

ESTUDIO PRELIMINAR DE BLANQUEAMIENTO DEL TALCO DE LA UNIÓN (ANTIOQUIA)

PRELIMINARY STUDY OF PROCESSING TALC OF LA UNIÓN (ANTIOQUIA)

LILLIANA ISAZA JARAMILLO

Escuela Nacional Superior de Geología (Instituto Nacional Politécnico de Lorraine) Francia.

Lilliana.Isaza@ensg.inpl-nancy.fr

JAVIER ALFONSO MESA RESTREPO

Ing. Geólogo. Universidad Nacional de Colombia.

JORGE IVÁN TOBÓN

Ing. Geólogo. Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.

jitobon@unalmed.edu.co

Recibido para revisar 29 de Junio de 2004, aceptado 20 de Septiembre de 2004, versión final 10 de Diciembre de 2004

RESUMEN: El talco encontrado en la región de La Unión (Antioquia) presenta altos contenidos de hierro, que lo hacen una materia prima poco útil para algunos usos específicos. El objetivo principal de este estudio fue desarrollar, a escala de laboratorio, un proceso que permitiera mejorar sus características, específicamente, el color. Las pruebas realizadas sobre el mineral fueron: flotación espumante con Carboximetil Celulosa (CMC) y lixiviación en medio ácido, destinadas a reducir el contenido de hierro, lográndose la eliminación del 84.6% de éste, como Fe_2O_3 , presente en el mineral. Paralelamente, a este material se le determinó el índice de Bond a malla 150, pues este parámetro es de vital importancia en la determinación de los costos en la etapa de molienda, encontrándose un valor de 47.5 kWh/ t corta.

PALABRAS CLAVE: Talco, flotación espumante, lixiviación.

ABSTRACT: Talc found at the region of La Union (Antioquia) show high contents of iron, for this reason this material can not be used for some specific industries. The focus of this work was to develop, (at a lab scale) the way for processing this material and improving its characteristics, mainly its color. The tests done regarding this material were: foam flotation with Carboxyl-methyl Cellulose (CMC) and acid lixiviation, oriented to the decreasing of iron levels, obtaining 84.6% less of the normal content of Fe_2O_3 , present in the mineral. It was also determined the Bond index to 150 mesh for this material; this information is vital to the determination of the cost in the milling instance, finding a value of 47.5 kW h/S t.

KEYWORDS: Talc, Foam flotation, lixiviation..

1. INTRODUCCIÓN

Los minerales industriales son de gran importancia económica, pues forman parte de la mayoría de los productos de la vida diaria: papel, pinturas, cosméticos, detergentes, jabones de tocador, alimentos y golosinas, entre otros. El talco es uno de los minerales más utilizados como material de relleno o como extendedor, Sims (1997), gracias a sus propiedades físicas (baja dureza, gran poder cubriente, hábito, blancura, entre otras) y químicas (hidrofobicidad, inercia química a la mayoría de los ácidos, no tóxico, etc.).

En Colombia, el único depósito que se explota en la actualidad es el perteneciente a la empresa Talcos de Yarumal, en el municipio de Yarumal, Antioquia, cuyo mineral posee altos contenidos tanto de hierro y de partículas de asbesto que limitan el uso de éste en industrias como pinturas y papel.

De acuerdo con los datos de la UPME - Unidad de Planeación Minero Energética - (www.upme.gov.co/simec) se tiene para Colombia que la producción de talco es inferior al consumo, lo que obliga a las empresas colombianas a recurrir a las importaciones. Por todo esto se hace importante la exploración, explotación y beneficio de este tipo de depósitos en Colombia.

En una exploración realizada en el municipio de La Unión, Antioquia, se halló un prospecto de talco que puede ser explotado con técnicas propias de la pequeña minería. Pero, a partir de su caracterización química y mineralógica, se comprobó que este mineral poseía básicamente los mismos problemas, a excepción de los minerales asbestiformes, que el proveniente del municipio de Yarumal, como son: altos contenidos de hierro en forma de limonita, bajo contenido de talco como mineral y alta cantidad de sílice, SiO₂. De esta caracterización inicial se concluye que el talco de La Unión, con altos contenidos de hierro sólo puede usarse en detergentes y el de menor cantidad de hierro, para pinturas. Para mejorar las características y potencial económico de este talco se propusieron, a escala de laboratorio y bajo la premisa de ser relativamente económicos, dos

esquemas de procesamiento que permitieran mejorar la calidad de éste. En primer lugar, flotación con CMC, cuya principal ventaja es el uso de un solo reactivo, a diferencia de los procesos convencionales de flotación que demandan hasta 3 ó 4 reactivos diferentes, lo que encarece y dificulta el proceso. En segundo lugar, lixiviación ácida la cual se concentró en establecer cual era el tamaño óptimo del mineral para eliminar la mayor cantidad posible de hierro, manteniendo aproximadamente constante el pH. La reducción en el contenido de hierro para el producto final garantiza una materia prima apta para los usos industriales más comunes, como son material de relleno en pinturas y eventualmente en la industria papelera; en ningún caso se espero la obtención de un producto que cumpliera las exigencias de la industria cosmética y farmacéutica.

La importancia de este tipo de trabajos radica fundamentalmente en que la aplicación de distintas pruebas de beneficio a un mineral que se haya en un depósito, junto con otras indagaciones, permiten que éste llegue o no a la categoría yacimiento y en que a través del procesamiento de los minerales se logra mejorar las propiedades químicas y físicas de material, haciéndolo apto para uso industriales que demandan altas prestaciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y los métodos utilizados son:

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima tiene las siguientes características:

2.1.1 Origen Geológico

El talco en la región de La Unión, Antioquia, se encuentra asociado a rocas metamórficas como: esquistos verdes, esquistos cuarzo-sericíticos y anfíbolitas. Pero, las rocas que dieron origen a este depósito (que se esteatizaron y formaron el talco) según lo encontrado por Isaza y Restrepo (2002), pudieron haber sido una serpentina y un gabro que afloran en la región.

2.1.2 Características Químicas y mineralógicas

La composición química y mineralógica del talco se muestra en la Tabla 1. Donde se observa un alto contenido de sílice y

magnesio cercano al 86%, del cual corresponde a talco sólo el 74.86%. El porcentaje de hierro como óxido llega al 5.21%, lo cual es alto para la mayoría de aplicaciones industriales.

Tabla 1. Composición química y mineralógica del talco de La Unión. (Fuente: Isaza y Restrepo, 2002)

Table 1. Chemical and mineralogical composition of talc of La Union. (Source: Isaza and Restrepo, 2002)

Oxido	Contenido como %
Fe ₂ O ₃ Total	5.21
CaO	0.2
MgO	26.65
MnO	0.04
Al ₂ O ₃	1.58
SiO ₂ combinado	60.71

Mineral	Contenido como %
Talco	74.86
Clorita	11.01
Limonita	2.5
Tremolita	1.44

2.1.3 Pruebas de aptitud cerámica

Con estas se conoce el uso potencial de un material. Los ensayos fueron: pruebas de absorción de aceite, norma ICONTEC 568, cuyo resultado, en promedio, fue de **0.365 g de aceite/100g de mineral**, el cual se puede considerar bajo para el talco. Pérdidas por ignición, norma ICONTEC 600, para este mineral en particular se reporta un valor de **5.62%**, el cual es un valor promedio comparado con pérdidas por ignición observadas para los talcos de Yarumal (Antioquia). Contenido de humedad, norma ICONTEC 600, es alto, obteniéndose un valor promedio de **0.42%**. Otra característica importante determinada fue el pH natural, NORMA 624, que fluctuó entre 6.12 y 2.84. Todas estas pruebas permiten concluir, inicialmente, que este talco tal como esta, puede ser usado como: revestimientos para fundición, jabones y detergentes (la sílice libre es mínima) y en cauchos.

2.2.1 Recolección de las Muestras

Se recolectaron aproximadamente 2 kg por sitio de muestreo (12 sitios) en el área de la licencia (Licencia de Explotación N° 6314), la cual se encuentra ubicada en el municipio de La Unión, Antioquia. El muestreo se hizo a diferentes profundidades del depósito, permitiendo un mayor conocimiento tanto en la vertical como en la horizontal. La ubicación de las muestras puede visualizarse en la Figura 1.

Para tratar de simular las condiciones en cuanto a calidad de este mineral hacia profundidad (eliminar las influencias del contenido de hierro debido a la meteorización y la erosión, las cuales pudieron afectar la composición química de la muestra tomada), se realizó un pre-lavado de las muestras con agua acidulada (H₂SO₄ al 30% V/V) y se frotaron con un cepillo de pelo de alambre.

2.2 PREPARACIÓN Y PROCESAMIENTO DEL MINERAL

El material se prepara y procesa de la siguiente forma:

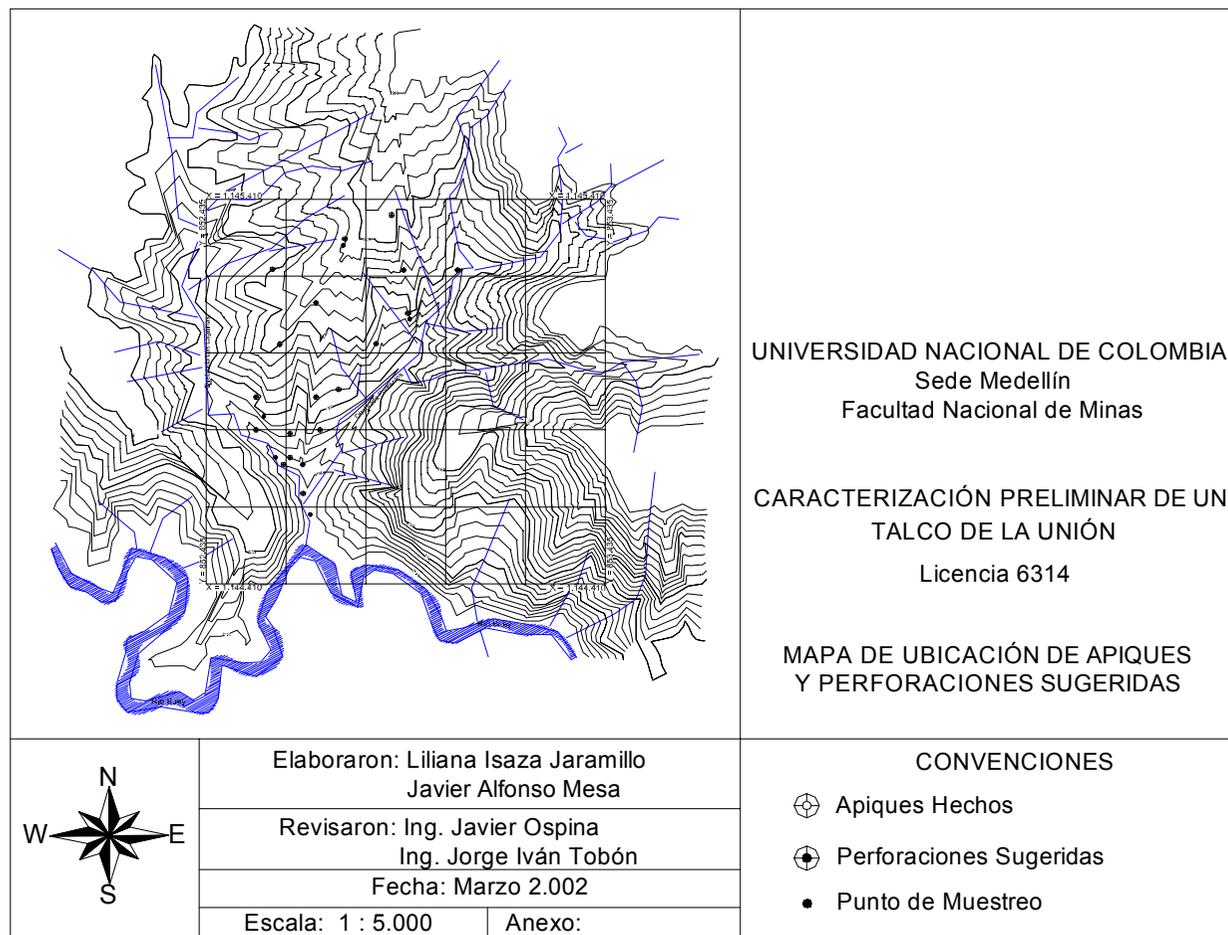


Figura 1. Mapa de ubicación de apiques y perforaciones sugeridas

Figure 1. Suggested map of location of perforations

2.2.2 Preparación de las muestras

Se redujo el tamaño del 100% de la muestra mediante trituración y se molió el 50% (d_{80} = malla 65). Se tomaron muestras de 300 g del mineral molido pasante a malla 150, para usarlas en las pruebas de beneficio y análisis químicos. Los análisis químicos realizados fueron para los elementos: Fe^{+3} , Mg y Ca, además de la sílice total (SiO_2). Estos se hicieron en el CIMEX (U. Nacional de Colombia, sede Medellín) siguiendo los protocolos que se han establecido para muestras de minerales industriales.

2.2.3 Índice de Bond

Este índice permitió establecer la aptitud a la molienda o molturabilidad del talco, en concreto, el consumo específico de energía (kWh/t Corta) para llevar un material desde un tamaño infinito hasta malla 150, en este caso. El procedimiento usado fue el expresado por Sánchez, 1988. Luego se realizaron dos pruebas para disminuir el contenido de hierro (blanqueamiento) que se encuentra como patina superficial y en las fracturas del mineral en forma de hidróxidos y óxidos, que vuelve amarillento al talco cuando se muele (Isaza y Restrepo, 2002) e impide su uso en pinturas y papel. Luego de la molienda, se analizó el grado de liberación del talco y se observó que a la malla 150 se obtiene la mayor liberación con un 56% de talco, un 33% para la ganga y un 11% de granos mixtos (Isaza y Restrepo, 2002). Los ensayos realizados fueron:

2.2.4 Flotación Espumante Directa

Este método busca eliminar la mayor cantidad de hierro depresando el talco, volviéndolo hidrofílico (Fuerstenay y Sabacky, 1981, en Espinosa, 2002), y permitir que los contaminantes (óxidos e hidróxidos de hierro) floten con la ayuda de ácidos grasos. A pH básicos se espera que la hidrofobicidad natural del talco cambie y se torne hidrofílico, realizándose una separación de otras

menas metálicas como los sulfuros. Se hicieron cuatro pruebas de flotación en las cuales se varió el pH (10 y natural de la muestra) y la cantidad a adicionar de CMC. Los parámetros para estos ensayos fueron obtenidos de un estudio previo realizado por Espinosa (2002), en el cual se trabajó con talco proveniente de las regiones de Yarumal y de La Unión, El procedimiento seguido fue: Con el material molido pasante a malla 150, se formó una pulpa con un 30% sólidos por peso, en una celda tipo DENVER y se adicionó el CMC (220 g /t m) previamente disuelto en agua, junto con el aceite de pino (100g /t m) y acondicionándose por 45 minutos. En seguida se permitió el paso del aire a la pulpa para la formación de la espuma. La espuma fue recogida en diferentes tiempos (0, 0.5, 1, 2, 6, 8, 10, 15, 30 minutos y las colas del proceso) y a cada porción se le determinó su contenido de hierro (como Fe_2O_3 combinado). En el caso de necesitar subir el pH de la pulpa se usó cal común. Para las pruebas sin CMC sólo se le agregó a la pulpa el espumante y la cal.

2.2.5 Lixiviación Ácida

Permite la remoción del hierro que se encuentra adherido superficialmente al talco. Para la lixiviación se usó el método enunciado por López (1994), para arcillas. Se tomó una muestra de 100 g pasante a malla 150 y otra muestra de 100g pasante a malla 400, ya que se observó en los productos de la flotación, que el mineral más grueso estaba más coloreado. Con el material se hizo una pulpa al 20% de sólidos por peso. Se midió inicialmente el pH de la pulpa y luego se bajó a un pH entre 1-3 con H_2SO_4 . Se debe medir el Eh de la pulpa y cuando éste se encuentre en 0.2 Voltios, se agregan 10 g de hidrosulfito de sodio. Después de 45 minutos y a un Eh de 0.2 Voltios se adicionan otros 10 g de hidrosulfito de sodio. Se deja agitar por 10 minutos más y se adiciona ácido oxálico de tal manera que llegue a una concentración de 0.15 M en la pulpa. Retirada la pulpa del agitador,

se filtra para eliminar el agua. Durante la filtración se adiciona agua acidulada (pH 1-3) con H_2SO_4 para evitar la re-deposición del hierro y se seca por 24 horas a $37^\circ C$. Luego del secado se determinó el contenido de hierro a cada muestra.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

3.1 ÍNDICE DE BOND

Se obtuvo un valor de 47.49 kWh/t Corta, el cual es muy alto comparado con los valores más conocidos como el de la caliza (12). Durante la molienda, se observó que a medida que el tamaño era más pequeño (pasantes a malla 325 y malla 400), se tenía una mayor diferencia visual entre el talco limpio y partículas de talco recubiertas de óxidos e hidróxidos de hierro.

3.2 FLOTACIÓN ESPUMANTE

Dentro de los procedimientos recomendados para la limpieza de minerales silicatados, se usa realizar la flotación a un pH de 6-8 con un colector que sea un ácido graso, el cual permite que los óxidos e hidróxidos de hierro floten. Para analizar este resultado, se graficó el porcentaje de recuperación de hierro en la espuma contra los tiempos de toma de las muestras. Todos los datos usados para la elaboración de los Figuras fueron extraídos de Isaza y Restrepo, 2002. La recuperación (Gaviria, 1992) se calculó como el porcentaje de hierro presente en la espuma, que se sacó en cada fracción de tiempo, con respecto al hierro que va quedando en la celda de flotación (Figura 2).

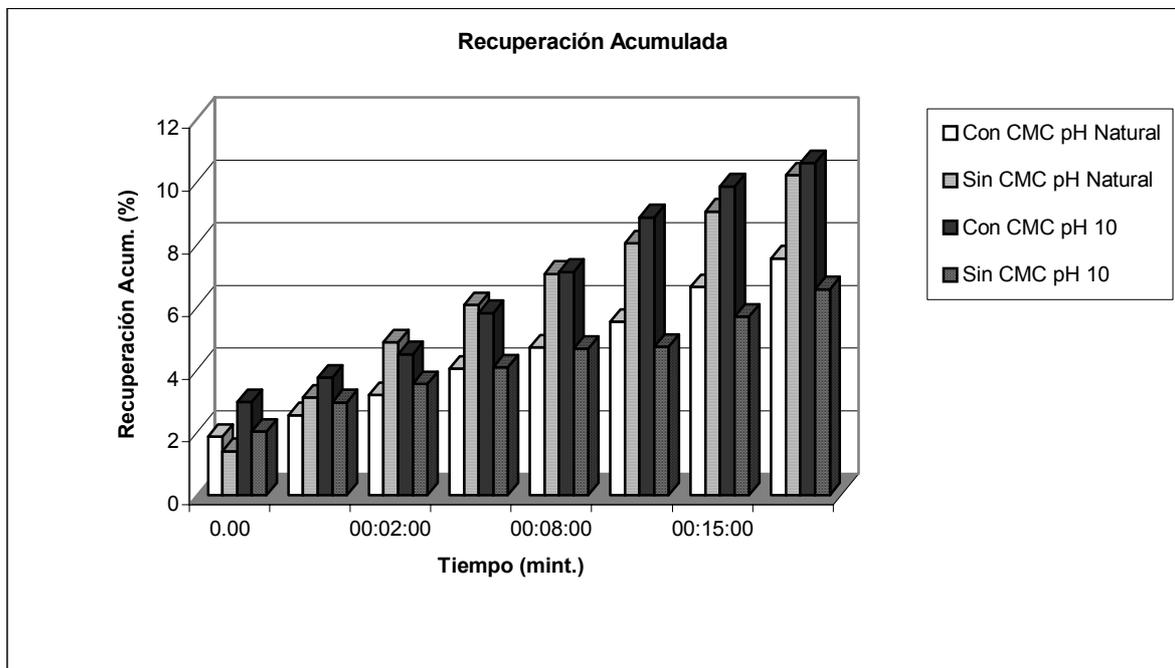


Figura 2. Recuperación de hierro en el talco de La Union

Figure 2. Iron recovery in the talc of La Union

Para la Figura 2, con CMC y a un pH 10, se da la mayor recuperación de hierro acumulada, 10.60%. Es de anotarse que para el tratamiento sin CMC y a un pH natural, a los 8 minutos se tiene una recuperación acumulada similar a la alcanzada cuando se adiciona CMC. La prueba muestra que para el pH natural y sin CMC, el material que flota, tiene alto contenido de hierro durante los primeros 8 minutos (7.07%), un resultado muy similar al obtenido con CMC y pH 10 (7.13%); en ambos tratamientos se elimina en promedio 10,4% de hierro a los 30 minutos. Si las normas del ICONTEC permiten un talco con un máximo de 4.5% de hierro combinado, para ser usado en papel y pinturas, y se parte de 5.36% de hierro combinado, este valor puede bajarse (con una recuperación de 10.60%) hasta 4.803% (en la espuma queda un 0.557%

del Fe₂O₃ combinado), valor superior al especificado por el ICONTEC.

Para el Figura 3, cuando se analizan los resultados obtenidos en los hundidos, donde deberá estar el talco, se nota que cuando la flotación se realiza al pH del mineral (pH 4.6 que pasa a ser pH 6 con el agua corriente) y se adiciona el CMC, el mineral responde quedando en la descarga más talco y menos hierro. Caso contrario parece suceder en el proceso sin CMC y al mismo pH anterior, el cual no muestra una disminución de los contenidos de hierro. Graficando los datos obtenidos para el proceso a un pH 10, se ve un comportamiento muy similar entre los tratamientos inicialmente (sin CMC y con CMC), y luego, las curvas se traslocan (luego de los 30 min.). Es claramente visible el efecto acumulativo del descenso en los contenidos de hierro.

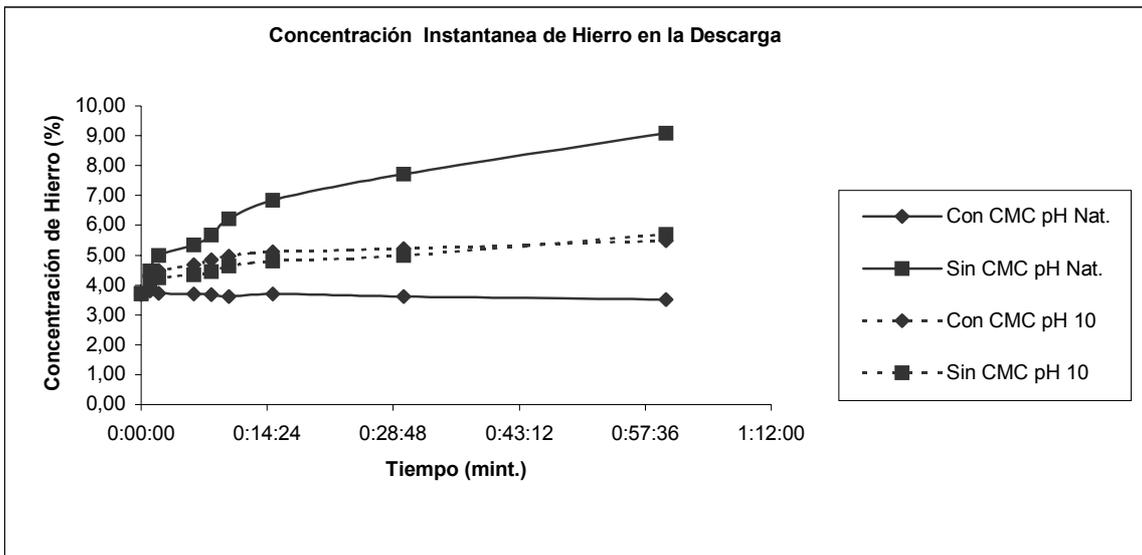


Figura 3. Concentración Instantánea de Hierro en la Descarga

Figure 3. Instantaneous iron concentration

En la Figura 4 para el proceso sin CMC a un pH de 10 y sin CMC a un pH natural se observa que la curva cae entre los 7 y los 15 minutos, esto se debe a que se colectó poco material en la espuma. Aunque la Figura 4 muestra conductas erráticas en un principio, se observa

claramente que sin el uso del CMC y aun pH de 10 se tiene más hierro en las espumas. Al adicionar el CMC no se ayuda a mejorar las concentraciones de los contenidos de hierro.

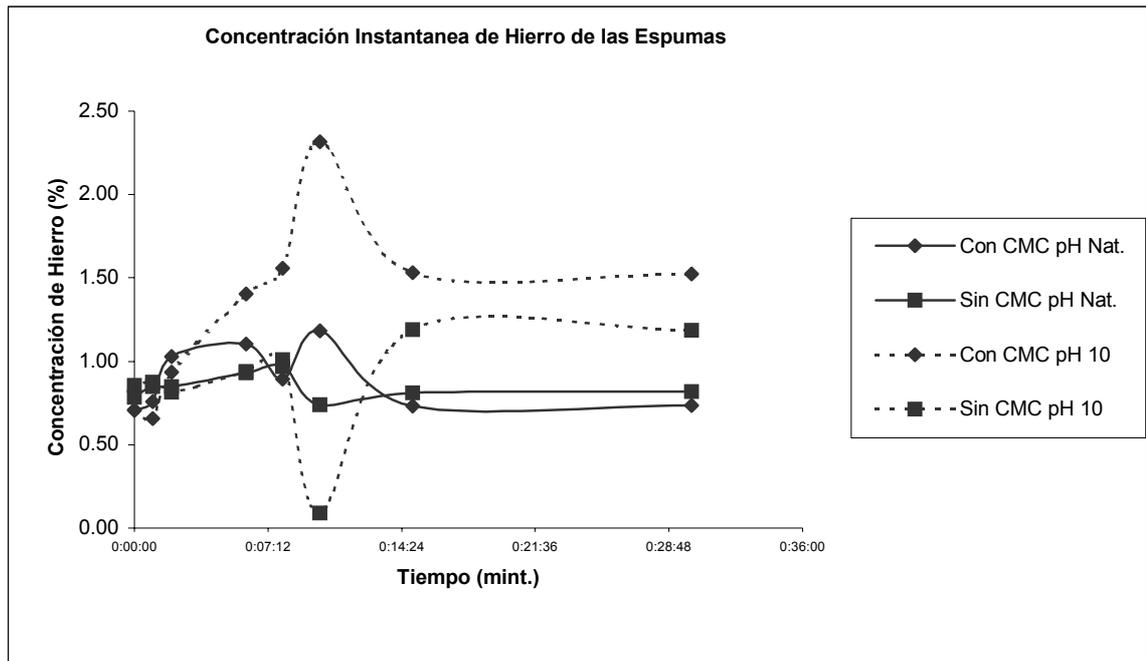


Figura 4. Concentración Instantánea de Hierro en las Espumas.

Figure 4. Instantaneous iron concentration in foams

Si mezclamos los resultados de las Figuras 3 y 4, se observa que se obtiene parte del objetivo propuesto cuando no se usa el CMC y solo varía el pH (10). En los demás procedimientos usados es evidente la partición de corrientes sin empobrecimiento o enriquecimiento de estas con respecto al hierro. Es de anotar, que al observar tanto la muestra de cabeza como las diferentes espumas obtenidas a diferentes tiempos, no se ve una clara diferencia en el color.

3.3 LIXIVIACIÓN ÁCIDA

Este proceso se aplicó en el talco, basado en su similitud estructural tridimensional

con las arcillas (filosilicatos), Dana (1960), por tanto se espera que la distribución superficial de las cargas en este mineral sea parecida y que los óxidos e hidróxidos de hierro se encuentran distribuidos superficialmente como en algunos tipos de patinas que estas presentan. Todo el proceso se basa en los diferentes estados de valencia del hierro a diferentes pH, lo que lo hace más o menos lixiviable por determinados reactivos. En este proceso se obtuvieron los siguientes resultados, según Isaza y Restrepo (2002), (Tabla 2):

Tabla 2. Algunos índices tecnológicos para la lixiviación del talco.

Table 2 Some technological indices for the leaching of talc

Tamaño de Muestra (Mallas serie Tyler)	Recuperación de Hierro (%)	Enriquecimiento
-150	15.4%	0.153
-400	15.0%	0.153

Como la concentración de hierro se da en el lixiviado que se produce del proceso y no en el mineral, entonces el valor hallado es la recuperación de las colas (el mineral lixiviado) y el del concentrado, líquido lixiviado, será igual a 100 menos la recuperación hallada para las colas del proceso. La menor cantidad se obtiene a malla 150, en el cual el contenido de hierro es de solo un 15.4% del contenido inicial (equivale a una recuperación del 84.6%). Por tanto el contenido de hierro (como Fe_2O_3 combinado) pasaría de un 5.36% a un 0.825%. Visualmente se observa que el talco posee un color mucho más claro con respecto al inicial, lo que es beneficioso para el uso final de este mineral.

4. DISCUSIÓN

En la realización de la caracterización inicial se reconoce que el mineral es talco, el cual posee características que lo hacen apto para su uso industrial, pero los contenidos de hierro son altos para ser atractivo comercialmente en los usos industriales que son más redituables (p.e. como relleno de papel y pinturas). Además, se hizo una prueba de molturabilidad, lo que permito saber que el índice de Bond es de 47.5 kWh/t Corta muy similar al del grafito, lo que muestra que este valor depende más de la forma en como se fractura el mineral y de su estructura cristalina que de su dureza; se sabe que el índice de Bond de la caliza es de 12kWh/t Corta y su dureza es de 3 según la escala relativa de Mohs.

Los procesos escogidos para el blanqueamiento del talco se realizaron en

húmedo, ya que el principal problema de éste es su contenido de hierro, como óxidos e hidróxidos, los cuales son más comúnmente extraíbles mediante el procesamiento en húmedo. Para las pruebas de flotación, se experimentó con un solo producto para disminuir los costos en reactivos y en los requerimientos de equipos. Como se observa, las colas quedan con gran contenido de hierro (89.4% del hierro del alimento) y no hay un enriquecimiento o un empobrecimiento claro para el flotado y el hundido, los comportamientos son muy aleatorios, se ven como particiones de las corrientes en cuanto a los contenidos de los minerales y no permiten una conclusión clara. Solo el cambio del pH mejora de por sí la situación de flotabilidad de unos minerales respecto a otros pero el CMC no cambia la situación, es decir, los mejores resultados se encontraron sin el uso del CMC y a un pH de 10. Una observación interesante es que las espumas que se extrajeron con gran contenido de hierro, en su gran mayoría eran talco muy oxidado por tanto el cambio del pH hacia cambiar la carga superficial de estas partículas enviándolas en las espumas o en la descarga dependiendo de cuan oxidado estaba el talco. Es claro que el CMC no tuvo un gran efecto sobre los resultados obtenidos. Desde otra óptica si solo se trata de recuperar el talco con la menor cantidad de hierro posible, debe obtenerse en todos los casos de la espuma, pues tiene solo 10.6% del hierro total como máximo. Aunque los resultados son alentadores, es necesario aclarar que solo se hizo una flotación del tipo "rougher", no se realizaron las subsiguientes etapas ni a las colas, ni al concentrado, e industrialmente se realizan más flotaciones para limpiar el mineral obtenido en las distintas etapas del proceso.

Para la lixiviación ácida, se obtuvieron resultados muy interesantes bajo las condiciones especificadas por López, 1994, ya que disminuyó significativamente el contenido de hierro. Esta lixiviación se realiza a dos

granulometrías diferentes, pues dentro de la reducción de tamaño, se notó que la mayoría de los granos de color oscuro se observaban a malla 400, lo que implica que el tamaño en este mineral es un controlador en cuanto al contenido de hierro; los resultados obtenidos a las diferentes granulometrías para la lixiviación varían solo en un 0.4% para la recuperación. Es de realzar que el trabajo realizado se basa en condiciones que se obtuvieron para arcillas, las cuales siendo similares en su conformación tridimensional son diferentes en cuanto a la distribución y a los tipos de átomos que las componen y/o los tipos de enlace que unen a las partículas de arcilla con los óxidos e hidróxidos superficiales pero en este caso, hay un comportamiento similar a estas. Un dato importante es que todos los reactivos que se usaron para este proceso son de tipo comercial.

Al comparar tanto la lixiviación como la flotación espumante vemos que ambas son útiles para este mineral, pues bajan el contenido de hierro en 84.6% para la lixiviación y un 89.4% como máximo en la flotación (para la espuma). En ambos casos es necesario tener en cuenta la cantidad de reactivos a usar, los equipos y el cuidado en los procesos, sin embargo, la lixiviación muestra una gran efectividad en el blanqueamiento. Para especificar mejor a que se deben estos resultados se hace necesario un análisis petrográfico detallado para observar cual es la disposición real de los óxidos, sulfuros y demás minerales de hierro en este talco, mayor cantidad de flotaciones y lixivitaciones variando los parámetros de los procesos para mejorar los resultados obtenidos y la realización de análisis de color para establecer cual de ambos métodos logra una mejor blancura en el material.

5. CONCLUSIONES

Este depósito muestra unos importantes contenidos de hierro que no lo hacen muy atractivo para la industria, salvo algunos casos. Con la información sobre la

composición química y propiedades físicas del mineral en su caracterización inicial, se plantearon y realizaron procesos mineralúrgicos en el talco molido, los cuales permitieron disminuir los contenidos de hierro. Los resultados obtenidos mostraron que el talco de mejor calidad, bajo las condiciones expuestas inicialmente, se logra mediante la lixiviación ácida que por la flotación espumante (sin CMC y a un pH de 10). En síntesis, el proceso que mejor elimina el hierro (como Fe_2O_3 combinado) es el de la lixiviación ácida, reduciéndolo desde un 5.36% inicial al 0.825% mientras que la flotación espumante solo lo hace hasta un 4.803% partiendo del mismo contenido inicial.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos tanto a las directivas como a los técnicos y demás profesionales del CIMEX por su ayuda tanto logística como académica en las labores realizadas. De manera muy especial expresamos nuestro agradecimiento al profesor Jorge Orlando García, el cual inspiró la realización de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] DANA. Manual de Mineralogía. Barcelona: Editorial Reverté, 1960. 600 pág.
- [2] ESPINOSA PUJOL, Talia Elena. Evaluación de la recuperación de minerales mediante flotación espumante utilizando CMC. Medellín, 2002, 116 pág. Trabajo de grado (Ingeniería de Minas y Metalurgia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Escuela de Materiales.
- [3] GAVIRIA C., Ana Cecilia y otros. Programa Modular: Procesamiento de Minerales Auro-argentíferos. Módulo 1: Fundamentos y Generalidades. Medellín: Convenio: Universidad Nacional (Facultad de Minas, CIMEX), Minerales de Colombia S.A. (MINERALCO), Servicio

- Nacional de Aprendizaje (SENA). Universidad Nacional de Colombia, 1992. 220 pág.
- [4] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Determinación de la absorción de aceite para pigmentos y cargas. Bogotá: ICONTEC, 1970. 2 pág. (ICONTEC 568)
- [5] -----. Determinación de pérdidas por calcinación para pigmentos y cargas. Bogotá: ICONTEC, 1970. 2 pág. (ICONTEC 600).
- [6] -----. Determinación del pH para pigmentos y cargas. Bogotá: ICONTEC, 1970. 3 pág. (ICONTEC 624)
- [7] -----. Normas técnicas para los rellenos de plásticos. Bogotá: ICONTEC, 1970. 3 pág. (ICONTEC 715).
- [8] -----. Normas técnicas para el análisis de hierro, calcio, aluminio, magnesio y titanio en Pegmatitas descompuestas y Talco. Bogotá: ICONTEC, 1985. 8 pág. (ICONTEC 742)
- [9] -----. Normas técnicas para pigmentos llenantes en pinturas. Bogotá: ICONTEC, 1970. 3 Pág. (ICONTEC 743)
- [10] ISAZA J., Lilliana y MESA R., Javier. Caracterización preliminar del Recurso Talco en el municipio de La Unión, Antioquia. Medellín, 2002, 300 pág. Trabajo de grado (Ingeniería de Minas Y Metalurgia e Ingeniería Geológica). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Escuela de Materiales y Escuela de Geociencias.
- [11] LÓPEZ GAVIRIA, Zoraida del Pilar. Obtención de Zeolitas a partir de arcillas. Medellín, 1994, 74-80 pág. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Minas.
- [12] SÁNCHEZ ZAPATA, Luis Emilio. Operaciones Unitarias en Preparación de Minerales (Fundamentos). Volumen I. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Recursos Minerales y Energía, 1988. 318 pág.
- [13] SIMS, Catherine. Talc Markets: A World of Regional Diversity. En: Industrial Minerals. Vol. 7 N°356 (05,1997);39-53 pág.
- [14] <http://www.usgs.us/talcmyb02.pdf> (Estadísticas del talco hasta el 2002)
- [15] <http://www.upme.gov.co/simec>