UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FAC. DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

DEPTO. DE INGENIERIA QUIMICA

PURIFICACION DE MINERALES DE HIERRO POR EL METODO DE FLOTACION, A PARTIR DE HEMATITA

ALEX E. ALVARADO B.

Guatemala

1997

PURIFICACION DE MINERALES DE HIERRO POR EL METODO DE FLOTACION, A PARTIR DE HEMATITA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FAC. DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

DEPTO. DE INGENIERIA QUIMICA

PURIFICACION DE MINERALES DE HIERRO POR EL METODO DE FLOTACION, A PARTIR DE HEMATITA

ALEX E. ALVARADO B.

Trabajo de graduación presentado para optar
al grado académico de Ingeniería Química

Guatemala

1997

Vo.Bo.

Terna Examinadora

(f) _____

Ing. Jorge Luis Avalos
(Asesor)

(f) _____

Ing. Gamaliel Zambrano

(f) _____

Ing. Eduardo Calderón

Fecha de aprobación: 30 de octubre de 1997.

INDICE

Páginas

INDICE DE TABLAS

RESUMEN

En Guatemala, en el departamento de Chiquimula, se encuentran minerales de hierro, llamados Hematitas, los cuales consisten en Oxido de Hierro Fe_2O_3, y Oxido de Silicio SiO_2, en diferentes porcentajes; uno es de color amarillo y el otro es de color rojo. De acuerdo con ciertos porcentajes, el amarillo tiene un porcentaje mayor y el rojo tiene un porcentaje menor.

El hierro es un elemento de gran utilización en la industria. Un ejemplo de ello es el empleo de óxido férrico en la producción de sulfato de hierro por la empresa Sales, Acidos y Solventes, S.A. La mayoría de los métodos para la purificación de metales involucra un consumo de energía eléctrica en el proceso. En el método de purificación conocido como flotación, se emplea una cantidad reducida de la misma.

La flotación aprovecha la mojabilidad de los minerales, y con los reactivos adecuados puede seleccionar el elemento de interés, atraparlo en burbujas de aire con la ayuda del agente de flotación, y hacerlo flotar hacia la superficie de la solución, formando una espuma, en la cual puede ser recolectado. En la flotación pueden utilizarse también otros agentes para facilitar la formación de espuma, que a las burbujas solas se adhiera el elemento que se quiere y evitar que los contaminantes floten, etc.

Después de realizar una investigación, se determinaron los reactivos que mejor rigen la flotación de los minerales de hematita. Estos fueron: el ácido isosteárico como agente de flotación. el alcohol caprílico como espumante y el hidróxido de sodio para controlar el medio alcalino, el cual es muy importante para que exista una flotación.

Se ayudó al Ministerio de Energía y Minas instalando una unidad de flotación en la cual se realizaron las prácticas. Ahora está al servicio público, con instrucciones para el adecuado uso y cuidado de la misma.

Al realizar la experimentación, se observó que al utilizar el alcohol caprílico como espumante, se obtuvo una cantidad mayor de producto pero con un porcentaje menor de óxido que cuando se utilizaba solamente el ácido isosteárico como agente de flotación, sin espumante. Los porcentajes de recuperación de óxido de hierro se esperaban en valores más altos de los resultados obtenidos.

I. INTRODUCCION

La flotación es un método para concentrar minerales metálicos que se basa en la afinidad que tienen las superficies de esos minerales debidamente, preparados en presencia de burbujas de aire.

En la flotación con espuma (que es con mucho la forma más usual) se prepara una espuma introduciendo aire en una pulpa de mena (mezcla finamente pulverizada con la que se va a trabajar) y agua que contiene algún material espumante. Los materiales que tienen afinidad por las burbujas de aire suben a la superficie en la espuma y de esa manera son separados de los que están enteramente mojados.

En la actualidad, el método de flotación es de uso general en la producción de casi todo el cobre, el plomo, el cinc, el níquel y la plata. Por tanto, se busca en el presente, encontrar la viabilidad de aplicar las técnicas de flotación en la purificación de minerales de hierro.

Se ha extendido la flotación a la separación de casi todos los minerales de las menas en que se presentan en la naturaleza y a la separación de muchas sustancias sólidas y líquidas en el campo de la Ingeniería Química. Su

principal ventaja es su eficiencia relativa con un costo mucho menor que el de muchos otros procedimientos que se usaban anteriormente.

Las separaciones efectuadas por medio de la flotación, incluyen no sólo la concentración de menas metálicas básicas, sino también aplicaciones muy diversas, tales como la separación de tinta del papel reconvertido en pulpa, de guisantes de sus vainas, de aceites de los desperdicios industriales, de hulla de la pizarra y de cloruro de potasio del cloruro de sodio. Sin embargo, la primera aplicación y la que ha sido mejor estudiada es la concentración de minerales.

La flotación aplicada a la concentración de minerales se usa en concordancia con otras operaciones de Ingeniería de minerales, tales como la fragmentación, la clasificación, la concentración por gravedad, el espesamiento y la filtración.

En general, las menas impuras extraídas del yacimiento son trituradas, molidas en molinos de bolas en presencia de agua, clasificadas en agua y luego tratadas por flotación para producir un concentrado de uno o más minerales, mientras el resto de los minerales de la mena quedan retenidos en la pulpa de agua.

La flotación es un procedimiento tan polifacético que se puede ejecutar en concordancia con una, todas o ninguna de las operaciones auxiliares anteriormente mencionadas.

El objetivo de este trabajo es brindar una solución a la empresa Sales, Acidos y Solventes, S.A., para el aprovechamiento del óxido férrico presente en la hematita obtenida de la explotación de una mina en el departamento de Chiquimula; para que luego sea utilizada como materia prima en la obtención de sulfato de hierro y como reactivos en el proceso de fabricación de floculantes.

Para obtener el óxido férrico, se utilizará como método de purificación, la flotación, en el que se espera obtener 98% de pureza, al buscarse los reactivos más adecuados para llevar a cabo la purificación. El proyecto también incluye la instalación de una celda, con lo cual se beneficiará el Ministerio de Energía y Minas, para que puedan prestar este servicio a quien tenga interés de utilizarlo.

II. ANTECEDENTES

La flotación se refiere al proceso de concentración metalúrgica, mediante el cual partículas sólidas de diferentes minerales, previamente liberadas y contenidas dentro de una masa líquida, pueden ser separadas por efecto de la acción química de reactivos específicos y por la formación de burbujas de aire (2).

El proceso involucra un tratamiento químico de un mineral, para crear condiciones favorables para la unión de ciertas partículas a burbujas de aire. Las burbujas de aire acarrean los materiales seleccionados a la superficie formando un conglomerado, permaneciendo sumergido el resto de los minerales. Este proceso se ha extendido a otros campos (6).

A fines de los años cincuenta era la técnica más eficiente, más aplicable y complicada de todos los métodos de concentración utilizados en la industria minera. Existen diferentes tipos de flotación de acuerdo con los minerales que se vayan a separar (6).

La industria minera tardó en emplear la flotación de minerales de hierro en comparación con los demás minerales de otros metales debido a razones como la mecanización, la instrumentación y automatización, el conocimiento necesario para su realización y otros.

La concentración de los minerales de hierro, tenía que cumplir con ciertos requisitos, como que el concentrado que produjera tuviera que ser de una calidad aceptable. Siendo así como la flotación vino al rescate; si las pérdidas de las demás técnicas eran hematita, habría que lograr un grado de purificación más alto (8).

Flotación es un proceso utilizado para separar sólidos finamente divididos de otros sólidos. En general, es aplicado a la concentración de minerales metálicos, para la limpieza de combustibles sólidos, o para la beneficiación de minerales no metálicos; pero también puede ser aplicado a la separación de sólidos de líquidos (5).

Aquella rápida expansión del uso de flotación de minerales no metálicos, en procesamiento de minerales, ha estimulado la investigación de los principios básicos de este tipo de separación. La flotación comprende dos áreas importantes: (a) buscar condiciones físicas y químicas propicias para alcanzar

una apropiada selectividad entre las especies de minerales, y (b) determinar las condiciones óptimas para la cinética de los procesos (7).

En la flotación de procesos complejos, en la práctica actual, el Ingeniero Químico debe optimizar el efecto de un gran número de variables interactuando. Para la realización básica es necesaria una unidad de flotación en la cual se puedan controlar estas distintas variables (7).

Cuando la flotación es usada como un proceso de concentración, uno de los productos, conocido como colas esta hecho, por lo general, para contener las sustancias no valiosas que es desechar; los otros productos, conocidos como concentrados, contienen las sustancias valiosas en un concentrado. A veces necesitan un posterior tratamiento (5).

En principio, la flotación depende de la humectabilidad relativa de las superficies. Un sistema de flotación consta de un líquido, un gas y un material reducido a partículas, el cual puede ser un líquido (gotitas de aceite), pero de ordinario es un sólido cuyas dimensiones varían desde algo menos de 1mm hasta menos de 1 micrómetro. La superficie del material puede ser naturalmente resistente a la humectación, pero de ordinario tiene que ser tratada con diversos reactivos de flotación para producir el grado conveniente de humectabilidad o resistencia a la humectación (1).

En el proceso, el mineral finamente molido (mineral comercial y ganga sin valor) es agitado en el seno de una masa de agua a la que se agrega aire u otro gas. Se adicionan también reactivos, constituidos por sustancias químicas inorgánicas y aceites, los cuales por efectos fisicoquímicos, provocan la adhesión de las partículas de minerales a la película superficial que forman las burbujas de aire producidas en gran cantidad. Estas burbujas de aire recubiertas de partículas minerales, ascienden a la superficie en forma de globos, donde son recuperados a manera de una espuma conocida en términos metalúrgicos como "concentrado". La ganga (el concentrado sin valor) no se adhiere a las burbujas y es descargada como relave, al final de la máquina de flotación (2).

Una característica de la flotación, a diferencia de otros métodos de concentración de minerales, es que la separación se efectúa tomando como base la humectabilidad relativa de las superficies de minerales.

Los factores químicos que han de ser considerados al estudiar la flotación son: la estructura cristalina de los minerales, la estructura y composición del agua, la química de los reactivos de flotación y sus reacciones químicas de superficie con los minerales, así como las asociaciones naturales de éstos (1).

En general, existen dos tipos de flotación : "flotación a granel o masiva" y "flotación selectiva". La flotación masiva se utiliza cuando se desea recuperar en un solo concentrado, todas las especies flotables de un mineral. La flotación selectiva se aplica en la recuperación de especies determinadas de minerales complejos. Una variante de la selectiva es conocida con el nombre de "flotación diferencial", aplicable a minerales que, por sus características físicas principalmente el peso de la especie, no pueden ser flotados y obtenidos en forma de burbujas ascendentes, sino por el contrario, el concentrado de este tipo, se obtiene en los deslaves o colas del proceso (2).

El proceso de flotación constituye hoy en día el más eficiente, más difundido y más complejo de todos los métodos de concentración usados en la industria moderna minero-metalúrgica (2).

Se ha llegado a conocer tres tipos fundamentales de procesos :

a) Flotación a granel con aceites (Bulk oil flotation).
b) Flotación superficial (Skin flotation).
c) Flotación por espumado (Froth flotation).

En la primera, los minerales de lustre metálico son mojados preferentemente por aceite en presencia de agua, para separar la mena y la ganga, puesto que la mena pasa a la interfase entre el agua y el aceite, permaneciendo en ese

medio hasta ser removida y recuperada. En la segunda, la separación entre sulfuros minerales y la ganga, es llevada a cabo en la superficie del agua, o en otras palabras, en la interfase aire-agua. El hecho de que los sulfuros minerales tienden a flotar y la ganga mineral tiende a hundirse, se explica como diferencias en la relativa mojabilidad inherente a esas especies minerales. Los sulfuros minerales mencionados, flotan en agua debido a su resistencia a humedecerse y porque pesan menos que el agua. Por tanto, las superficies metálicas se resisten a humedecerse a un mayor grado que las superficies no metálicas y flotan. En la tercera se utilizaban burbujas de gas como el medio de transporte para llevar partículas minerales cubiertas de aceites a la superficie de la pulpa, donde son colectadas como una espuma consistente de gas, líquido y mineral. Por tanto se deben producir burbujas por generación química, por vacío parcial o por ebullición, por lo que se necesita de una agitación violenta de la pulpa, no debía de excederse del 1% de mena tratada. Esta variante del método es específica de la industria minera no-ferrosa (2).

Formalmente el término flotación era utilizado para cualquier proceso de concentración. Entonces, si alguna partícula era retenida en un recipiente de aceite o en la interfase entre una capa de aceite y una de agua, el proceso era conocido como flotación a granel con aceites. Si las partículas eran retenidas en una superficie de agua como una capa, el proceso era conocido como flotación superficial; y si las partículas eran retenidas en una capa espumosa

de varias pulgadas de ancho, era conocida como flotación por espumado. La flotación por espumado es el proceso que ha sobrevivido durante el tiempo, y el término flotación es ahora utilizado universalmente para describir la flotación por espumado (5).

Principios fisicoquímicos fundamentales de trabajo para la flotación:

a) Mojabilidad.

b) Tensión Superficial.

c) Adsorción.

MOJABILIDAD : Se define en términos generales como la habilidad o tendencia que tienen los materiales a mojarse o cubrirse de un líquido (generalmente de agua). El proceso consiste en formar películas recubridoras con compuestos químicos repelentes, que ataquen a las partículas minerales que se desea flotar, tornándolas hidrófobas, en cuya condición son relativamente flotables. El compuesto repelente más antiguo fue el aceite. Por las características físicas y químicas intrínsecas de los sulfuros, en la actualidad se les considera generales como minerales naturales no-mojables, clasificando bajo las mismas consideraciones a los minerales oxidados, como mojables. Son formadas las interfases que actúan sobre una película de material denominadas: interfase sólido aire, interfase aire líquido e interfase sólido líquido.

Todos los líquidos poseen una energía de superficie libre (energía potencial) en la capa de moléculas colocadas más al exterior y la cual representa su superficie. Esta energía es el resultado de la atracción que existe entre las moléculas que componen el líquido y cuya naturaleza determina sus propiedades físicas. El único líquido que necesita ser considerado en conexión con la flotación es el agua (2).

Al hablar del término de mojabilidad, se debe incluir lo que es el ángulo de contacto designado por la letra griega θ y es aquel comprendido entre la tangente a la interfase aire-agua en su punto de contacto con el sólido, en la superficie del propio sólido.

TENSION SUPERFICIAL: Es la tendencia que muestra la superficie de un líquido a contraerse a un área mínima, esto es, a un nivel mínimo de energía, por lo que todas las moléculas colocadas en la superficie del fluído sufren el efecto de una membrana difícil de romper. Para impedir la fusión o unión de las burbujas en el agua, y para hacer que formen la espuma en la superficie, deberá cubrirse la membrana superficial con algún medio estabilizador, el cual resulta ser un agente espumante. El efecto del espumante, es reducir ligeramente la energía superficial de la interfase aire-agua, y por lo tanto, estabilizar las burbujas.

Las propiedades principales de un agente espumante son: debe ser soluble en agua para que pueda formar parte de la fase líquida, pero sus moléculas deben tener tan poca atracción por el agua, que sean empujadas a la superficie de las burbujas y concentradas o adsorbidas ahí. Los únicos compuestos que satisfacen los requisitos anteriores son aquellos con características heteropolares, es decir, aquellos que poseen propiedades tanto polares como no polares.

Se ha observado que mientras mayor sea el abatimiento de la tensión superficial, los productos concentrados serán más limpios, ya que las partículas adheridas o las burbujas serán las no-mojables. El problema que se presenta si se abate demasiado la tensión superficial, es que las burbujas que se formarán serán grandes y frágiles rompiéndose muy fácilmente al llegar a la superficie. Si el abatimiento de la tensión superficial es muy limitado, el resultado será la creación de burbujas pequeñas, resistentes y con un gran poder de arrastre, lo que acarrea como consecuencia, el aumento en la recuperación del producto, pero con cantidades más bajas por ser estos productos conocidos como "concentrados sucios ". Al primer tipo de espumas descritas se les conoce con el nombre de "espumas inestables", y al segundo tipo se les llama "espumas estables".

ADSORCION : Es la propiedad que poseen algunas sustancias de atraer a un líquido mediante la adherencia de partículas a sus superficies. Esta propiedad

fisicoquímica es ampliamente aprovechada en el proceso de flotación, para el recubrimiento de las partículas en proceso por los agentes químicos que proporcionarán a las mismas, las propiedades de mojabilidad o no-mojabilidad descritas con anterioridad, así como también las características de adherencia a las burbujas que se formarán durante la operación (2).

ACONDICIONAMIENTO: Se refiere fundamentalmente al proceso de preparación química de las partículas contenidas en las pulpas minerales, para su posterior tratamiento en la máquina de flotación. Para el buen funcionamiento del proceso de flotación, es requisito esencial la presencia de un agente colector que recubra las partículas que se desea separar, implicando que algunas de las especies minerales contenidas en la pulpa, estarán sujetas a dicho efecto de recubrimiento, mientras otras no lo estarán, por lo que será función del acondicionamiento el asegurar dicho efecto, o por lo menos, dar los pasos necesarios para lograrlo.

Los tratamientos están divididos en dos: aquel tratamiento dirigido específicamente hacia la obtención y mantenimiento de un efectivo agente colector-recubridor de un determinado mineral, se llamará genéricamente "ACTIVACION", mientras que aquellos encaminados a prevenir la entrada de minerales indeseables dentro del derrame de concentrados se encuentran agrupados bajo el nombre de "DEPRESORES" (2).

ACTIVACION : Para que un recubridor sea útil y cause la adherencia en las burbujas, éste debe ser "orientado", con su molécula final de hidrocarburo fuera de la superficie de la partícula. Para recubrimientos causados por acción química, se hace necesario el uso de una película monomolecular. Pero se puede dar el caso de que se formen películas multimoleculares, que normalmente resultan en una superficie en la cual los elementos polares y no polares se alteran. Estas películas múltiples ocurren en recubrimientos de superficies minerales relativamente solubles, particularmente con pequeños iones colectores. Esto puede remediarse reduciendo la solubilidad de la superficie del mineral limpiando la película gruesa del colector y reduciéndola a una película monomolecular antes de intentar la flotación.

DEPRESION : Es lo contrario de la activación. Comprende los pasos que deberán tomarse para prevenir la flotación de determinadas partículas minerales o grupos de minerales. El efecto de la depresión se aplica tanto para mantener en el fondo de la celda a la ganga, como para evitar la flotación de uno o más minerales normalmente activables por determinado reactivo colector.

Los métodos de depresión son múltiples, pero se agrupan de la siguiente forma:

1. Prevención de activación por sales solubles presentes en la pulpa.

2. Sellado de las superficies contra la reacción colectora.
3. Destrucción o nulificación de las películas recubiertas del colector.
4. Dispersión.
5. Producción de absorción de agua.

Para cada una de estas clases existen en el mercado reactivos específicos que producirán los efectos deseados de acuerdo con el tipo de minerales en tratamiento.

Una de las constantes de tratamiento de la flotación es el tamaño de alimentación. El tamaño de la alimentación de partículas dependerá directamente de los grados de liberación de las partículas comerciales, del poder de arrastre de los reactivos químicos por emplear y del peso especifico del mineral. También está íntimamente relacionada con el tiempo óptimo de molienda (2).

COLECTORES :

Los colectores, también conocidos como promotores, actúan sobre las partículas de mineral proporcionándoles una película no-mojable, teniendo preferencia por una sola especie (2).

El colector es el corazón del proceso de flotación, debido a que produce una película hidrofóbica en la partícula del mineral. Cada molécula colectora contiene un grupo polar y uno no polar. Cuando está adherido a la partícula del mineral, estas películas son orientadas de tal forma que el grupo no polar o hidrocarbónico está extendido hacia afuera. Dicha orientación resulta en la formación de una película de un carbón hidrofóbico en la superficie del mineral. Es evidente que en la ausencia del colector, la burbuja de aire hace un contacto negligente con la superficie del mineral y hace que la flotación sea imposible (6).

a) Colectores para minerales sulfurosos :

Forman una película empleando un aceite constituido por hidrocarburos. Por ejemplo, petróleo crudo, brea de madera o brea creosotada de carbón, etc. Por lo general, el consumo varía entre 0.6 y 1.0 libras de aceite por tonelada de mineral tratado.

Los colectores químicos son compuestos con grupos polares y no-polares de un tipo especial. El grupo no polar consiste de una cadena o cadenas de hidrocarburos, las cuales varían en longitud y en estructura con los diferentes reactivos. El grupo polar corresponde a un radical activo químicamente soluble en agua, el cual, para el caso de los colectores aplicables a sulfuros minerales, usualmente contiene uno o dos átomos de

azufre. Los más comunes y más poderosos colectores o sea los xantatos y los ditiofosfatos (aerofloats) tienen dos átomos de azufre.

Se conoce un hecho concerniente a la adhesión de colectores ; esto es, que el grupo de hidrocarburos está orientado de tal modo que se aleja de la superficie del mineral formado en ella, lo que equivale a una película de hidrocarburo. También, puesto que una larga cadena de hidrocarburos es más repelente al agua que una que es corta, el ángulo de contacto deberá aumentar en tanto aumenta el número de átomos en la cadena (2).

b) Colectores para minerales no sulfurosos :

El colector que es más comúnmente usado para los minerales no metálicos tales como calcita, fluorita, barita, etc., es un ácido graso con el radical carboxílico representando al grupo polar y con una fórmula general R-COOH, en la que "R" es un hidrocarburo de cadena larga. El átomo de hidrógeno puede ser reemplazado por un metal alcalino, por un alcalinoterreo o por algunos metales básicos con la formación de un jabón. El más útil de estos colectores es el ácido oleico. Los ácidos grasos con cadenas comparativamente cortas, no son apropiados porque sus jabones alcalinotérreos son relativamente solubles en agua y no formarían películas repelentes al agua. El oleato de sodio, en común con los jabones de sodio de los ácidos de cadena larga, es considerablemente más soluble en agua que lo

que puede ser el ácido del cual se deriva, y se ioniza más rápidamente . Por tanto, es usual, aunque no siempre necesario, conducir la flotación con ácido oléico en un circuito transformado a alcalino con sosa cáustica o con carbonato de sodio para formar el jabón de sodio. La adición directa de un oleato de sodio no es recomendable por lo común, pues puede producir una espuma voluminosa que es difícil de controlar. En tanto que el ácido oléico es el más común, en general es el más satisfactorio de los ácidos grasos colectores (2).

Una desventaja de los ácidos grasos es que casi siempre es necesario ablandar o suavizar el agua en los circuitos de molienda y flotación, pues cualquier cation existente en la solución que forman jabones insolubles, tales como Ca++, Mg++, y Fe+++, etc., reaccionarían de inmediato con el ácido graso precipitándolo ; la cantidad precipitada se desperdiciaría hasta donde la flotación concierne. Los agentes humectantes se parecen en su forma a los detergentes, excepto que sin una cadena de hidrocarburos más corta, tienen menos tendencia a reunir la grasa bajo la acción de la agitación, transportándola libremente de la superficie a la que está adherida. Las grasas de este modo, queda en lugar revestida con una película continua de grupos polares u orgánicos solubles, los que atrayendo al agua, permiten, en efecto, que la superficie se humedezca (2).

ESPUMANTES :

Los espumantes actúan sobre el líquido de la pulpa, abatiendo poco o mucho la tensión superficial. Los más comúnmente usados en la práctica son el aceite de pino y el ácido cresílico. Ambos llevan una carga polar de hidróxilo y un hidrocarburo cíclico del grupo no polar. Los hidrocarburos son insolubles en agua, pero son emulsionados por los alcoholes durante la agitación que se realiza en el acondicionador o en la celda de flotación, siendo levantados en suspensión. El aceite de pino es un vigoroso espumante no selectivo con cierto poder colector para los sulfuros minerales, los hidrocarburos de terpeno que contiene éste, hace que tiendan a cubrir o a revestir todas las partículas minerales sin diferencia alguna, haciéndolas así que floten en grados variables. El ácido cresílico, por el contrario, produce una espuma frágil con poco poder colector ; sin embargo, la espuma puede endurecerse, mediante la adición de ácidos con más brea, los cuales, aunque prácticamente insolubles en agua, son emulsionados y llevados en suspensión por los creosoles y xilenoles. Todos estos compuestos tienen una estructura cíclica voluminosa, la que aparentemente acrecienta su valor como espumante, al impedir que sus moléculas se compacten demasiado cerca en la superficie de la burbuja. Un compuesto simétrico de cadena lineal o alargada, tendería a arreglar sus moléculas en la interfase agua-aire, para formar una superficie constituida con retazos de capas íntimamente unidas, en lugar de distribuirlas al azar, susceptible de ser más efectiva para la estabilización de las burbujas (2).

Otra clase de espumante de uso común consiste de alcoholes alifáticos secundarios con 6 a 8 átomos de carbono o algunas veces de alcoholes primarios y secundarios mezclados. Un ejemplo típico es el carbinol metil-isobutílico.

Otro tipo de espumante, que se usó y va en aumento en la flotación contiene dos o más grupos solubles alcoxy adheridos en varios puntos a una cadena recta de hidrocarburos. Un reactivo de este tipo que ha dado buen resultado es el triethoxybutano.

La producción de una espuma persistente, de selectividad deseada, es la de mayor importancia para obtener éxito en operaciones de flotación. La acción de espumar consiste en la introducción de pequeñas burbujas de aire en la pulpa de flotación y la recuperación de las burbujas mineralizadas enteras, en la superficie de la pulpa. Esto se realiza por la introducción de un agente espumante en la pulpa. Un buen espumante debe ser capaz de pasar rápidamente a la interfase entre agua y aire. Los espumantes más comúnmente usados son compuestos heteropolares, activadores de superficie, que contienen una parte polar solubilizante que atrae el agua y una parte no polar que atrae el aire. Los compuestos activadores de superficie de este tipo, tienden a ser adsorbidos en las interfases de aire-agua en concentraciones mucho mayor que las existentes dentro de la masa de líquido. En una interfase

de aire-agua, tales espumantes se orientan con el grupo polar hacia el agua y el no polar hacia el aire (2).

Los hidrocarburos no saturados tienden a formar una espuma ligera. Los espumantes solubles en agua, los cuales contienen varios grupos solubilizantes, han tenido, recientemente, un gran éxito en diversas operaciones de flotación, tal como el AEROFORTH 65 Frother.

Los espumantes comúnmente usados en la práctica moderna de flotación, incluyen aceite de pino, ácido cresílico, alcoholes de cadenas largas tales como algunos de los espumantes AEROFROTH y otros similares. Una clase de reactivos, conocida como espesadores de espumas, imparte estabilidad a la espuma en ciertos casos. Las creosotas son típicas de esta clase (2).

MODIFICADORES :

Los modificadores se conocen por su efecto activante y su efecto depresor según sea el caso. En la práctica siempre precederán en su acción al colector.

A algunos minerales no puede obligárseles a que tome una película colectora en su estado natural, pero pueden ser revestidos si su superficie es cambiada a través de una reacción con un reactivo activante especial. La flotación de una clase de mineral con preferencia sobre otro, se conoce con el nombre de "flotación selectiva". Si la segunda clase de mineral es recuperada subsecuentemente, sin contaminación del otro elemento, la operación se describe como una flotación selectiva en dos etapas o pasos.

Una condición floculada de la pulpa puede causar que una cantidad excesiva de ganga flote, contaminando la espuma. La floculacion se corrige mediante la adición de un reactivo dispersante, el cual es muy parecido a un depresor. El dispersante usualmente es un compuesto ionizable, uno de cuyos iones es adsorbido en la superficie de los minerales de ganga, dotándolos de una carga electrostática. En esta condición, ellos se repelen entre si y permanecen dispersos en la pulpa como partículas separadas (2).

Los términos tecnológicos comunes en la flotación se pueden resumir de la siguiente forma:

1. Un colector es el agente activante de superficie (por ejemplo, ácidos grasos, largas cadenas de sulfatos, sulfonatos, aminas) que son agregados a la pulpa de flotación en donde son selectivamente adsorbidos en la superficie del mineral deseado para que éste se vuelva hidrofóbico. Una burbuja de

aire preferencialmente es adherida a estas superficies y concentra el mineral dentro de la espuma formada en la parte superior de la celda.

2. Un espumante es otra vez una agente activante de superficie (por ejemplo, alcoholes de cadena corta, alcoholes aromáticos, óxido de etileno surfactante), agregados a la flotación de la pulpa, principalmente para estabilizar la espuma en la que los minerales hidrofóbicos se encuentran atrapados. Cuando largas cadenas de jabones o aminas son usadas como colectores, puede que no sea necesario su uso.

3. Un activador es un material agregado para promover la selectividad de la adsorción del colector sobre un mineral en particular. Iones metálicos, por ejemplo, pueden activar la superficie aniónica del mineral.

4. Un depresor es un material agregado para prevenir que el colector no adsorba un mineral en particular en la pulpa de flotación. Iones metálicos, por ejemplo, pueden actuar como depresores previniendo la adsorción de surfactantes catiónicos, o en superficies aniónicas, de un mineral en particular. Silicato de sodio puede ser un depresor para minerales que tienden a responder a colectores aniónicos (7).

FLOCULANTES Y DISPERSANTES :

En general, los floculantes sirven para aglomerar las partículas finas en suspensión, para formar partículas más grandes susceptibles de flotar. Las partículas cubiertas por el colector, no necesariamente se adhieren en lo individual a las burbujas en una máquina de flotación. Llegan a estar en contacto entre sí en la pulpa, lo mismo que con las burbujas, y cuando chocan tienden a pegarse, porque las envolturas constituídas por hidrocarburos desarrollan más atracción con otra, que respecto de una a otra con el agua. La formación de grumos, que se efectúa de este modo, recibe la denominación de floculacion.

La fuerza de adhesión que se conserva intacta con los flóculos, es una función de la energía interfacial de las superficies originales cubiertas por el colector. La floculacion no queda sólo confinada a la aglomeración de partículas minerales revestidas con el colector. Ocurre siempre que el agrupamiento de partículas minerales, ya sea de las que forman las rocas o de cualquiera otra, constituye agregados que van acompañados de una reducción en la energía superficial (2).

La resistencia que ofrece el flóculo, depende del descenso de energía consecuente con su formación, el cual determina la persistencia de adhesión de las partículas entre sí. El uso de cal para incitar la floculacion a manera de aumentar la velocidad de asentamiento de una pulpa, es bien conocido en el

sector minero. El alumbre, las sales ferrosas y férricas, etc., se emplean para el mismo objetivo en la industria química. Su acción no se entiende del todo, pero parece ser que el floculante se combina con los iones que ligan o unen la superficie sólida a la fase agua, con la formación de una película relativamente insoluble.

Otra clase de agentes floculantes consiste en gomas polimerizadas, resinas y polímeros sintéticos de composición similar, combinados con grupos que atraen el agua para dar a los compuestos alguna solubilidad. Una intensa floculación puede obtenerse con muy pocas cantidades de estos compuestos (2).

DISPERSANTES :

Los coloides orgánicos, además de ser depresores específicos, son también dispersantes en lo general, o reactivos defloculantes, en especial dextrina, el almidón y el quebracho. Sin embargo, no son muy apropiados para este objeto en flotación, porque están presentes en cantidades mayores que la correspondiente y se depositan sobre todos los sólidos, haciendo imposible que se realice la flotación.

Cuando se requiere la dispersión de la sílice, de minerales silicatados y de óxidos conteniendo hierro, y éstos componen el grueso de los minerales de la ganga en la mayoría de las menas, los dispersantes alcalinos por lo general son más satisfactorios, puesto que son menos críticos en su acción y consecuentemente, más fácilmente controlados. Ellos comprenden : el carbonato de sodio, el silicato de sodio, y la sosa cáustica, que es el más común y puede ser usado al mismo tiempo para regular el pH de la pulpa. La cal no es apropiada por su facilidad para flocular la pulpa. A veces se debe tener una estricta regulación del pH (2).

Debido a que la mayoría de los silicatos metálicos y de los silicatos alcalinoterreos son insolubles en agua, el silicato de sodio no deberá ser usado en un circuito conteniendo cualquier cantidad grande de sales solubles de hierro, calcio, magnesio, etc., algunas de las cuales, o bien todas ellas, se encuentran casi siempre en la pulpa acuosa después de la molienda. Sin embargo, el completo ablandamiento del agua del circuito, por lo común no es necesario, pues la mayoría de los cationes que se interponen, pueden ser precipitados por el carbonato de sodio o por el hidróxido. La combinación es más barata que el silicato usado solo, o que la mezcla con sosa cáustica, siendo más crítico el control del pH. También es capaz de dispersar la pulpa sin interferir con la flotación de los minerales revestidos por el colector.

PREPARACION DE LA FLOTACION :

Para preparar la pulpa para flotación, ciertas condiciones son necesarias de satisfacer si la acción de los reactivos debe ser efectiva. En primer lugar es fundamental que la mena se humedezca convenientemente.

Los reactivos secos deberán almacenarse y manejarse sobre piso o plataforma colocada un poco más alta que el piso de preparación de reactivos, pues este último tiene que ser lavado periódicamente con mangueras y agua, y puede encontrarse húmedo durante gran parte del día.

Los reactivos que son sólidos estables, tales como la cal y el carbonato de sodio pueden ser alimentados al circuito, en forma sólida. El aparato usualmente empleado consiste en una banda transportadora (2).

Los reactivos que se descomponen en el aire, aquéllos que sólo se necesitan en cantidades pequeñas y los reactivos líquidos, usualmente se alimentan al circuito en formas de soluciones o en forma líquida, empleando para ello alimentadores de copa o de artesa.

La flotación generalmente se lleva a cabo en una pulpa alcalina, aunque en algunos casos pueden usarse pulpas ligeramente ácidas. Los xantatos

tienden a descomponerse en soluciones con un pH inferior a 6.0. Los floculantes no iónicos son efectivos en la mayoría de los sólidos.

La aplicación especifica más difundida que tienen los floculantes, es en las operaciones de lixiviación, donde crean algunas de las separaciones de líquidos y sólidos más difíciles con que se tropieza la industria minero-metalúrgica (2).

El hierro es, después del aluminio, el elemento metálico más abundante, aunque es raro en su forma pura. Hay centenas de especies minerales de las que el hierro es un componente normal. Los minerales que contienen hierro se presentan en formas de óxidos, carbonatos, silicatos y sulfuros. La magnetita y la hematita son óxidos de hierro; la pirita y la marcasita son sulfuros ; la siderita es el carbonato, etc. La magnetita, (Fe_3O_4), y la hematita (Fe_2O_3) son las menas principales de hierro del continente americano (1).

En Guatemala, el mineral de hierro puede ser extraído de la hematita, es decir, que se encuentra con una mezcla de silicato (SiO_2). La fuente de donde este mineral de hierro (hematita) puede ser extraído, está en el departamento de Chiquimula. La hematita está presente como dos clases de minerales : una compuesta por 77.78% de Fe_2O_3 y 22.22% de SiO_2, la cual es de color amarillo, y la segunda es de 71.85% de Fe_2O_3 y 28.15% de SiO_2, de color rojo.

El oxido férrico, en forma de hematita, es el principal mineral de hierro. Puede prepararse sintéticamente por oxidación de disulfuro ferroso, por calcinación de hidróxido férrico, de sulfato ferroso u otras sales de hierro y por electrólisis de una solución de sulfato sódico en una celda de diafragma con ánodo de hierro dulce. El uso al que se destina el óxido determina el método de fabricación. Por ejemplo : la calcinación de sulfato ferroso da un óxido de color rojo anaranjado ("rojo de joyeros") a temperaturas inferiores a 650ºC ; entre 600º y 1000ºC. da un polvo de color pardo rojizo, y por encima de 1000ºC se obtiene levigando hematitas molidas. El óxido férrico amarillo (pigmento) se hace por precipitación de hidróxido ferroso con cal o sosa cáustica, seguida de oxidación en el aire. Contiene de 2 a 12% de sulfato de calcio y 12 % de agua combinada. La extremada variación en el color y aspecto de las diversas calidades de este óxido se debe a diferencias en el tamaño, la forma de las partículas componentes y a la cantidad de agua combinada (1).

El óxido férrico se usa mucho como pigmento para el caucho, pinturas, en el papel, en el linóleo y la cerámica. La pintura de óxido rojo se usa mucho en los cascos de los buques y otras construcciones de hierro. El óxido de mejor calidad se usa para pulir vidrios, metales preciosos y diamantes. Las diversas calidades comerciales se diferencian en el contenido de óxido de hierro, el color y propiedades (1).

diversas calidades comerciales se diferencian en el contenido de óxido de hierro, el color y propiedades (1).

Para realizar la flotación, se requiere de una celda electrolítica. En el Departamento de Investigación Minera, en el Ministerio de Energía y Minas, tiene una unidad de flotación desmontada, que consta de ocho celdas en la cual se puede llevar a cabo la flotación.

III. JUSTIFICACION

El hierro es un mineral que se encuentra en la naturaleza, sin embargo, no lo hace en una forma pura, sino que se encuentra formando distintos compuestos con otros elementos, como lo puede ser el cobre, silicio, etc.

Existe en Guatemala una fuente de un mineral llamado "hematita", el que está compuesto por Fe_2O_3 y SiO_2 en dos distintas composiciones. La primera contiene 77.78% de Fe_2O_3 y 22.22% de SiO_2, la cual es de color amarillo, y la segunda es de 71.85% de Fe_2O_3 y 28.15% de SiO_2, de color rojo.

El hierro y los minerales de hierro son utilizados en muchas partes para formar compuestos de gran utilización, sobre todo en la industria metalúrgica, por lo que se busca que éste contenga la menor cantidad de impurezas.

Uno de los métodos de purificación , con el que se alcanza hasta un 98% de pureza, es el de la flotación. En el presente proyecto se quiere llegar a este grado de purificación para que el Fe_2O_3 que se obtenga, sea utilizado como materia prima para preparar sulfato de hierro y como reactivo en procesos para fabricar floculantes.

Para llevar a cabo una flotación adecuada, se requiere utilizar los reactivos que mejor se apliquen al mineral a separar. Por tanto, es importante determinar cuáles reactivos serán los más apropiados para separar el óxido férrico de las muestras de hemtatita.

Al emplear el método de flotación, debe utilizarse una celda en la que se lleva a cabo la separación del Fe_2O_3 del SiO_2, por lo que se instalará una maquina de flotación, con ocho celdas, propiedad del Ministerio de Energía y Minas, el que saldrá beneficiado, pues podrá proporcionar este servicio a personas que tengan interés de utilizarlo.

IV. OBJETIVOS

A) General:

Purificar los minerales de hierro presentes en dos diferentes muestras de hematita por medio del método de flotación. Para ello se deben seleccionar los reactivos adecuados para flotar los minerales de hierro y utilizar una celda de flotación propiedad del Ministerio de Energía y Minas.

B) Específicos :

1) Purificar los minerales de hierro presentes en una muestra de hematita color amarillo y en otra muestra de color rojo.

2) Determinar los reactivos más adecuados para realizar el proceso de purificación, por medio de una flotación.

3) Diseñar las condiciones de operación de la celda que se utilizará para realizar el proyecto.

4) Instalar una celda de flotación, propiedad del Ministerio de Energía y Minas, que actualmente está desmontada, en donde serán realizadas las purificaciones.

V. PROBLEMA A RESOLVER

En Guatemala se posee una mina de hematita en el departamento de Chiquimula, de la cual pueden extraerse minerales de hierro, ya que no está siendo explotada. En este y otros países, se requiere del óxido férrico, en un grado de pureza del 98% para ser utilizado de diferentes formas. Por ejemplo, la empresa Sales, Acidos y Solventes, S.A., necesita de éste para producir sulfato de hierro y para utilizarlo como reactivo en el proceso de fabricación de floculantes. No se tiene un método de purificación para separar los minerales de hierro (y otros minerales) a un alto grado como el requerido.

V. METODOLOGIA

- Instalación de la máquina de flotación en el Ministerio de Energía y Minas.
    - Limpieza de todas las partes de la máquina de flotación.
    - Montado de la celda, repulper, acondicionador y bombas.
    - Conexión al panel de operación.
    - Chequeo de mangueras y fajas de las bombas.
    - Agregar los lubricantes que hagan falta.
    - Corrida con agua para comprobar funcionamiento.

- Determinación de los reactivos que serán utilizados en la flotación de los minerales de hierro :
    - Hacer referencia a datos extraídos de las patentes.
    - Hacer referencia a datos obtenidos de la bibliografía.
    - Concordar los reactivos obtenidos de las patentes y de las tablas encontradas en la bibliografía.
    - Realizar selección de reactivos posibles.
    - Análisis económico de los reactivos escogidos.
    - Determinar los reactivos más convenientes para la flotación de los minerales de hierro.

- Diseño de las condiciones a utilizarse en la flotación de los minerales de hierro a partir de la hematita :

    - Hacer referencia a datos obtenidos de la bibliografía.
    - Hacer referencia a procesos similares.
    - Hacer referencia a datos extraídos de las patentes.
    - Concordar las referencias con el funcionamiento real de la máquina de flotación.

- Experimentación :

    - Encendido de la máquina de flotación.
    - Preparación de reactivos escogidos en actividad anterior.
    - Buscar las condiciones encontradas en la actividad anterior.
    - Realización del experimento.
    - Equipo :
        - Máquina de flotación:
            - Tipo : F.W. con backgate.
            - Volumen : volumen efectivo de celda 1,000 ml/celda (8 celdas).
            - Motor : 150W, 100V.

- Propulsor : diámetro 50mm, tipo RD. Velocidad alrededor de 1200, 1500, 2000 rpm.
- Rompedora de espuma : 400W, 100V. Velocidad 18 - 28 rpm, tipo variable.
- Fuente de poder : 115V, 50/60Hz, 2A.

- Acondicionador:
  - Tipo: Denver.
  - Volumen: 3 litros.
  - Motor: 90W, 100W.
  - Propulsor: diámetro 159mm. X 200mm.
  - Fuente de poder: 100V, 2A.

- Repulper:
  - Volumen: volumen efectivo 30 litros.
  - Tamaño de tanque: 380mm. X 250mm.
  - Propulsor: diámetro 100mm, velocidad 157 - 750 rpm., tipo variable.
  - Fuente de poder: 100V, 2A.

- Aparato para eliminar la espuma:

- Tipo spray.
- 5 boquillas dispersoras.
- Componentes: 1 compresor y 1 bomba roller.
- Material: tubo inoxidable, boquillas de acero.
- Fuente de energía: 100V, 3A.

- Panel de operación:
  - Dimensiones de la unidad: 500 x 200 x 600 mm.
  - Fuente de energía: 115V, 60Hz, 30 A.

VII. RESULTADOS

Tabla 1. Proporciones de los reactivos utilizados para flotar la muestra de Hematita A, color amarillo.

Muestra	Hematita (g)	Auga desmineralizada (ml)	Acido Isosteárico (ml)	Alcohol Caprílico (ml)	Hidróxido de Sodio (ml)
1.1	150	850	0.280	-	0.35
1.2	150	850	0.280	-	0.35
2.1	150	850	0.215	-	0.30
2.2	150	850	0.215	-	0.30
3.1	150	850	0.160	-	0.25
3.2	150	850	0.160	-	0.25
4.1	150	850	0.280	0.2	0.35
4.2	150	850	0.280	0.2	0.35
5.1	150	850	0.215	0.2	0.30
5.2	150	850	0.215	0.2	0.30
6.1	150	850	0.160	0.2	0.25
6.2	150	850	0.160	0.2	0.25

Tabla 2. Proporciones de los reactivos utilizados para flotar la muestra de Hematita B, color rojo.

Muestra	Hematita (g)	Auga desmineralizada (ml)	Acido Isosteárico (ml)	Alcohol Caprílico (ml)	Hidróxido de Sodio (ml)
1.1	150	850	0.280	-	0.35
1.2	150	850	0.280	-	0.35
2.1	150	850	0.215	-	0.30
2.2	150	850	0.215	-	0.30
3.1	150	850	0.160	-	0.25
3.2	150	850	0.160	-	0.25
4.1	150	850	0.280	0.2	0.35
4.2	150	850	0.280	0.2	0.35
5.1	150	850	0.215	0.2	0.30
5.2	150	850	0.215	0.2	0.30
6.1	150	850	0.160	0.2	0.25
6.2	150	850	0.160	0.2	0.25

Tabla 3. pH de las soluciones en las que se flotaron los minerales de hierro de las muestras de hematita A.

	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2
pH	9	9	10	10	10	9	9	10	8	9	10	9

Tabla 4. pH de las soluciones en las que se flotaron los minerales de hierro de las muestras de hematita B.

	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2
pH	9	9	9	9	9	10	9	10	10	10	9	9

Tabla 5. Porcentaje de óxido de hierro presente en las muestras A, de Hematita color amarillo, después de la flotación.

Muestra	Fe_2O_3 %	Muestra	Fe_2O_3 %
1.1	62.25	1.2	61.50
2.1	71.04	2.2	64.16
3.1	66.39	3.2	64.60
4.1	63.62	4.2	61.86
5.1	68.12	5.2	67.73
6.1	65.19	6.2	66.12

Tabla 6. Porcentaje de óxido de hierro presente en las muestras B, de Hematita color rojo, después de la flotación.

Muestra	Fe_2O_3 %	Muestra	Fe_2O_3 %
1.1	65.25	1.2	67.01
2.1	70.05	2.2	69.80
3.1	66.32	3.2	65.95
4.1	65.65	4.2	65.16
5.1	61.25	5.2	62.75
6.1	67.24	6.2	66.93

VIII. DISCUSION DE RESULTADOS

La primera parte de este proyecto fue encontrar los reactivos que mejor se adaptaron a los propósitos del mismo. El agente de flotación, ácido isosteárico, fue seleccionado en base a la patente No. 4,301,973, de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos de América (9). El espumante o frother fue seleccionado de acuerdo a la patente No. 4,529,507, de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos (10).

Los reactivos restantes fueron derivados de obtener las condiciones necesarias para que la flotación de los minerales de hierro fuera la óptima del proceso. Por tal razón, se utilizó agua desmineralizada como solvente de la solución, para que se tuviera la menor cantidad de impurezas dentro de ésta. El hidróxido de sodio fue seleccionado para llevar a la solución a un pH básico (2), siendo éste el más fácil y económico de conseguir a través de la empresa Sales Acidos y Solventes, S.A., quienes lo utilizan en su planta con uso similar.

Los nombres comerciales de los dos primeros reactivos mencionados, son ácido isosteárico Century 1105 y alcohol caprílico, 2-octanol, fueron buscados en diferentes empresas y conseguidos finalmente a través de Union Camp Corporation, situada en México, como una división de Union Camp

Corporation, Chemical Products Divison, Ga., U.S.A. Propiedades y características de cada uno de estos reactivos se encuentran en el anexo al final del trabajo.

De acuerdo con las cantidades adquiridas de los distintos reactivos, se hizo un plan para la apropiada experimentación; debido a que las cantidades eran bastante pequeñas, el procedimiento más adecuado a seguir fue el presentado en la tabla 1, logrando un equilibrio entre los distintos reactivos y las cantidades que se requerían de cada uno de ellos, estableciéndose el proceso óptimo de flotación de los minerales de hierro.

Uno de los reactivos que no fue afectado por las pequeñas cantidades de reactivos que se utilizaron, fue el agua desmineralizada, la cual es de muy fácil adquisición y de un precio bastante bajo. Esta se agregó en cantidades necesarias a la pulpa con la que se realizó, hasta alcanzar el límite máximo de la celda de flotación, con el propósito de que el removedor de espuma (skimmer) pudiera sacar la espuma presente en la superficie del líquido, lo cual es el objeto de interés a obtener en el proceso de flotación.

En este tipo de purificación, como fue mencionado en los antecedentes, es necesario llevar a su punto óptimo el proceso de flotación, para que los

minerales de hierro puedan ser recuperados en un alto porcentaje, el cual es uno de los objetivos del presente proyecto.

Para alcanzar este punto en el proceso de flotación, fue necesario controlar ciertas variables: la principal de ellas fue el pH de la solución, el cual debe estar en un rango alcalino, siendo el rango más eficiente el que se encuentra entre 7.1 y 10, que son los óptimos para la flotación del óxido de hierro según Ralph Lai (9).

De acuerdo con los resultados, se pudo controlar muy bien el pH de las soluciones no variándolo del rango mencionado, como se puede observar en las tablas 3 y 4, quedando así justificada la utilización de las cantidades correctas de hidróxido de sodio adicionadas en la solución para controlar el pH de la misma, como en esta situación se observa que se debe tener una estricta regulación del pH, al igual que éste pudo haber actuado como un dispersante (2).

El experimento fue diseñado para conocer la capacidad del ácido isosteárico como agente de flotación, y la capcidad del alcohol como agente espumante, lo cual es la razón por la cual las muestras del número 1 al número 3 no contenían alcohol caprílico, y en las muestras del 4 al 6, se comprobaría el efecto del espumante, para obtener el proceso adecuado.

De la tabla número 5 y 6 de las diferentes muestras de hematitas, se infirió que el porcentaje recuperado del óxido de hierro fue muy parecido, aunque en las muestras de la 1 a la 3 el porcentaje fue mayor que en el de la 4 a la 6, con lo que se puede decir que el ácido isosteárico actuando sin un espumante tiene un porcentaje de recuperación más alto.

El alcohol caprílico, por su parte, como agente espumante, hizo que se creara una mayor cantidad de espuma al realizar la flotación, por lo que si se habla en términos de cantidad recuperada, aunque con un 2% menos de pureza, el producto recuperado fue mayor. Este también formó una espuma inestable y masiva, en lugar de una flotación selectiva, creándose burbujas grandes y frágiles que se rompían fácilmente al llegar a la superficie, por una tensión superficial bastante baja, con lo cual el porcentaje de recuperación de óxido de hierro más puro fue menor, lo cual es corroborado con lo esperado según Taggar (2).

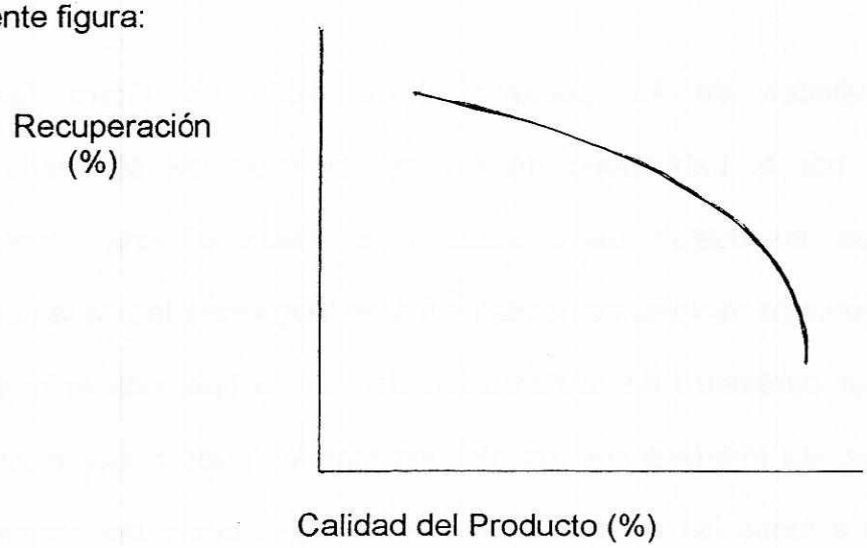
Por lo contrario el ácido isosteárico formó una espuma estable, debido a un abatimiento de la tensión superficial muy limitado, creando burbujas pequeñas, resistentes y con poder de arrastre mayor como lo dice Taggar (2), obteniendo sólamente un 2% de pureza mayor, a pesar del control de las burbujas.

Las condiciones para obtener un proceso de flotación óptimo, como se explicó anteriormente, habían sido alcanzadas unas y otras no se comportaron como se esperaba. El resultado fue la obtención de purezas similares a las que contenían las muestras de hematita antes de ser tratadas, incluso más bajas que éstas en ciertos casos.

Los resultados de los porcentajes de óxido de hierro fueron proporcionados por el Laboratorio de Análisis Químico del Ministerio de Energía y Minas, los cuales fueron tratados por medio de una adsorción atómica. Las muestras iniciales de hemtatita fueron luego tratadas de la misma forma para tener parámetro de comparación del mismo tipo, con lo que se puede decir que, las interferencias de algunos metales pudo haber existido, pero afectando a todas las muestras tanto las iniciales como las obtenidas después de la flotación.

El proceso diseñado para la flotación de minerales de hierro, con las condiciones especificadas, es decir, el uso del ácido isosteárico (9) y el alcohol caprílico (10) juntos, no fue el esperado, no obteniéndose el porcentaje tan alto que se pretendía. El ácido isosteárico al trabajar sólo, obtuvo resultados similares a los presentados por Lai (9) en el tratamiento de la llamada taconita, y el tratamiento con alcohol caprílico no tuvo el efecto de espumante esperado. La utilización del alcohol caprílico para controlar y obtener una espuma

adecuada provocada por el ácido isosteárico no funcionó como se esperaba, el experimento del cual se obtuvo la información, trabajaba una muestra de mineral llamado martita-goetita, el cual tiene un porcentaje de óxido de hierro inicial menor que la hematita, y el grado de recuperación disminuye con el aumento del porcentaje de óxido que se tenga como se puede observar en la siguiente figura:



Relación General entre Recuperación y Calidad

obtenida de Bull et. al. (10), en donde la hematita probablemente se encuentre con un porcentaje más alto que el mostrado, no brindando los resultados esperados.

El ácido isosteárico y el alcohol caprílico cumplieron con su función de provocar la flotación de los minerales de hierro y hacer mayor espuma, aunque inestable, en las que serían recobrados, pero los porcentajes que estos produjeron, ya sea juntos o separados, no fue la esperada, sobre todo en la

muestra amarilla de hematita, la cual al inicio tenía un porcentaje de óxido de hierro mayor al del que se obtuvo después de la flotación. Diferente fue el caso de la muestra de hematita color rojo, la cual obtuvo el mismo porcentaje de hierro que antes de ser tratada. Con ésto se puede inferir que estos reactivos solamente recuperan una cierta cantidad de los minerales de acuerdo a su capacidad como agente de flotación y como agente espumante.

El proceso de flotación depende de varios principios fisicoquímicos, uno de ellos, la mojabilidad, para que se formen películas recubridoras con compuestos químicos repelentes, que ataquen a las partículas minerales que se desea flotar (2), de tal manera, que el ácido isosteárico no tenga muchas colisiones y ataquen de una manera muy eficiente a las moléculas de óxido de hierro, sin formarse las burbujas, por tanto no flotadas en la espuma y no recogidas como producto final, al afectar el grado conveniente de humectabilidad necesario para la formación de espuma (1) y afectando también el porcentaje de recuperación.

En la unidad de flotación, en el acondicionador, a pesar de su continuo movimiento, la hematita por su difícil manejo, se asentaba en el fondo, lo cual puede afectar de la forma explicada anteriormente. También se pudieran dar pérdidas en el transpaso de la pulpa acondicionada a la celda de flotación, encontrándose residuos en las tuberías que conectan ambos equipos.

Las partículas de las muestras de hematita, no tenían un tamaño uniforme, sino que era un poco variable, pero siempre dentro del límite (9); hay partículas que son más pequeñas de las requeridas para que haya una buena adsorción y formación de espuma, por lo que el ácido isosteárico no pudo adherirse a las partículas de óxido de hierro de este tamaño, sin flotar y afectando también el porcentaje de recuperación.

La hematita utilizada, es un material muy difícil de manejar, debido a que se necesita un tamaño de partícula determinado para este tipo de proceso. Los cristales de hematita por su forma, no son totalmente adecuados para alcanzar la mojabilidad requerida y se realice la flotación; por lo que no es suficiente utilizar técnicas de flotación directa, produciéndose perdidas en los lodos al realizarse la flotación. Por la misma razón, puede que para este tipo de material sea necesario un pre-tratamiento para que los minerales puedan ser aptos para dicho proceso. Podría emplearse un buen cernimiento del material a utilizar, previo a la flotación de los materiales. Un proceso similar en la flotación de minerales de hierro por colectores aniónicos (13) recomienda procesos de acondicionamiento anterior a la flotación y concentración por gravedad y otras etapas de flotación después de la flotación principal.

Por la razón anteriormente mencionada, que los cristales de la hematita utilizados no trabajaron como se queria, el alcohol caprílico no funcionó como

Por la razón anteriormente mencionada, que los cristales de la hematita utilizados no trabajaron como se queria, el alcohol caprílico no funcionó como se esperaba, es decir, debido a que las moléculas pudieran haber estado muy apretadas o juntas en la superficie de las burbujas, impidiendo una flotación adecuada del material deseado (Fe_2O_3).

Otra de las razones por la cual el proceso de flotación no fue llevado a cabo como se esperaba, es porque de acuerdo con las razones mencionadas anteriormente, la hematita hubiese necesitado de más reactivos, tales como depresores, promotores, agentes activadores y modificadores de flotación, espumantes, etc., para que con ellos existiese una flotación óptima de la hematita y no solamente utilizar el ácido isostéarico como es mencionado por Lai en (9) al haberse hecho una similitud y estar tratando con el mineral taconita, el cual tiene propiedades distintas a la hematita.

Si fueran a ser utilizados reactivos para llevar a cabo la dispersión de la sílice (para impedir la activación de la misma), los dispersantes alcalinos por lo general son mas satisfactorios, puesto que son menos críticos en su acción y consecuentemente más fácilmente controlados. Debido a que la mayoria de los silicatos metálicos y de los silicatos alcalinotérreos son insolubles en agua, el silicato de sodio no deberá ser usado en un circuito conteniendo cualquier cantidad grande de sales solubles de hierro, calcio, etc. (9)

También puede utilizarse alguna otra combinación de reactivos, cambiando el alcohol caprílico, el cual fue el espumante empleado, por otros que desempeñen la misma función.

Dentro de estas combinacioanes de reactivos, con la cuales se pudieran llevar a cabo la flotación de los minerales de hierro (Fe_2O_3) se pueden mencionar los siguientes reactivos para experimentar la flotación: como colectores catiónicos, algún tipo de Emcol, el cual es fabricado por Emulsol (1). Los promotores que se utilizan frecuentemente para la flotación de menas no metálicas, no sulfurosas y ácidos metálicos, incluyen los promotores de la serie 700 y otros promotores del tipo ácido graso, los promotores de la serie 800, los cuales son promotores aniónicos, desarrollados para llenar la necesidad existente de colectar mineral ferroso al tratar por flotación menas de hierro de baja ley; y promotores catiónicos como el promotor Aeromine 3037 (5).

Para una mayor descripción de reactivos de flotación de minerales de hierro, es bastante útil mencionara varios ejemplos de operaciones típicas que ilustren las condiciones generalmente aplicables a materiales parecidos. Como referencia a estos procesos similares de flotación de presenta el de eliminación de impurezas de concentrados de minerales de hierro (11), en el cual se mencionan reactivos como lo son ácidos grasos saponificados o no

saponificados empleados como agentes de flotación, y un depresor de sílice como es el ácido sulfúrico. Otro proceso similar es el del beneficio de minerales de hierro (14) en el cual se sugieren reactivos aniónicos obtenidos de la sulfonización de los hidrocarbonos del petróleo igual que los ácidos verdes, solubles en agua, obtenidos del fraccionamiento del petróleo y otros agentes sulfonantes. También se mencionan los ácidos grasos como colectores (15) usados con minerales oxidados, y eter-aminas como colectores catiónicos. También puede utilizarse la depresión de la sílice con el uso de compuestos conteniendo un grupo hidroxi como alcanolamina (17). Suelen utilizarse colectores derivados del isonilalcohol para la flotación de la sílice de minerales de hierro (19). Un proceso de flotación con espuma para la separación de la sílice, incluye el uso de colectores aniónicos y catiónicos en presencia de un ion activante de la sílice (20).

Un proceso similar a la flotación de la sílice, que puede servir de referencia para la flotación selectiva de la misma, y si ésta se encuentra activada, es la utilización de colectores como algún tipo de aminas y como modificadores HF (18).

Independientemente de los reactivos que fueran a ser utilizados en un proceso de flotación, se hace necesario deslamar cuidadosamente la alimentación a la flotación para obtener mejores resultados metalúrgicos y consumo mínimo de reactivos (5).

Otra parte importante de la flotación es la preparación de la pulpa y de las condiciones necesarias para que se lleva a cabo un proceso de flotación óptimo. Debe notarse que es importante que la mena se humedezca convenientemente, llevando a cabo la parte final de la molienda en agua. Los reactivos que son sólidos estables, pueden ser alimentados al circuito en forma sólida; y los reactivos que se descomponen en el aire, aquellos que sólo se necesitan en pequeñas cantidad, y los reactivos líquidos, usualmente se alimentan al circuito en formas de soluciones o en forma líquida para su mejor desempeño. El pH de la pulpa a utilizar, también juega un papel importante para la flotación, el cual por lo general es alcalino, aunque en algunos casos pueden usarse pulpas ligeramente ácidas (5). Un caso de éstos se puede observar cuando se utilizan promotores como el AERO 899R, aceite de gasolina pesado y ácido sulfúrico como reactivos, el pH varia en rangos ácidos entre 3 y 5 (23).

No puede dejar de mencionarse que el equipo utilizado para este proceso pudo haber inferido en la realización del mismo, debido a que la celda y el acondicionador eran pequeños; afectando el desempeño de los reactivos utilizados, ya sea porque fueron agregados en cantidades pequeñas o para que las condiciones de operación fueran aptas para la flotación de los minerales deseados. Otras variables como es el tamaño de alimentación, fuerzas intermoleculares, velocidad de reacción, etc., pudieron haber sido

afectadas por igual. Este planteamiento expuesto está basado en que las máquinas de flotación son proyectadas con el propósito de obtener máximas probabilidades de contacto entre partícula y burbuja, con un costo mínimo de separación máxima. Para conseguir estas finalidades tan opuestas se ha construido una gran variedad de máquinas. Las celdas de flotación con espuma han sido clasificadas por Gaudin, según la manera de introducir el gas, en la siguiente forma: 1) celdas de agitación en que se aspira el aire por medio de un remolino producido por un impulsor giratorio; 2) celdas de subaireación en que se introduce el aire por succión o soplando en la base de un impulsor giratorio; 3) celdas de cascada en que se introduce el aire volteando la pulpa; 4) celdas neumáticas en que se introduce directamente el aire. Los factores variables comunes durante la operación don la altura de la pulpa en la celda y el grado de ventilación. Cuando ésta baja, la pulpa es más profunda que la capa de espuma, lo que de ordinario da por resultado un rebose de espuma más limpia. La aireación más intensa puede ofrecer más probabilidades de contacto entre partícula y burbuja, pero también es posible que de resultas de ellos el concentrado contenga más impurezas indeseables (1).

Se han podido realizar procesos de flotación selectiva de hematita, tratado con la máquina Dever "Sub-A" en la cual depósitos de ley bajan conteniendo este mineral (Fe_2O_3) como el mineral de hierro más importante en un 25% Fe, ha producido concentrados que tiene promedio mayores al 62% Fe

y menor de 9% en sílice, empleándose las condiciones adecuadas durante el proceso (22).

Por otro lado, se pueden interpretar las tablas de resultados de forma que la flotación adecuada para separar estos tipos de minerales sea un proceso de flotación depresiva. Debido a que el mineral de interés suele ser el que se encuentra en menor concentración en el mineral de alimentación observándose que la ley es bastante alta, mayor a un 50%, y siendo la impureza en mayor cantidad la sílice, se puede tratarlo como si fuera el de interés. Es por eso que en este tipo de procesos, el material de interés pasaría a recogerse en las colas, siendo éste el material hidrofílico, y las impurezas serían los materiales hidrofóbicos recogidos en la espuma formada durante la flotación. De esta forma el óxido de hierro sería recogido en las colas, y la sílice sería la flotada en la espuma (5).

Según la patente No. US 5,124,028, la sílice y ganga silícea son separadas de minerales de valor, particularmente de hierro y fosfatos por flotación inversa en la presencia de colectores de amina y cantidades efectivas de alcanol-aminas como diatanol amina.

El proceso para el tratamiento de una flotación mejorada, de minerales de hierro por medio de una floculación selectiva (12), trata de explicar el

proceso anteriormente expuesto, utilizando especialmente una flotación aniónica de sílice, obteniendo muy buenos resultados, en lugar de flotar directamente el mineral de hierro. Estos procesos por lo general requieren un previo cernimiento de la hematita. Pueden utilizarse dispersantes como hidróxido de sodio, y floculantes selectivos de minerales de hierro en preferencia a la sílice como lo son fluor tapioca, escarcha de papa y otros fluors, escarchas naturales o modificadas, o poliacrilamidas, que tengan las propiedades de floculantes. Pueden utilizarse colectores catiónicos o aniónicos, pudiéndose obtener mejores resultados con los colectores aniónicos.

Un uso bastante importante de los promotores catiónicos es su utilización en la flotación de sílice, y en casos en los que se desea la flotación de arena silícea, se emplea el uso combinado de los promotores Aero 801 y 825 para lograr mejor control de espuma, mayor eficiencia y el menor costo posible de reactivos. Existen casos donde son utilizadas Aminas 220 para la flotación de la sílice. Los espumantes como el Aerofroth 70 del tipo de alcohol de 6 carbonos en cadenas laterales , es utilizado mucho como espumante en la flotación de minerales nometálicos, produciendo una espuma más selectiva. Puede tomarse en consideración el empleo de fosfatos en la flotación de menas lamosas, especialmente en aquellas que contiene lamas de óxido de hierro que interfieren en la flotación. De los reactivos mencionados, sólo son

algunos de los existentes en el mercado, pero existen otros similares elaboradas por diferentes productores nombrados bajo cada laboratorio productor (5).

IX. CONCLUSIONES

1. Los reactivos encontrados para realizar la flotación fueron el ácido isosteárico como agente de flotación, el alcohol caprílico como espumante y el hidróxido de sodio como regulador del pH de la solución.

2. El pH se tiene que mantener en un rango alcalino de 7.1 a 10 para que exista una flotación adecuada de los minerales de hierro.

3. Con las muestras de hematita color amarillo, el óxido de hierro se obtuvo con pureza del 71.04%, porcentaje más alto alcanzado, utilizando ácido isosteárico e hidróxido de sodio como reactivos.

4. Con las muestras de hematita color amarillo, el óxido de hierro se obtuvo con pureza del 68.12%, porcentaje más alto alcanzado, utilizando ácido isosteárico, alcohol caprílico e hidróxido de sodio.

5. Con las muestras de hematita color rojo, el óxido de hierro se obtuvo con pureza del 71.04%, porcentaje más alto alcanzado, utilizando solamente ácido isosteárico e hidróxido de sodio como reactivos.

6. Con las muestras de hematita color rojo, el óxido de hierro se obtuvo con una pureza del 67.24%,porcentaje más alto alcanzado, utilizando ácido isosteárico, alcohol caprílico e hidróxido de sodio.

7. Con el uso de estos reactivos para la flotación, no se alcanzó el porcentaje de pureza esperado, que era del 98%.

8. El Ministerio de Energía y Minas tiene ahora a su disposición una unidad de flotación en la cual la iniciativa privada, al igual que el público en general, pueden realizar prácticas experimentales, con una guía escrita para su adecuada utilización.

9. La hematita es un material muy difícil de manejar, debido a la forma de sus cristales y también por tamaño de partícula, los cuales son necesarios para este tipo de proceso.

10. El método de flotación utilizado como un proceso de separación de minerales, trabaja mejor en cuanto menos impuro sea el material inicial.

11. La uniformidad del tamaño de partículas, juega un papel muy importante para el proceso de flotación de minerales.

12. La flotación de la hematita podría llegar a realizarse por una flotación inversa o depresiva, siendo la sílice, el material a flotar.

X. RECOMENDACIONES

Si se desea un control mayor de la espuma formada durante el proceso de flotación, en donde se recoge el producto de interés, podría agregarse un espesador de espuma.

Si es necesario utilizar empresas extranjeras para la adquisición de los reactivos, es mejor si se utilizan México y países latinoamericanos como proveedores.

Se recomienda tener mucho cuidado con el manejo y control del pH, al igual que los reactivos que lo regulan en la solución para llevar a cabo una flotación óptima de los minerales.

Otros métodos adecuados para la concentración de minerales de hierro es la separación magnética, pudiéndose comparar más que todo en términos económicos de acuerdo a su propósito. Un diagrama de flujo para ejemplificar el proceso es presentado en el anexo 5. Se tiene como ejemplo el separador Jones que trata menas de hematita en Brasil (ver anexo 6).

XI. BIBLIOGRAFIA

(1) Raymond, K. & D. Othmer. 1962. ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA. Tomo VIII. Editorial Hispanoamericana. 1a. edición en español. México (180-232).

(2) Taggar, A. 1954. HANDBOOK OF MINERAL DRESSING ORES & INDUSTRIAL MINERALS. Editorial John Wiley & Sons. 1a. edición.

(3) Perry, H. & D. Green. 1984. PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK. 6a. edición. McGraw-Hill International Editions. U.S.A.

(4) Dowa Mining Co., Ltd. Mineral & Energy Resources Dept. EPOCH-MAKING, ULTRA COMPACT HIGH PERFORMANCE CONTINUOS FLOTATION MACHINE FOR THE LABORATORY MANUAL.

(5) Gaudin, A. 1957. FLOTATION. 2a. edición. Editorial McGraw-Hill. New York, U.S.A.

(6) The Dow Chemical Company. 1958. FLOTATION FUNDAMENTALS. Editorial Midlond, U.S.A.

(7) Lemich, R. 1972. ABSPTIVE BUBBLE SEPRATION TECHNIQUES. Academic Press London Ltd. England.

(8) Fiftieth Anniversary of Froth Flotation in the U.S.A. Aima & De. Quarterly of the Colorado School of Mines, First of volume 56, No.3, july 1961.

(9) Lai, R. 1981. BENEFICIATION OF IRON ORE. United States Patent No. 4,301,973 , U.S.A.

(10) Bull, W. & D. Spottiswood. 1985. CAPRYL ALCOHOL FROTHER IN IRON ORE FLOTATION PROCESS. United States Patent No. 4,529,507.

(11) Erck et. Al PROCESS OF UPGRADING IRON ORE CONCENTRATES. United States Patent No. 3, 067, 957. Dec. 11, 1962

(12) Frommer, D. & Arthur F. Colombo. PROCESS FOR IMPROVED FLOTATION TREATMENT OF IRON ORES BY SELECTIVE. United States Patent No. 3, 292, 780. Dec. 20, 1966

(13) Herkenhoff et. Al. FROTH FLOTATION OF SILICA FROM IRON ORES BY ANIONIC COLLECTORS. United States Patent No. 2, 423, 022. June 24, 1947.

(14) Booth et. Al BENEFICIATION OF IRON ORES. United States Patent No. 2, 410, 377. Oct. 29, 1946.

(15) Booth et. Al. BENEFICIATION OF IRON ORES. United States Patent No. 2, 410, 376. Oct. 29, 1946

(16) Klumpel, R. FROTH FLOTATION OF SILICA OR SILICEOUS GANGUE. United States patent No. 5, 124, 028. June 23, 1992

(17) Hansen, D. et. Al. DEPRESSION OF THE FLOTATION OF SILICA OR SILICEOUS GANGUE IN MINERAL FLOTATION. United States Patent No. 5, 057, 209. Oct. 15, 1991

(18) Hsieh, et. al. BENEFICIATION OF PHOSPHATE ORES CONTAINING SURFACES ACTIVATED SILICA. United States Patent No. 4, 105, 404, o T105, 104. May 07, 1985

(19) McGlothlin et. al. SILICA FLOTATION COLLECTORS DERIVED FROM ISONONYL ALCOHOL. United States Patent No. 4, 422, 928. Dec. 27, 1983.

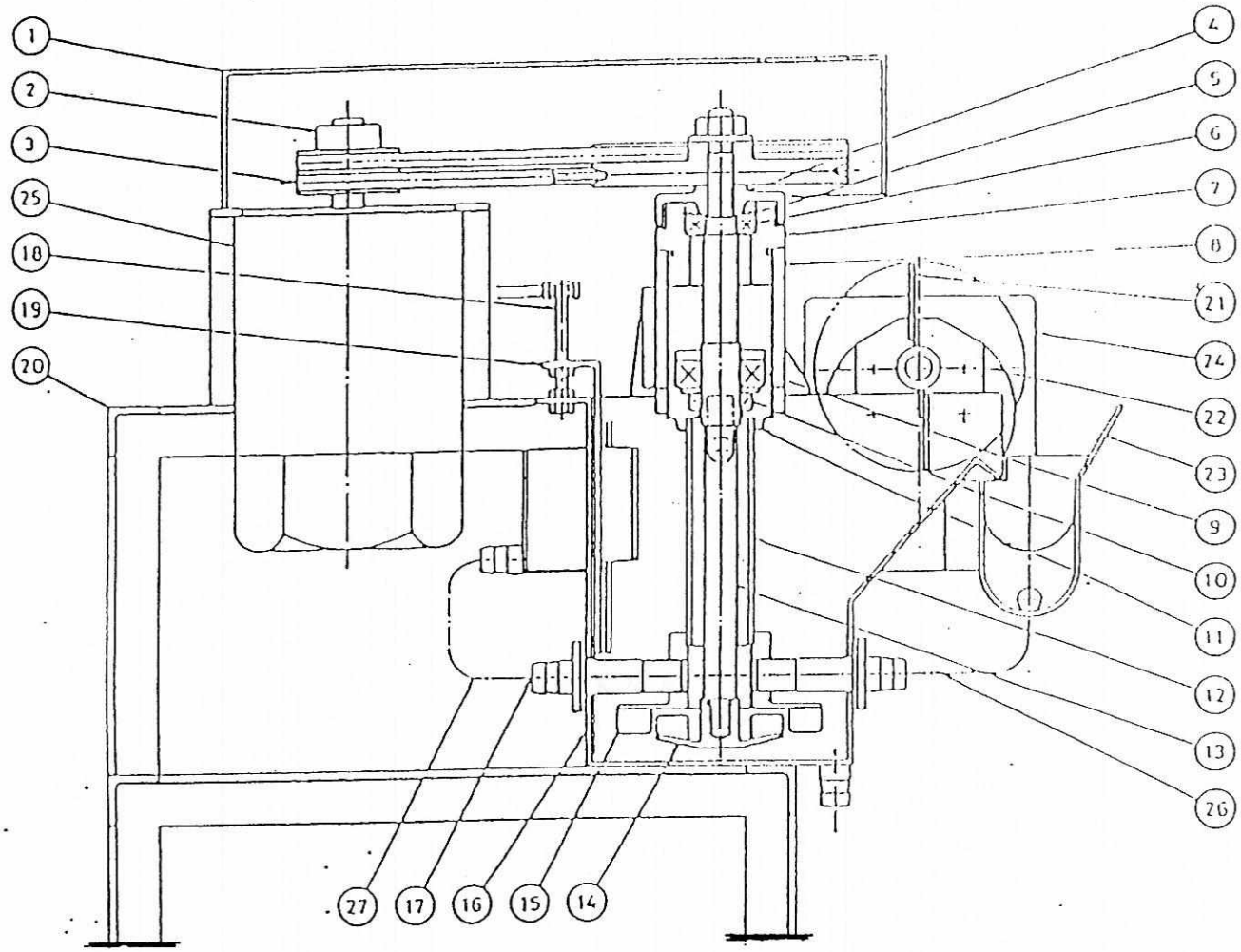
(20) Mehrotra. COLLECTING AGENTS FOR USE IN THE FROTH FLOTATION OF SILICA CONTAINING ORES. United States Patent No. 4, 725, 351. Feb. 16, 1988

(21) Willis, B.A. 1987. TECNOLOGIA DE PROCESAMIENTO DE MINERALES. 1ª. ed. Editorial Limusa México.

(22) Lopez, V.M. 1987. APUNTES DE PROCESOS DE CONCENTRACION DE MINERALES. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Depto. de explotación de minerales y metalurgia. Universidad Autónoma de México. México.

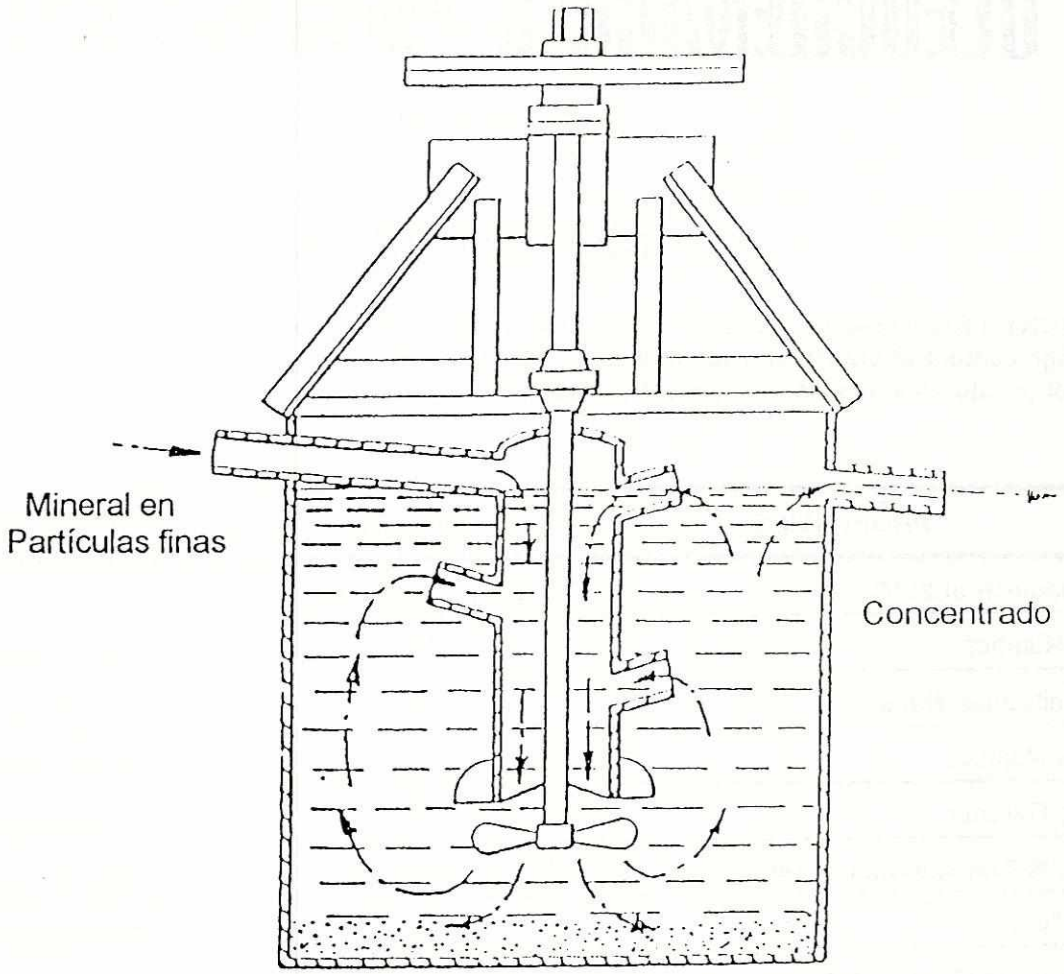
ANEXOS

Anexo 1. Descripción detallada de la celda de flotación utilizada.



1. Cubierta de fajas	14. Impulsor
2. Polea en V	15. Difusor
3. Faja en V (50Hz, MB-440, 470, 420mm)	16. Tanque
(60Hz, MB-460, 490, 440mm)	17. Tubería de alimentación
4. Tapadera de seguridad	18. Tornillo de válvula de paso
5. Anillo de retén (H-28)	19. Compuerta
6. Cojinete superior de bolas (#6001)	20. Sello
7. Encaje de cojinete superior	21. Cimiento hidráulico
8. Sello	22. Cojinete de eliminador de espuma
9. Cojinete inferior de bolas (#6202)	23. Lavador de espuma
10. Retenedor de grasa	24. Motor (37W, 100V, 50/60Hz)
11. Encaje de cojinete inferior	25. Motor (150W, 100V, 50/60Hz)
12. Tubo de soporte	26. Tubo de goma
13. Eje	27. Tubo de goma

Anexo 2. Funcionamiento básico de una celda de flotación.



Anexo 3. Tabla de los datos y propiedades físicas del ácido isosteárico (copia del original).

OLEOCHEMICALS® PRODUCT DATA

CENTURY® 1105

ISOSTEARIC ACID

CENTURY 1105 isostearic acid is a unique mixture of branched and straight chain saturated C_{18} fatty. The high content of branched acids makes CENTURY 1105 isostearic acid a liquid product, while the level of unsaturation results in excellent oxidative stability.

PROPERTIES	TYPICAL	TENTATIVE SPECIFICATIONS
Appearance at 25°C	Light yellow liquid	
Acid Number	181	180 Minimum
Saponification Number	183	180 Minimum
Iodine Number	6	12 Maximum
Color, Gardner	2	3 Maximum
Color, % Transmission at 440/550 nm	55/95	30/85 Minimum
Titer, °C	3	10 Maximum
Viscosity, centipoise at 25°C	70	
Unsaponifiables, %	6	
Moisture, %	0.07	0.2 Maximum
Specific Gravity, 25°C/25°C	0.906	-
Pounds per Gallon, 25°C	7.54	
Flash Point, °C	185 (365°F)	

Shipping Data:	CENTURY 1105 isostearic acid is available in lined or aluminum tank cars, and in stainless steel tank trucks, and 55-gallon lined closed-head steel drums (400 lbs. net)
DOT Shipping Classification:	Non-hazardous.

Anexo 4. Tabla de los datos y propiedades físicas del alcohol caprílico (copia del original).

OLEOCHEMICALS PRODUCT DATA

CAPRYL ALCOHOL

2-OCTANOL

UNION CAMP CORPORATION • CHEMICAL PRODUCTS DIVISION
Oleochemicals Group • P.O. Box 2668, Savannah, GA 31402 • (912) 238-6538

CAPRYL ALCOHOL is a unique C8 secondary alcohol with the synonyms: 2-octanol, methyl hexyl carbinol or secondary octyl alcohol. It can be used as a possible alternate for 2-ethylhexanol or Isooctyl alcohol in the preparation of diesters and monomeric and polymeric plasticizers. Capryl alcohol also finds uses as a frother in mineral flotation.

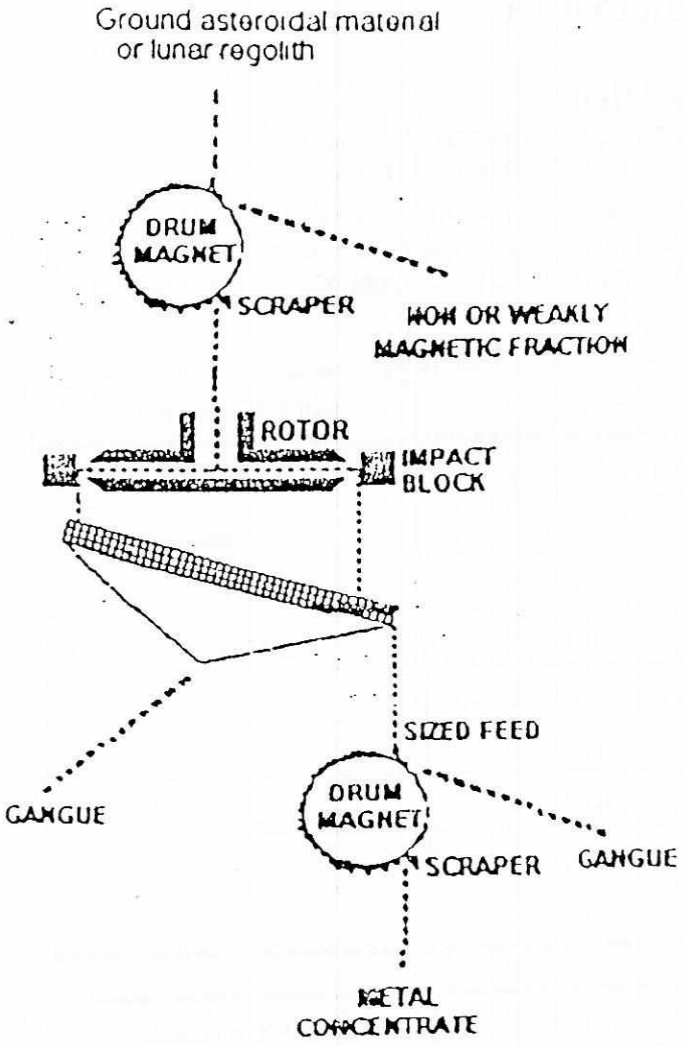
PROPERTIES	TYPICAL	SPECIFICATIONS
Appearance at 25°C	Colorless liquid	-
Acid Value	0.02	0.1 Maximum
Color, APHA	5	10 Maximum
Moisture, %	0.15	0.3 Maximum
Distillation Range (760 mm Hg), °C	177-182 (350-360°F)	-
Flash Point (Pensky-Martens), °C	77 (170°F)	-
Specific Gravity, 20°C/20°C	0.822	-
Pounds per Gallon @ 25°C	6.8	-
Solubility in Water @ 25°C, %	< 0.1	-

GC, ANALYSIS, %	TYPICAL	SPECIFICATIONS
Capryl Alcohol, 2-Octanol	97.0	96.0 Minimum
Methyl Hexyl Ketone,	1.1	2.0 Maximum
Miscellaneous,	1.9	-

Shipping Data:	Tank cars, tank trucks and 55-gallon closed head steel drums (380 lbs net)
DOT Shipping Classification:	Combustible Liquid, N.O.S. ; contains 2-Octanol; NA 1993; PG III. * * Only if shipped in bulk quantities.

Anexo 5. Diagrama de un proceso típico de separación magnética.

Paso 1: Cernir (no mostrado)



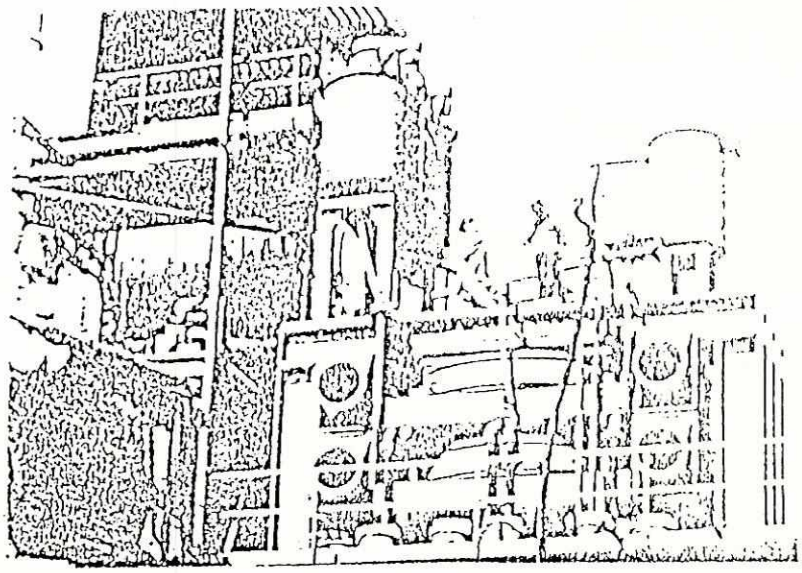
Paso 2: Concentración magnética

Paso 3: Cernir por impacto

Paso 4: Separación por mallas

Paso 5: Finalización magnética

Anexo 6. Figura del Separador de Jones tratando mena de hematita en Brasil.



El Separador de Jones trabaja bajo el principio de la separación magnética de alta intensidad en húmedo, que tiene su mayor uso en la concentración de menas de bajo grado que contienen hematita. Este determinado proceso tiene costos adicionales para el tratamiento del agua, los cuales elevan el costo total de una planta de flotación. Pero el costo total depende de los términos para la depreciación del capital, sobre 10 años o más, donde puede resultar más atractivo (21).