

**APUNTES SOBRE LA CONCENTRACION
MECANICA DE MINERALES, POR EL SISTEMA DE "FLOTACION"**

Por el ingeniero de Minas, Luis Guerne



APUNTES
 SOBRE LA CONCENTRACION MECANICA DE MINERALES
 POR EL SISTEMA DE "FLOTACION"

Por el Ingeniero de Minas, Luis Guerne

El procedimiento de reducir el volumen de un mineral disminuyendo el por ciento de la ganga o matriz contenida en él y de esta manera aumentar y concentrar en un volumen menor los valores contenidos, es una parte importante e interesante de la ciencia metalúrgica. Uno de los procedimientos y el más moderno para obtener ese enriquecimiento de los minerales, es la Flotación.

En un principio se creyó que el inventor del procedimiento de Flotación era William Haynes, que en el año de 1860 había inventado un método para concentrar los minerales sulfurosos haciendo uso de aceites, gomas o materias bituminosas; pero después se ha aclarado que el descubridor del sistema es Mrs. Carrie Jane Billings Everson, de Chicago. Desde esa época muchos han sido los que han contribuido con sus inventos, pudiendo citarse los siguientes: Hebron, Bradford, Dodé, Sutton, Rabson, Crowder, los hermanos Elmore, Potter, Delprat, Van Meter, Boss, Haultain, Stovel, Froment, Seammel Cattermole, Goyder, Laughton, Wolf, Sulman, Picard, Ballot, De Bavay, Darling, Gillies, Kirby, Macquisten, Sanders, Schwarz, Chapman, Kendall, Latimer, Hoover, Narris, Higgins, Lock-

wood, Greenway, Horwood, Wentworth, Lavers, Nutter, Hyde, Terry y Tucker.

El desarrollo de esta parte tan importante de la metalurgia ha sido dividido en tres grandes períodos. Durante el primero, comprendido entre los años de 1860 y 1902, más de doce métodos se expusieron para hacer flotar los sulfuros de una pulpa de mineral y estos procedimientos fueron agrupados en dos clases:

1.^a—Aquellos que dependen de la acción directa del aceite sobre las partículas sulfurosas del mineral, atrayéndolas y dándoles un estado propio para flotar.

2.^a—Aquellos que se fundan en la acción del gas sobre las partículas sulfurosas, el cual, bajo ciertas condiciones da a las partículas una envoltura gaseosa que las obliga a flotar.

Ninguna de estas ideas usadas independientemente, ha producido resultados satisfactorios.

El segundo período comprendido entre los años de 1902 a 1907, ha sido marcado por un adelanto práctico, que se basa en la teoría siguiente: Estando las partículas sulfurosas dotadas de una adhesión aceitosa y en una solución ácida, se aumenta su afinidad por una envoltura ga-

seosa, y entonces se atraen, poniéndose en contacto las partículas aceitosas y las burbujas de gas, y por consiguiente, en un estado propio para flotar.

Esta combinación de las dos ideas fundamentales, es un gran adelanto en el sistema, pues se han conseguido resultados prácticos.

El tercer período de 1907 a 1917, puede considerarse como la última etapa, pues en él todos los esfuerzos se dirigen a dar a las ideas y teorías expuestas, su aplicación industrial.

¿Qué es la Flotación?

Para principiar hagamos primero esta segunda pregunta: ¿qué cosa es una burbuja?... Webster la define como "un pequeño corpúsculo de aire rodeado de un líquido." Siendo más ligero se eleva a través del líquido y al llegar a la superficie ejerce su presión, no contra el líquido, sino contra un fluido tan ligero como él mismo, que es la atmósfera, en cuyo seno se difunde.

En este caso rigen las diferencias del peso específico, que es precisamente lo que también rige las condiciones que se establecen cuando algún aceite en estado de división muy fina se deja en libertad debajo de la superficie del agua. Esta potente fuerza ascendente del aire y del aceite, debida a las diferencias de peso específico entre ellas y el agua, es de capital importancia en las operaciones prácticas de Flotación.

Si en un tanque con agua se introduce una placa de cristal bien ajustada, precisamente abajo de la superficie del líquido, el aire y el aceite finamente pulverizado se adherirán contra la placa cuando se les haga desprender del fondo del tanque. Si se usan suficientes cantidades de cada uno de estos elementos y se llega a cubrir completamente de burbujas toda la parte inferior de la placa, se efectuará una adi-

ción de estos pequeños glóbulos, tanto de aire como de aceite separadamente por el desalojamiento gradual del agua en la referida cara de la placa y la reunión de estas pequeñas burbujas forma dos glóbulos grandes y separados, uno de aire y otro de aceite. Quitemos la placa, y el aire encerrado en el glóbulo grande de aire que ha sido formado por las pequeñas burbujas, se escapará en la atmósfera, mientras que el de aceite tenderá a difundirse en la misma superficie del agua.

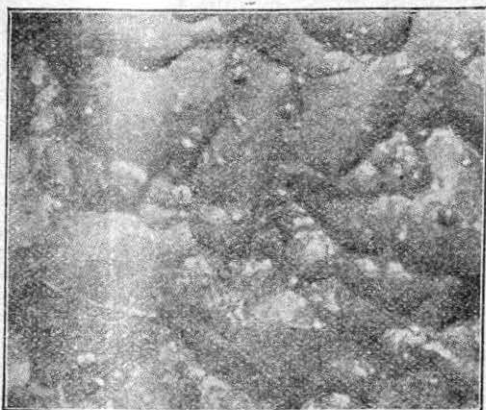
Continuando la experiencia, tenemos ahora una película elástica de aceite en la superficie del agua en lugar de la placa de cristal. Si se efectúa una nueva aplicación en el fondo, de aire y aceite, éste último pasará a formar parte de la película, mientras que el aire, en sus esfuerzos para confundirse con la atmósfera, ejerce fuerte presión sobre la superficie inferior de la película de aceite levantándola en forma semiesférica. Si la capa de aceite fuera tan sólida como la placa de cristal, indudablemente que se verificaría la misma unión de todos los glóbulos. Sin embargo, el punto que hay que hacer notar es que en este experimento cada uno de los factores obra por separado, a saber: el aceite, el aire y el agua.

Dejemos a la burbuja saliendo ligeramente de la superficie del agua y ejerciendo su presión sobre la capa de aceite, pero no del todo desprendida. Si se repite la aplicación de aire y aceite, en el fondo del tanque, veremos que la presión de otras burbujas levantarán a la que estamos considerando, empujándola completamente fuera del agua y al interior del aceite. Cuando la parte inferior de la esfera que forma la burbuja se halla a una altura adecuada de la línea que separa el agua del aceite, éste se junta de manera de llenar el lugar que acaba de abandonar la burbuja, y ahora tenemos una burbuja completamente desprendida del agua y descansando sobre el aceite encima de la superficie del agua. En su composición no entra el agua, flota sin difi-

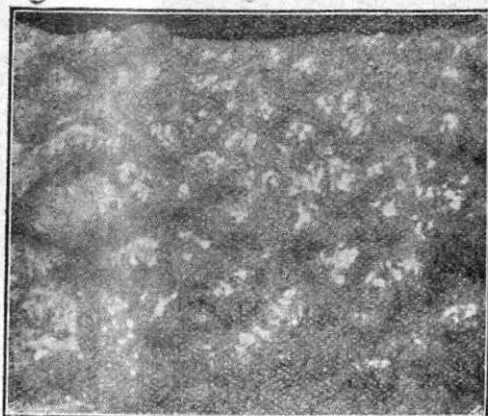
cultad y mantiene su forma y su carácter en el seno del aire, mientras que antes su existencia era imposible en el seno del agua.

Por consiguiente, si se mantiene una alimentación continua de aire y aceite, la formación de las burbujas continuará hasta que la superficie quede cubierta con una masa espesa y coherente llamada "espuma" (como se ve en la figura A).

Figura A



Espuma gruesa



Espuma fina

Actualmente se sabe que no existe acción selectiva entre el aceite y ciertos constituyentes de un mineral transformado en pulpa aceitosa. Cada partícula de la pulpa toma su revestimiento de aceite separadamente, pero algunas conteniendo óxidos, carbonatos y silicatos,

se desprenden velozmente de su revestimiento en presencia del agua, mientras que otras, como las de sulfuros, se adhieren a él firmemente. Una partícula de sulfuro, aprovechando para sí todo su revestimiento de aceite, no cede ni una parte de este revestimiento para la capa superficial, tan necesaria para la preservación de la burbuja de aire, siendo este factor alimentado por el aceite que abandonan los óxidos, los carbonatos y los silicatos. Por lo tanto, cuando se encuentra sumergida en el agua, la partícula de un sulfuro se mantiene en estado variable de flotación por medio de la potencia ascendente de su revestimiento de aceite. Es de hacerse notar que cuando se emplean los métodos de espumación, la aplicación del aceite se efectúa cuando el tratamiento se encuentra ya adelantado, y de lo anterior deducimos que es de suma importancia el que todos los constituyentes sean aceitados por igual.

La agitación en las operaciones de espumación sirve para introducir aire en el seno del agua y en menor grado mantiene la pulpa que va entrando en suspensión parcial en el mismo medio.

De acuerdo con el razonamiento anterior, ¿qué es lo que sucede cuando una máquina espumadora y de flotación se pone en operación?

Al hacer mover los agitadores en agua limpia, se forman millares de pequeñas burbujas, debido al aire creado en el seno del medio o proporcionado de cualquiera otra manera. Su trayectoria natural es hacia arriba y en el agua limpia se desbaratan en la superficie.

Pero cuando se aplica la pulpa previamente aceitada, se experimenta un cambio. Al penetrar en el agua las partículas de la pulpa mineral, inmediatamente ceden su aceite las de los óxidos, carbonatos y silicatos, cuyo aceite forma la película preservadora de la superficie. Los sulfuros que se encuentran en un estado de suspensión inestable y adheridos firmemente a sus revestimientos de aceite, se mantienen en suspensión o la agitación los obliga a ascender. Al moverse al tra-

vés del volumen de agua, encuentran a su paso innumerables burbujas de aire (véase fig. B) que se les adhieren en cantidad suficiente para apoyar la suspensión; entonces están lo suficientemente aligerados para ejercer violenta presión sobre la película de aceite y como son seguidos por millares y millares, la presión es tanta que basta para elevarlas fuera de la superficie del agua en la forma de espuma. Los minerales de la matriz, como no son susceptibles a la suspensión, se hunden o precipitan.

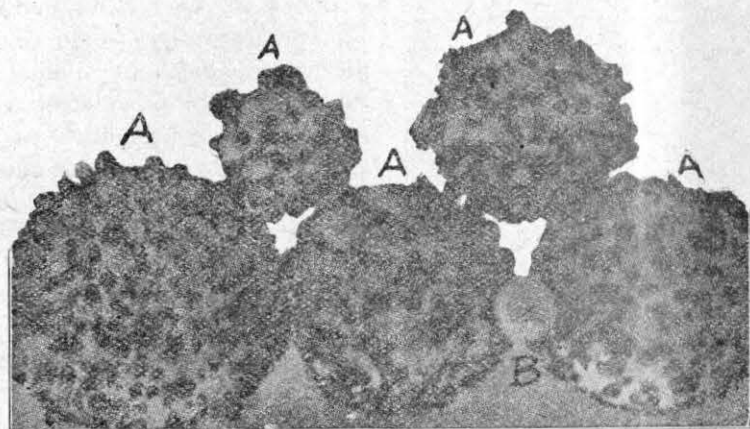
efectuarse durante la molienda, siempre que fuera posible, puesto que por este medio se adquiere una mezcla más perfecta.

Todos los procedimientos de concentración de minerales por el sistema de flotación se han agrupado en las seis clases siguientes:

Primera.—El método en el cual la agitación mecánica y el aceite se usan para formar una espuma.

Segunda.—El procedimiento que usa solamente la tensión superficial.

Figura B



En esta figura, B es una burbuja de aire que va a juntarse con las partículas sulfurosas del mineral previamente aceitada.—A, con burbujas de aire las cuales han recogido suficiente cantidad de partículas sulfurosas y están listas para flotar.

En los trabajos prácticos de espumación, el diseño de los principales factores es de importancia. Las dimensiones de los agitadores deberían ser lo más reducidas posible sin dejar de ser compatibles con la capacidad deseada. Los agitadores deberán ser diseñados y construídos de manera de formar o producir burbujas de tamaños uniformes, lo suficientemente grandes para que tengan el poder máximo de transportar sin reducir su número. El aceite deberá ser de naturaleza tal, que proporcione el máximo de expansión en la superficie y la consistencia necesaria. Mientras menor sea su peso específico, en combinación con las otras cualidades requeridas, mayor será su potencia de elevación. La aplicación del aceite debería

Tercera.—El tratamiento conocido por "Bulk-oil-flotation."

Cuarta.—El procedimiento en el que se usa un ácido para producir un gas con el mineral, el cual ayuda a la formación de la espuma.

Quinta.—El procedimiento en el cual el aire, disuelto en el agua, con o sin la ayuda de aceite es usado para formar la espuma.

Sexta.—"Flotación neumática" o el procedimiento en que el aire es forzado dentro de la mezcla de mineral, agua y aceite.

Antes de detallar cada uno de estos métodos, es necesario saber qué se entiende por espuma.

La espuma ha sido definida como una acumulación de burbujas formadas por

agitación, efervescencia o fermentación. La espuma al flotar se reviste con partículas del mineral y recoge el concentrado, llevándolo a la superficie.

1.º—*Procedimiento por agitación mecánica*

El mineral finamente pulverizado se mezcla con tres veces su peso de agua y se introduce en la máquina, después se añade el aceite poco a poco hasta verter toda la cantidad, que es, generalmente, de 0.10% de la solución, o bien de 0750 a 1 kilogramo de aceite por tonelada de mineral.

La máquina para practicar este método, se compone de dos cámaras, de las cuales una recibe el nombre de cámara de agitación, y la otra, de cámara de concentración. El mineral, el agua y el aceite, colocados en la primera cámara, toman un rápido movimiento debido a un aparato agitador instalado en dicha cámara; ésta, por medio de una abertura lateral, se comunica con la cámara de concentración. Mientras la mezcla se agita, en la cámara se forman gran cantidad de burbujas de aire en el líquido, y estas burbujas, al llegar a la cámara concentradora, con la ayuda del aceite, arrastran las partículas sulfurosas a la superficie del líquido de la caja y forman lo que se llama "espuma." El residuo, ganga o matriz se precipita o asienta en el fondo de la caja concentradora.

2.º—*Procedimiento en que se usa la "tensión superficial"*

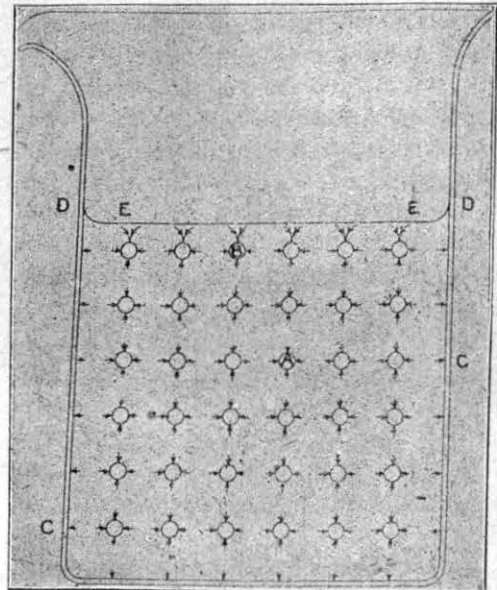
La primera idea emitida sobre este procedimiento se debe a Mr. Hezekiah Bradford, siendo después desarrollada y perfeccionada por De Bavay y Macquisten. En todos los tipos de este procedimiento, la separación de los sulfuros y la ganga se considera como dependiendo de la "tensión superficial" del agua que retiene a dichos sulfuros en la superficie.

T. J. Hoover, en la última edición de su libro sobre la materia, expone la siguiente teoría para describir la "tensión

superficial:" "Toda masa de substancia ya sea sólida o líquida tiene, obrando sobre todas sus caras, una fuerza paralela a la superficie, que es la resultante de la actividad molecular, en el interior del cuerpo de la substancia y ésta tiende a resistir la ruptura de la superficie. A esta fuerza en el caso de un líquido se le llama "tensión superficial." W. R. Ingalls dice: "Un volumen de agua o de cualquier otro líquido, tiene mayor cohesión en su superficie libre, es decir, en su superficie expuesta al aire, que en cualquiera otra parte de su interior, porque, mientras las partículas del interior se atraen mutuamente, por las partículas adyacentes en todas direcciones, las que están en la superficie no tienen atracción de fuera (por encima digamos) para impedir la flotación de las del interior."

Con objeto de hacer más comprensible esta idea, representémosla por el diagrama de la figura 1.

Figura 1



Vaso con agua

En esta figura cada círculo representa una molécula; la atracción molecular de cada una se resuelve en resultantes representadas como lo muestra la ilustra-

ción. Ahora bien, la molécula A atrae y es atraída a su vez, por las moléculas adyacentes en virtud de fuerzas iguales, quedando en libertad de moverse en todas direcciones. La molécula B, por el contrario, no teniendo encima ninguna molécula que atraer, ni por quién ser atraída, queda en diferente estado que la molécula A, es decir, puede considerarse como en suspensión en la superficie. La unión o la adherencia de todas estas moléculas superficiales, forman una resistencia que es lo que se llama "tensión superficial."

De Bavay notó, que en este procedimiento en que se emplea la "tensión superficial," el mineral se cambia, formando una película muy delgada y que flotando suavemente es detenida por la tensión superficial del líquido. También observó que si las partículas del mineral son recubiertas por una envoltura de carbonatos, debido a la descomposición del mineral al contacto del aire, cuando éste se ha encontrado a la intemperie, esta envoltura ha impedido que las partículas floten.

Further perfeccionó este procedimiento en 1913 y fué patentado por Mr. H. E. Wood, quien inventó una máquina, en la cual, el mineral finamente pulverizado, expuesto en suspensión por medio de una placa vibratoria dentro de una corriente de agua.

Esta máquina está en uso en Denver, Colorado, E. U. A., para el tratamiento de la molibdenita, y en San Francisco del Oro, en el Estado de Chihuahua, México.

3.º—"Bulk-oil-flotation"

Robinson y Crowder inventaron este tratamiento que fué perfeccionado por F. E. Elmore.

En este procedimiento el mineral finamente pulverizado es mezclado poco a poco con un volumen de agua igual a su peso. Cuando todo el polvo se ha mezclado bien con el agua, se añade el aceite que generalmente es en peso igual al del mineral.

Esta mezcla del mineral, agua y aceite

se introduce en la máquina, en la cámara agitadora, donde se produce la separación de los sulfuros y la ganga. Tan pronto como la mezcla penetra a la cámara concentradora, el aceite flota junto con los sulfuros, mientras que la ganga y el agua se quedan en el fondo de la cámara.

Elmore considera al aceite como un emulsionante y esto es de gran interés en el procedimiento que nos ocupa. Siendo el aceite el principio fundamental de este procedimiento y ayudado por la agitación mecánica de la mezcla, que produce cierto número de burbujas de aire, el aceite recoge los sulfuros y flota con más facilidad ayudado por ellas.

4.º—*Procedimiento en el que se usa un ácido para producir un gas con el mineral, el cual ayuda a la formación de la espuma.*

Este procedimiento fué inventado por Potter, quien usaba una solución ácida al 1 al 10%, y perfeccionado después por Delprat, empleando éste una solución ácida de sal común.

En este procedimiento las partículas de mineral son llevadas a la superficie, por medio de innumerables burbujas de gas, las cuales parecen atraer a dichas partículas. El ácido se usa para generar las burbujas de gas y también para producir una acción selectiva.

C. Terry Durell considera el fundamento de este procedimiento de flotación en un aprisionamiento del gas y lo explica así: El ácido es necesario en el procedimiento de Delprat para crear burbujas y es preciso que estas burbujas hagan un solo cuerpo con las partículas, formando con ellas un solo núcleo.

5.º—*Método en el cual el aire disuelto en el agua, con o sin la ayuda de aceite, es usado para formar la espuma.*

Este método es como sigue: En lugar de crear burbujas de aire en la mezcla de mineral y agua, ya sea por medio de la agitación mecánica o generando burbu-

jas de gas, por medio de un ácido, se usa el vacío producido al extraer el aire disuelto en el agua y ponerlo en libertad bajo la forma de burbujas. Estas burbujas de aire, encontrándose libres y en contacto con el mineral finamente pulverizado, atraen las partículas sulfurosas y las llevan a la superficie del líquido, donde con la ayuda de una pequeña cantidad de aceite, los concentrados flotan, bajo la forma de una espuma.

6.º—*Flotación neumática o el procedimiento en que el aire es forzado dentro de la mezcla del mineral, agua y aceite.*

En este procedimiento el aire es forzado a penetrar a través de una pantalla muy gruesa de lona, dentro del mineral, agua y aceite.

Como el aire, al atravesar la pantalla, se divide en muchas corrientes sumamente finas, éstas forman multitudes de pequeñas burbujas, que con la ayuda de un corto exceso de aceite, obran sobre las partículas sulfurosas del mineral, llevándolas a la superficie bajo la forma de espuma como en el procedimiento anterior.

Los métodos de concentración por Flotación que ligeramente se han expuesto, pueden clasificarse en dos grandes tipos, a saber:

1.º—Flotación pelicular.

2.º—Flotación espumosa.

Los procedimientos de Bradford, De Bavey y Macquisten, fundados en la "Tensión superficial," pueden considerarse como muy buenos ejemplos de la "flotación pelicular."

Los métodos "Bulk-Oil-Flotation," Robson, Crowder y Elmore, que propiamente no pertenecen a ninguno de los dos grandes tipos, se les ha colocado en el primero, es decir, en la flotación pelicular.

Esta denominación de flotación pelicular, puede considerarse como otro nombre dado al procedimiento llamado "tensión superficial."

Los otros métodos ya mencionados, son colocados en el segundo grupo, en la flotación espumosa.

En este tipo lo esencial es, producir una espuma formada por la acumulación de burbujas de aire o gas, que se han creado por la agitación, ya sea mecánica, neumática o de cualquiera otra manera; y en general, puede decirse que siempre que el concentrado flote bajo la forma de espuma, el procedimiento pertenece al tipo de "flotación espumosa."

Diferentes máquinas de flotación

Como sería muy larga la descripción de todas las máquinas usadas en los diferentes procedimientos, nos limitaremos a exponer las principales:

Máquina "Hoover"

Esta máquina, como se ve en la figura 2, se compone de tres cámaras agitadoras, unidas a una cámara concentradora. Las cámaras agitadoras se comunican entre sí por unas aberturas (A^2), practicadas en la parte inferior de las paredes divisorias (A').

La última cámara agitadora comunica también con la cámara concentradora por la abertura (A^3), igual en todo a las (A^2).

La cámara concentradora tiene un labio (J) que lleva por objeto conservar siempre el mismo nivel del agua en la máquina. En el fondo de esta cámara, se encuentra un orificio (H), que se emplea para descargar la máquina.

Los agitadores (B), son puestos en movimiento, ya sea por medio de bandas y poleas, o por medio de engranes, debiendo tener, para que la agitación sea buena, una velocidad de 1,300 a 1,500 revoluciones por minuto.

(K) Es una pantalla que impide la salida de la pulpa a la cámara concentradora y su arista superior queda un poco abajo del nivel del agua en esta cámara.

(D) Es un recipiente que sirve para contener y verter el ácido en la cámara agitadora y (E) es otro utensilio semejante para verter la mezcla de aceites.

Dadas estas explicaciones, se compren-

de que el trabajo de la máquina es muy sencillo. Después de poner la cantidad necesaria de agua en la máquina, generalmente de 2 ó 3 veces el peso del mineral, se ponen en movimiento los agitadores y se agregan el mineral, y en seguida el ácido y el aceite. Pasado un poco de tiempo, se empiezan a formar muchas burbujas, que, recubiertas con una capa aceitosa, recogen los sulfuros y pasan por la abertura A³, subiendo a flotar a la superficie arrastrándose a lo largo de

Si una sola de estas máquinas no da una perfecta extracción, es preciso dar a la pulpa un segundo o tercer tratamiento, usando dos o tres de estos elementos y comunicándolos entre sí, para lo cual, el tubo de descarga (H) del primer elemento, se comunica con la primera cámara agitadora de la segunda máquina y así sucesivamente. En una máquina de este tipo, con cámaras agitadoras de 0.914×1.219 metros y la concentradora 1.219×1.524 metros, pueden tratarse como

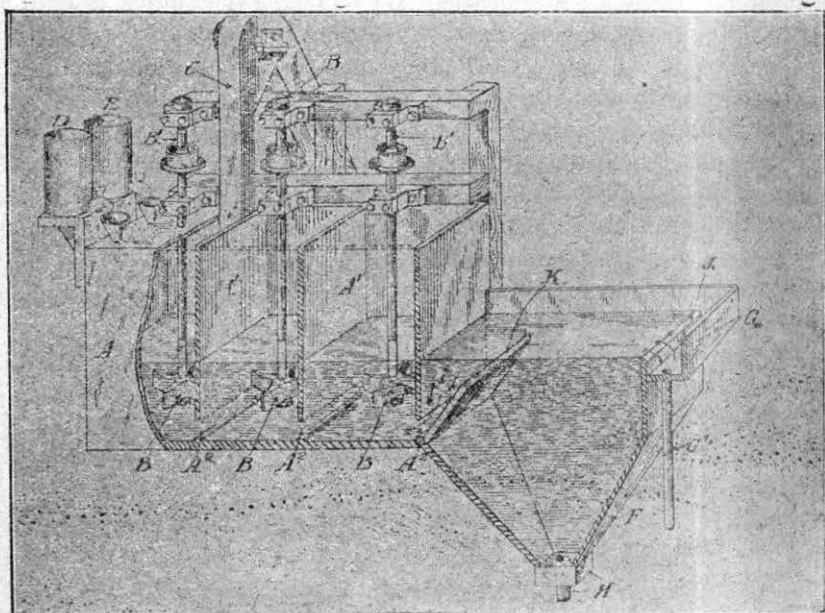


Figura 2

la pantalla (K). Cuando ya la cantidad de sulfuros que flotan en la superficie del líquido de la cámara concentradora, es grande, la espuma se escurre sobre el labio (J) de dicha cámara y pasan al departamento (G) donde se van almacenando.

Cuando la concentración ha terminado, se recoge el concentrado del departamento (G) por medio de un tubo de descarga, (G¹); la ganga o matriz no flota, sino que se asienta o precipita al fondo de las cámaras, de donde se recoge quitando la pantalla (K) y entonces la ganga pasa a la cámara de concentración que se descarga por el orificio (H).

400 toneladas por día, recogiendo, más o menos 68 kilogramos de concentrado.

Máquina Callow

En la fig. 3, (A) es un mezclador que opera por medio del aire comprimido y con objeto de mezclar y emulsionar el aceite, el aire y el agua. Este aparato es del mismo tipo que se usa en las plantas de cianuración.

En caso de que el aceite o cualquier otro agente espumoso, haya sido introducido a la vez que el mineral, en la máquina quebradora o el molino de tubos, este aparato mezclador o "Tanque Pachuca" puede suprimirse.

En esta figura el primer elemento de la máquina está representado por (B) y consiste en un tanque de 2.473 metros de largo por 0.610 metros de ancho con un fondo que tiene una inclinación de 0.249 ó 0.335 metros por metro. El fondo del tanque, está formado por una pieza de tela de algodón muy gruesa, fabricada expresamente para este objeto, y cuyo costo aproximado es de \$39.00 oro nacional por metro cuadrado. Esta tela está sostenida por una placa de metal perforada

un tubo de descarga colocado en el fondo del tanque.

El trabajo de esta máquina se comprende bien, recordando la descripción del sexto método de flotación.

La capacidad de cada elemento de esta máquina, teniendo las dimensiones arriba expresadas, es de 50 toneladas de mineral en 24 horas.

Esta máquina (fig. 4 y 4 bis) es construída por "The Southwestern Engineering Co." Inc., Los Angeles, Cal.

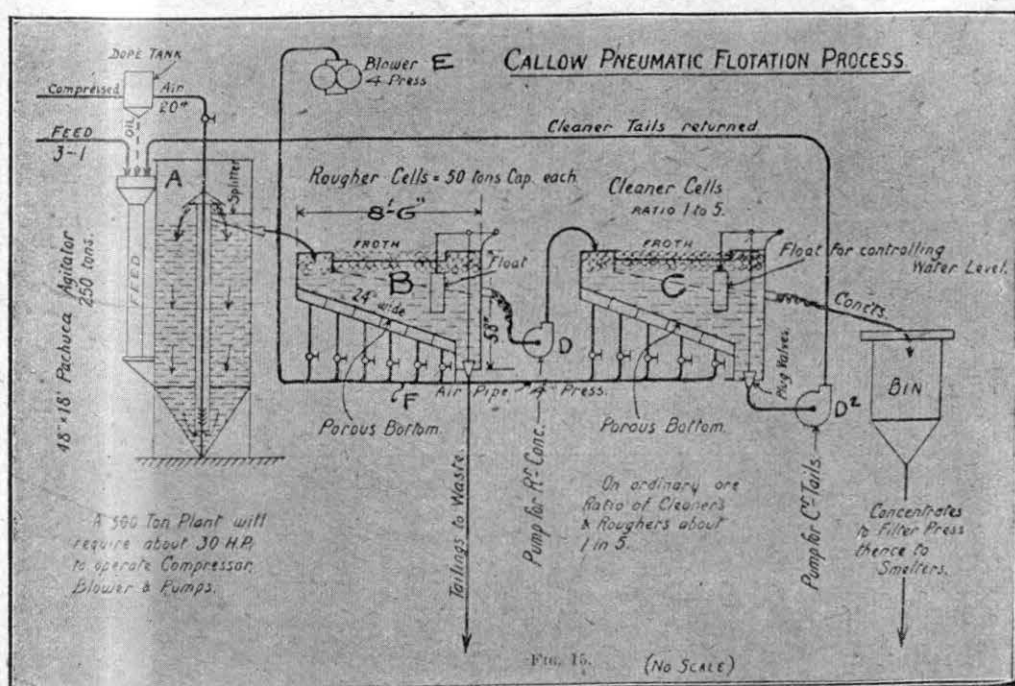


Figura 3

rada, para evitar que se suma. Debajo de la placa perforada se encuentran los tubos conductores del aire, que llevan una presión de 20 a 25 kilogramos por metro cuadrado de tela.

La espuma se recoge en la superficie del tanque, haciéndola pasar a un canal que rodea dicho tanque.

Por medio de un flotador se mantiene fijo el nivel del agua, que debe conservarse a 0.254 ó 0.305 metros de los bordes del tanque para que la espuma pueda siempre pasar al canal.

Los residuos se recogen por medio de

Se construye de acero o madera y consiste en un tambor de 3.048 metros de largo y 0.660 metros de diámetro, el cual está encerrado en una caja cilíndrica que lleva el nombre de "Cámara de Aireación" que comunica con otra por una abertura longitudinal, siguiendo la generatriz del cilindro y a través de una placa perforada. Esta segunda cámara lleva el nombre de "Cámara espumosa."

El eje del tambor está construído de una flecha de acero de 0.087 metros. El tambor es de madera y formado por una serie de duelas, dejando un espacio entre

una y otra de 0.013 metros; cuyas duelas tienen cada una, dos estrías o hendiduras longitudinales, así es que, debido a esta disposición, y teniendo en cuenta que en las paredes laterales de la caja de aireación, la máquina lleva dos piezas de hierro con un diámetro de 0.155 metros mayor que el eje, el aire exterior es absorbido al interior de la cámara de

flota en la superficie del líquido, donde se recoge el concentrado.

Para obtener buenos resultados es preciso que el eje dé 200 revoluciones por minuto.

En cuanto a la capacidad de estas máquinas, se fabrican desde muy chicas para pruebas de laboratorio, hasta de una capacidad de 150 toneladas por 24 horas,

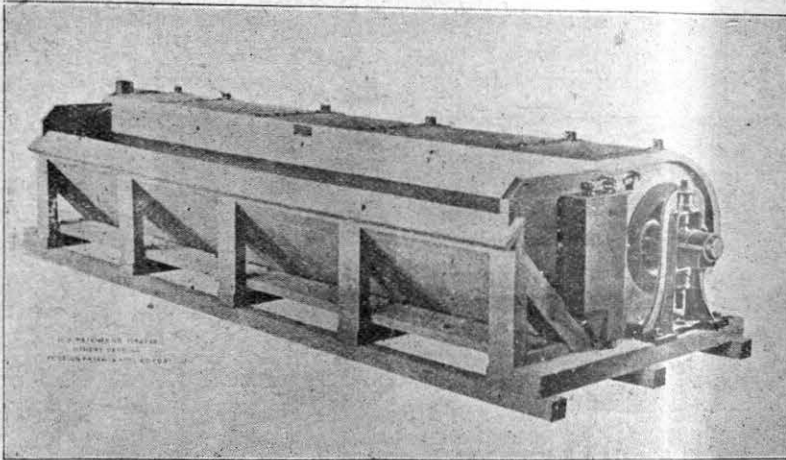


Figura 4

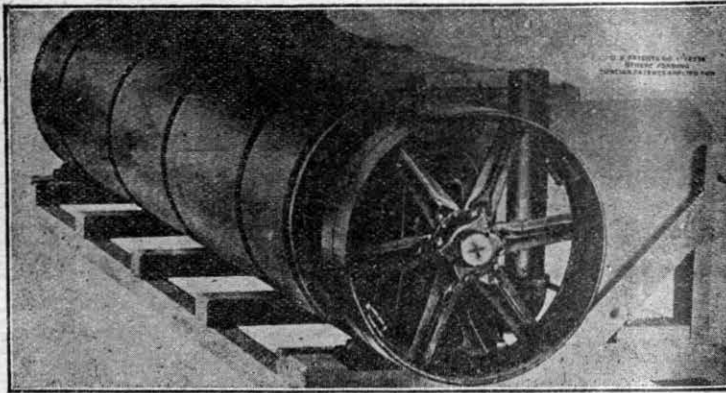


Figura 4 bis

aireación y penetra también fácilmente a la pulpa por el espacio entre las duelas del tambor, formando una película en la superficie del tambor compuesta de burbujas de aire revestidas de una capa aceitosa que atrae las partículas sulfurosas. Esta película, al atravesar la lámina perforada que separa las dos cámaras, llega a la segunda en forma de espuma, la que

gastando esta máquina de 6 a 8 H. P. y teniendo un costo, si es construída de madera, de \$1,850.00 oro nacional, y en acero, de \$2,530.00 oro nacional.

Aceites usados en la flotación

El éxito de la flotación depende directamente del aceite usado más que de cualquier otro factor.

Los aceites que se usan en la flotación generalmente se dividen en dos clases, según sus propiedades físicas.

Primero: "*Agentes de espumación.*"— Sus funciones son procurar la reducción de la tensión superficial del agua y por ese medio hacer que se efectúe la formación de burbujas de naturaleza más permanente, que no se podrían obtener si no fuera por el empleo del aceite. La acumulación de estas burbujas forma la espuma. (1)

Segundo: "*Agentes de selección por aceite,*" cuya función es la formación de una película que envuelve las partículas de sulfuros, por lo cual las pone aptas para agregarse o unirse con burbujas de aire; ayudando así a una separación del mineral y de la matriz.

Todos los aceites poseen las dos propiedades indicadas en mayor o menor grado; y el éxito del sistema de flotación consiste en el arreglo apropiado de estas dos propiedades, según el carácter de la matriz del mineral.

El éxito de la flotación consiste también en mantener una uniformidad completa en el aceite apropiado; porque para una operación provechosa, debe obtenerse una alta extracción continua.

Agentes de espumación

Los aceites de pino, aceites de alquitrán de pino y la trementina han dado generalmente resultados satisfactorios como agentes de espumación, tanto que están ahora a la cabeza de esta clase de aceites en la práctica en las plantas americanas. Estos aceites son producidos por la destilación de la madera de pino del Sur de los Estados Unidos. Toda madera de pino de la región indicada, es materia prima para esta destilación, y es tan abundante que mientras más aumente la demanda, aumentará la producción.

(1) En el laboratorio de experimentación establecido en el Instituto Geológico, se están efectuando pruebas, cuyos primeros resultados se publican en la tabla final de este volumen, respecto del uso de aceites extraídos de plantas mexicanas que contienen hasta 60% de materia oleaginosa.

El aceite de pino destilado con vapor es considerado como el mejor aceite americano para espumación, y es frecuentemente usado como "patrón" que sirve de término de comparación para otros aceites. Es un aceite transparente, de color amarillo paja y que es producido por la destilación de la madera de pino con vapor.

El valor del aceite de pino producido por la destilación destructura de la madera de pino, como agente de flotación, es aproximadamente el mismo que el del anterior.

El aceite de pino tiene un mayor valor porque sirve para impartir propiedades de espumación a aceites más baratos, que tienen propiedades de selección, y origina un aceite económico para el objeto, puesto que se requiere una cantidad relativamente pequeña de aceite de pino.

Los aceites de alquitrán de pino son producidos por la destilación destructura de la madera (pino). Por este procedimiento una cuerda de leña rinde de 60 a 80 galones de aceite de alquitrán de pino, y éste requiere una refinación ligera para adaptarlo a los usos de la flotación, siendo uno de los aceites más baratos y prácticamente más espumoso. Existe gran diferencia entre los aceites de alquitrán de pino de diversos productores, dependiendo esto del método de producción. En general, el aceite más ligero y menos viscoso tiene mayores propiedades de espumación.

Los aceites de madera dura han atraído poderosamente la atención últimamente como agentes de espumación, y su bajo precio seguramente permitirá que se haga de ellos mucho uso. Son producidos por la destilación destructura de la madera dura de la región Norte de Estados Unidos, y son sub-productos de la manufactura del alcohol y del acetato de cal. Un carácter notable de estos aceites es que pueden ser producidos prácticamente con la gravedad y viscosidad que se desee.

Las creosotas de alquitrán de carbón (Coal Tar) son de diversas clases, por lo

que es necesario dividir las en "creosotas ácidas" y "creosotas neutras." Las creosotas ácidas son buenos agentes de espumación, en tanto que las creosotas neutras tienen muy poco valor en este sentido y se usan principalmente como disolventes del alquitrán de carbón. El ácido cresólico o cresílico fué primeramente el agente de separación principal usado en la flotación de minerales de cobre, pero últimamente su uso se ha limitado por su alto precio. Ha sido substituído por creosotas más baratas que contienen un por ciento variable de ácidos del alquitrán de carbón que parece dan resultados igualmente satisfactorios.

Agentes de selección por aceite

El alquitrán de carbón.—Puede considerarse como encabezando la lista de los aceites empleados por la selección. Es usado como agente de espumación y su gran empleo es sólo debido a su bajo precio. No todos los alquitranes de carbón son apropiados para la flotación, puesto que su naturaleza varía con la clase de carbón usado y el método de tratamiento por el calor. Los alquitranes de carbón producidos como gas especial en plantas de maquinaria son generalmente poco uniformes y contienen agua y substancias que los obscurecen, lo cual causa con frecuencia serias dificultades. Pueden obtenerse, sin embargo, alquitranes de carbón suficientemente uniformes y libres de agua y de materia colorante, de tal manera que tengan una consistencia tal que no sea necesario diluirlos con creosota.

El alquitrán de madera dura es un selector de minerales excelente y se está usando en algunas plantas grandes de molienda de minerales de cobre. El alquitrán de madera dura no está numerado en estas notas, porque se puede obtener en una gran variedad de grados, de manera de encontrar una clase especial que se requiera para cada mineral; y se han encontrado los resultados más satisfactorios tratando cada mineral como un problema especial y ajustando a él el grado del alquitrán apropiado.

El alquitrán de pino da resultados satisfactorios como agente de separación o selección en muchos casos, en los que ni el alquitrán de carbón ni el de madera dura muestran acción selectiva completa.

Acido impuro

El ácido impuro (sulfúrico) es un subproducto en la refinación de los destilados del alquitrán de carbón. Es una mezcla de ácido sulfúrico y de aceites hidrocarbureados, conteniendo aproximadamente un 50% de H_2SO_4 . Numerosas experiencias indican que el ácido impuro que proviene de las operaciones hechas con el alquitrán de carbón, tiene mayor valor como agente de flotación que el que se obtiene en la refinación del petróleo. Se ha usado con éxito en el tratamiento de las pulpas de minerales que contienen lamas de matriz muy finas. Como un substituto del ácido sulfúrico, ofrece una excelente posibilidad de reducción en el costo.

Propiedades de los agentes de flotación *Acete de pino destilado con vapor*

Fabricado por la destilación con vapor de la madera de pino.

Color.—Amarillo de paja, transparente.

Peso específico, límites.—0.925 a 0.940 a 60° F.

Valor como agente de flotación. Espumación: El más alto valor.—Selección: Bastante buena.

Naturaleza de la espuma.—En gran cantidad, burbujas pequeñas, fácilmente subdividibles.

Uso.—Para impartir propiedades de espumación a los agentes de selección (alquitranes de carbón, pino, madera dura y petróleo) usado en proporción de 10 a 50% de la mezcla. Particularmente adaptable a los minerales de zinc.

Acete de pino obtenido por destilación destructora

Fabricado por la destilación destructora de la madera de pino.

Color.—Amarillo obscuro, transparente.

Peso específico, límites 0.920 a 0.940 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Excelente.—Selección: Bastante buena.

Naturaleza de la espuma.—Gran cantidad de burbujas pequeñas, subdividibles fácilmente.

Usos.—Para impartir propiedades de espumación a los agentes de selección (alquitranes de carbón, de pino, de madera dura y de petróleo), usado para aumentar de 10 a 50% la mezcla. Recomendable para los minerales de zinc.

Aceite de alquitrán de pino

Fabricado por la destilación destructora de la madera de pino.

Color.—Pardo obscuro, opaco.

Peso específico, límites.—1.025 a 1.035 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Buena.—Selección: Buena.

Naturaleza de la espuma.—Abundante, burbujas muy grandes, permanentes.

Uso.—Para dar permanencia o estabilidad a la espuma.

Aceite de alquitrán de pino, dos veces refinado

Fabricado por la destilación destructora de la madera de pino.

Color.—Rojizo obscuro, transparente.

Peso específico, límites.—0.965 a 0.990 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Excelente.—Selección: Bastante buena.

Naturaleza de la espuma.—Gran cantidad, burbujas de tamaño mediano. Elástica.

Uso.—Para impartir propiedades de espumación a los agentes de selección (alquitrán de carbón, de pino, de madera dura y de petróleo).

Trementina cruda

Fabricada por la destilación destructora de la madera de pino.

Color.—Rojizo obscuro, transparente.

Peso específico, límites.—0.980 a 1.000 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Excelente.—Selección: Buena.

Naturaleza de la espuma.—Gran cantidad de burbujas de tamaño mediano. Elásticas.

Usos.—Para impartir propiedades de espumación a los agentes de selección (alquitranes de carbón, de pino, de madera dura y de petróleo). Recomendable para minerales de zinc.

Alquitrán de pino delgado

Fabricado por la destilación destructora de la madera de pino.

Color.—Pardo obscuro, opaco.

Peso específico, límites.—1.060 a 1.080 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Muy buena.—Selección: Buena.

Naturaleza de la espuma.—Pequeña cantidad, grandes burbujas, subdividibles fácilmente.

Uso.—Como agente de selección.

Destilado especial de la trementina

Fabricado por la destilación de la trementina.

Color.—Pardo rojizo, transparente.

Peso específico, límites.—0.955 a 0.975 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Excelente.—Selección: Buena.

Naturaleza de la espuma.—Gran cantidad, burbujas de tamaño mediano. Elásticas.

Uso.—Para impartir propiedades de espumación a los agentes de selección (alquitranes de carbón, de pino, de madera dura y de petróleo). Recomendable para los minerales de zinc.

Aceite de madera dura

Fabricado por la destilación destructora de las maderas duras.

Color.—Negro, opaco.

Peso específico, límites.—0.960 a 0.990 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Excelente.—Selección: Mala.

Naturaleza de la espuma.—Gran cantidad, pequeñas burbujas, fácilmente subdividibles en poco tiempo.

Uso.—Solamente como agente de espumación en combinación con los alquitranes de carbón, de pino o de petróleo. Nunca debe usarse en más de 50% en la mezcla.

Aceite de madera dura

Fabricado por la destilación destructora de las maderas duras.

Color.—Negro, opaco.

Peso específico, límites.—1.06 a 1.08 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Buena.—Selección: Buena.

Naturaleza de la espuma.—En poca cantidad, burbujas de tamaño mediano permanente.

Uso.—Bueno para minerales de plomo, zinc y cobre.

Creosota de alquitrán de carbón neutro

Fabricado por la destilación del alquitrán de carbón.

Color.—Pardo obscuro, opaco.

Peso específico, límites.—0.990 a 1.010 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Escasa.—Selección: Buena.

Naturaleza de la espuma.—Es muy poca cantidad.

Uso.—Como disolvente para el alquitrán de carbón u otros aceites pesados.

Creosota de alquitrán de carbón, ácido

Fabricado por la destilación del alquitrán de carbón.

Color.—Pardo obscuro, opaco.

Peso específico, límites.—0.995 a 1.015 a 60° F.

Valor como agente de flotación.—Espumación: Buena.—Selección: Buena.

Naturaleza de la espuma.—Gran cantidad, burbujas de tamaño mediano, se rompen fácilmente, buena espuma.

Uso.—Para impartir propiedades de espumación a los agentes de selección (alquitranes de carbón, de pino, de madera dura y de petróleo). Recomendable para los minerales de cobre, zinc, plomo y pirritosos.

Alquitrán de carbón delgado

Fabricado por la destilación destructora del carbón mineral.

Color.—Negro, opaco.

Peso específico, límites.—1.080 a 1.110 a 60° F.

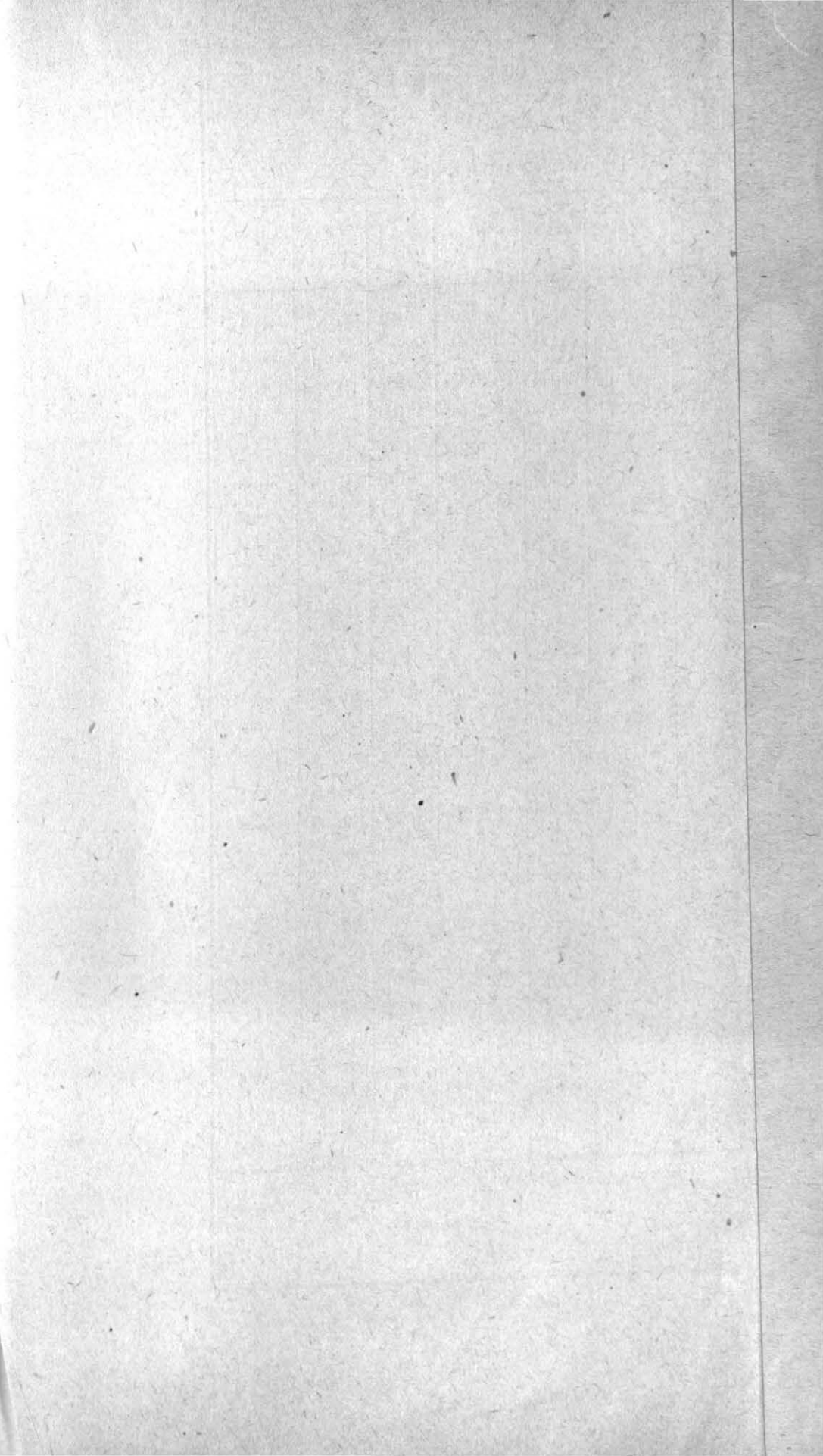
Valor como agente de flotación.—Espumación: Mala.—Selección: Buena.

Naturaleza de la espuma.—Es muy poca cantidad.

Uso.—Como agente de selección para la mayor parte de los minerales, cuando está combinada propiamente con un aceite de espumación.

México, diciembre de 1918.

L. Goerne.



PRUEBAS POR FLOTACION

Efectuadas en el Laboratorio Químico del Instituto Geológico de México con aceites nacionales

MINERAL Procedencia	Peso	ACEITES			Peso del concentrado	Recobro en peso Por ciento	Ley del concentrado Ag.	Ley del residuo Ag.	Peso del residuo	Extracción Por ciento Ag.
		Vegetal	Mineral	Cantidad						
Este mineral procede de la Negociación Minera "Angustias y Dolores," del Mineral de Pozos, Estado de Guanajuato; su ley de plata es de 0 ^k .158, por tonelada; se experimentó en él únicamente para probar los aceites a pesar de su baja ley.	400 grs.	Yoyote..... 10%	Petróleo crudo.. 50%	1. c.c.	61 grs.	15.25	0.830	0.031	329 grs.	80.1
	400 "	Chicalote..... 40 "	Gas Oil 20 "	1. c.c.	65 "	16.25	0.760	0.034	318 "	78.1
Para estas pruebas fué molido el mineral y tamizado por una malla del número 80.	400 "	Yerba Zorrillo.... 50 "	Petróleo crudo... 30 "	1. c.c.	43 "	10.75	0.920	0.059	345 "	62.5
	400 "	Yoyote..... 50 "	Gas Oil..... 20 "	1. c.c.	52 "	13.—	0.985	0.030	337 "	81.04
El mineral es una galena argentífera, conteniendo muy poca pirita y con matriz cuarzosa. Procede de la Mina de "Sta. Catarina," en Guachinango, Estado de Jalisco. Ley de Plata 0 ^k .460. Tamis número 80.	400 "	Chicalote..... 20 "	" " ... 30 "	1. c.c.	48 "	12.—	0.890	0.051	344 "	67.59
	400 "	Zorrillo 50 "	" " ... 30 "	1/2 c.c.	105 "	26.25	0.492	0.028	284 "	81.74
	400 "	Chicalote..... 20 "	" " ... 30 "	3. c.c.	186 "	46.50	0.295	0.021	204 "	86.81
	400 "	Yoyote..... 50 "	" " ... 30 "	1. c.c.	165 "	55.—	0.255	0.018	116 "	88.76
	300 "	Zorrillo 30 "	" " ... 30 "	1. c.c.	19 "	4.75	0.850	0.010	357 "	34.07
	300 "	Chicalote..... 40 "	" " ... 40 "	1. c.c.	52 "	17.33	0.770	0.024	240 "	84.47
	300 "	Zorrillo 60 "	" " ... 30 "	1. c.c.	48 "	16.—	0.730	0.041	292 "	73.92
	300 "	Yoyote..... 50 "	" " ... 60 "	2. c.c.	54 "	18.—	0.635	0.043	236 "	72.34
	300 "	Trementina..... 20 "	" " ... 60 "	3. c.c.	63 "	21.—	0.650	0.021	293 "	86.39
	300 "	Yoyote..... 20 "	" " ... 40 "	1. c.c.	42 "	14.—	0.790	0.047	246 "	70.—
	300 "	Trementina..... 10 "	" " ... 40 "	2. c.c.	50 "	16.66	0.732	0.036	245 "	77.21
	300 "	" 10 "	" " ... 40 "	3. c.c.	72 "	24.—	0.555	0.025	220 "	84.30
	300 "	" 10 "	" " ... 40 "	1. c.c.	53 "	13.25	0.980	0.028	340 "	82.18
	400 "	Yoyote..... 50 "	" " ... 30 "	2. c.c.	72 "	18.—	0.770	0.019	320 "	87.72
	400 "	Chicalote..... 20 "	" " ... 30 "	3. c.c.	93 "	23.25	0.650	0.068	295 "	95.34
	400 "	" 20 "	" " ... 30 "	1. c.c.	1 ^o 20 "	7.7	1 ^o 7.320	0.046	363 "	89.8
	400 "	Yoyote..... 10 "	" " ... 90 "	1. c.c.	2 ^o 11 "	10.5	2 ^o 1.720	0.090	355 "	80.3
	400 "	Aguarrás..... 25 "	" " ... 75 "	1/2 c.c.	1 ^o 30 "	17.75	1 ^o 4.370	0.028	321 "	93.9
	400 "	Yoyote 20 "	" " ... 70 "	1/2 c.c.	2 ^o 12 "	11.75	2 ^o 1.400	0.025	349 "	94.5
	400 "	Chicalote 10 "	" " ... 65 "	1/2 c.c.	1 ^o 33 "	10.5	1 ^o 3.610	0.027	353 "	94.—
	400 "	Aguarrás..... 35 "	" " ... 65 "	1/2 c.c.	2 ^o 38 "	5.25	2 ^o 1.410	0.032	370 "	93.01
	400 "	" 20 "	Alquitrán..... 30 "	1. c.c.	1 ^o 27 "	6.25	1 ^o 4.850	0.014	368 "	96.73
	400 "	Chicalote..... 20 "	" " ... 30 "	1. c.c.	2 ^o 20 "	5.5	2 ^o 2.150	0.046	370 "	89.91
	400 "	Yoyote..... 30 "	" " ... 30 "	1. c.c.	1 ^o 15 "	6.25	1 ^o 9.870	0.019	368 "	95.78
	400 "	Chicalote..... 20 "	" " ... 30 "	1. c.c.	2 ^o 27 "	5.25	2 ^o 0.920	0.032	370 "	93.01
	400 "	Yoyote..... 60 "	Asfaltina..... 50 "	1. c.c.	21 "	6.25	8.150	0.014	368 "	96.73
	400 "	Zorrillo..... 60 "	Alquitrán..... 40 "	1. c.c.	25 "	5.5	7.120	0.046	370 "	89.91
	400 "	Yoyote..... 30 "	Asfaltina..... 40 "	1. c.c.	22 "	6.25	7.520	0.019	368 "	95.78
	400 "	Chicalote..... 30 "	Asfalto..... 40 "	1. c.c.	25 "	6.25	7.050	0.019	368 "	95.78

Se han probado también los aceites de cacahuete, risino, linaza y ajonjolí, así como los producidos por la Compañía "El Aguila," tales como el Nautilus, Esperma, Diadema, Transf. núm. 2, Negro, Royal, Blanco, Polaris, Vencedor, Monarca, Dorado, Diamante, Imperial y Supremo, sin obtener resultados favorables. Actualmente se tiene en estudio el aceite de Napahuite.