton mineral	% Recuperación	% SO ₃
450 (3 gotas)	15,10	36,80
900 (6 gotas)	50,80	35,60
1350 (9 gotas)	62,60	35,40

1800 (12 gotas)	54,98	34,10
------------------------	-------	-------

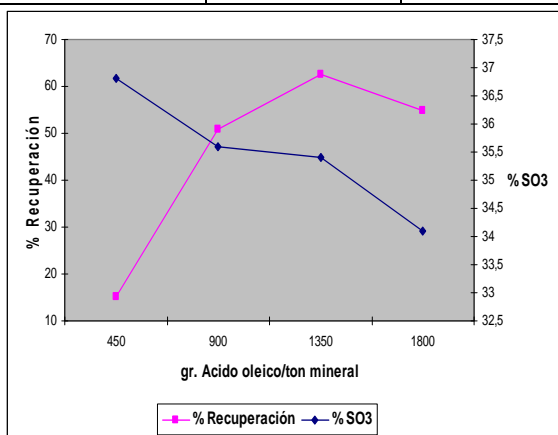


Figura 5. Influencia de la dosificación del colector en el manto 1. (pH= 8, Pulpa 30% sólidos. Diámetro de partícula 180 micras, tiempo de acondicionamiento 5 min., 1200 rpm).

Aplicando el indicador de concentración, se encontró que a mayor % SO₃ en el mineral, disminuye la eficiencia de la concentración.

El pH es la variable con mayor influencia en el proceso de concentración, pero se debe tener un control adecuado con el pHmetro, debido a que cualquier fluctuación puede cambiar la estabilidad en la espuma.

2.6 Aplicación del Diseño Experimental y Determinación del polinomio respuesta. Como la variable respuesta (% Recuperación de SO₃) es función de los factores y sus interacciones, se puede expresar por una ecuación ajustada y conocida como polinomio respuesta. Sin embargo, el polinomio respuesta debe considerarse como una aproximación solamente dentro de la región cubierta por los niveles de las variables estudiadas en el experimento y no es extrapolable. De acuerdo con esto se obtuvo el siguiente polinomio respuesta.

$$\%Recuperación = 0,511 \text{ Tiempo} + 1,42 \text{ Colector} + 6,68 \text{ pH}$$

El uso de esta ecuación esta restringido a los rangos en que se tomaron las variables, es decir, el tiempo de acondicionamiento entre 4 y 6 minutos, el pH de flotación entre 8 y 9, y la cantidad de colector entre 6 y 9 gotas, (900 y 1350) gr. Acido oleico/ton mineral respectivamente.

2.7 Elección del esquema de tratamiento

En la Figura 6 se presenta un diagrama de flujo del proceso de concentración seleccionado, adaptado para aplicar las técnicas del procesamiento de minerales en la purificación de yeso a partir del mineral extraído de la mina la nacuma, de acuerdo con el proceso estudiado y

desarrollado en el transcurso de la investigación. El beneficio del yeso contempla las etapas que a continuación se describen.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio facilitó la selección y aplicación entre cuatro procesos de concentración, del proceso de Flotación para su utilización en la recuperación de mineral de yeso con base a su porcentaje de SO₃, a partir de mineral extraído de la mina, utilizando las operaciones comúnmente utilizadas en el procesamiento de minerales.

La aplicación del método de concentración por medio de la mesa de sacudimientos wilfley no es el apropiado debido a la escasa diferencia entre las densidades de las especies mineralógicas presentes en el mineral en estudio, lo cual impide el correcto funcionamiento del proceso de concentración.

Los métodos de concentración del Hidrociclón y la espiral Humphreys, tienen un comportamiento similar, debido a que tienen variables operativas en común. El índice de concentración fue del 44.65 para el espiral y del 56.62 para el Hidrociclón, comparando estos valores con el índice de concentración obtenido en el proceso de flotación que fue del 71.28, se descartaron para su posible utilización en el beneficio de mineral de yeso. Se obtuvo una ecuación que correlaciona el pH de flotación, la cantidad de colector y el tiempo de acondicionamiento con el porcentaje de recuperación de SO₃. Estas son aplicables a los rangos de pH de flotación, cantidad de colector y tiempo de acondicionamiento experimentados.

$$\%Recuperación = 0,511 \text{ Tiempo} + 1,42 \text{ Colector} + 6,68 \text{ pH}$$

A través del análisis estadístico se estableció que las mejores condiciones para obtener un alto porcentaje de recuperación de %SO₃ son: un pH de flotación de 9, un tiempo de acondicionamiento de 6 minutos y 1350 gr. Acido oleico/ton mineral (9 gotas) como colector. Obteniendo un porcentaje de recuperación del 76.2% y una ley del 36.8 %SO₃.

A través del proceso de flotación se garantiza un aumento en el porcentaje de SO₃ en el mineral, de acuerdo al análisis realizado al concentrado, arrojando excelentes resultados (36.8 %SO₃), lo que garantiza un material homogéneo de buena calidad, el cual puede ser utilizado como materia prima en la fabricación del cemento

Es conveniente durante la trituración secundaria, hacer una clasificación por tamaño, que garantice una granulometría de alimentación a molienda mas fina y uniforme posible, disminuyendo de esta forma, el tiempo de molienda, consecuentemente los costos y aumentando

el rendimiento de la operación de reducción de tamaño a las condiciones pedidas.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ANGULO, R. Recursos Minerales de Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales, 2ª Edición. Ingeominas. Bogota, Tomo II.
- [2]. CASTELLANOS, M. Prospectiva de procesos químicos para los minerales de caolín y yeso de la Provincia Guanentina. Ingeniería Química. U.I.S. 1989.
- [3]. CONCHA, F. y CASTRO, S. Avances de flotación. Escuela de minas, Universidad de Concepción, Chile, Volumen 1.
- [4]. KELLY, G. SPOTTISWOOD, D. Introducción al procesamiento de minerales. Editorial Limusa, 2ª Edición S.A. España, 1990.
- [5]. RODRÍGUEZ, W. Estudio mineralúrgico de concentración gravimétrica para la recuperación de oro a partir de arenas cianuradas. Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador, 1996.
- [6]. WYMAN, R. The Flotability of twenty-one Non-Metallic Minerals. Canadá. 1969.