

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**CONCENTRACION DE UNA MENA DE MANGANESO
E INSTALACION DE UNA CELDA DE FLOTACION.**

ISMAEL SEGURA VAZQUEZ

QUIMICO METALURGICO

1973

M-167896



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE QUIMICA
DEPTO. DE PASANTES Y
EXAMENES PROFESIONALES.

FORMA C

Universidad Nacional
Autónoma de
México

(AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO)

C. Director Gral. de Servicios Escolares
Universidad Nacional Autónoma de México,
Presente.

Me permito comunicar a usted, que el tema de T E S I S .

Titulado: "CONCENTRACION DE UNA MENA DE MANGANESO E INSTALACION DE UNA CELDA DE FLOTACION".

que presenta: EL SR. ISMAEL SEGURA VAZQUEZ

Pasante de la Carrera de: QUIMICO METALURGICO

Fué aceptado por el Jurado nombrado para dicho examen, el cual quedó integrado en la siguiente forma:

Presidente Prof.: GUILLERMO HERNANDEZ ANGELES

V o c a l " : CESAR RINGON ORTA

Secretario " : CARLOS ARANGO SOLORZANO

1er. Suplente : JOSE G. SOLORIO MUNGUA

2o. Suplente " : NICOLAS JAIME VILLAPAÑA

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU "
Cd. Universitaria D.F., a 1^{er} de JUNIO de 1973

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES
Y EXAMENES PROFESIONALES.

~~QUIMICO~~ JULIO TERAN

Introducción

Capítulo I Teoría de la concentración de minerales por flotación.

Capítulo II Investigación de la flotación de una mena de manganeso.

Capítulo III Instalación de una celda de flotación de minerales.

Capítulo IV Programa de prácticas a realizar en la celda.

Conclusiones.

Bibliografía Consultada.

INTRODUCCION

Importancia del Manganeso en la economía moderna.- Las necesidades bélicas de las 2 guerras mundiales, pero fundamentalmente la segunda, motivaron importantes adelantos técnicos en la elaboración, calidad y adaptabilidad de los aceros, en efecto, se perfeccionó la técnica de producción lo que permitió obtener un producto refinado y de mejor calidad.

Los estudios en la metalurgia del acero contribuyeron a una mejor regulación de las reacciones metalúrgicas y de las escorias, así como de las mediciones térmicas en hornos abiertos y eléctricos, pero sin duda alguna, la mayor contribución a la metalurgia del acero fué el perfeccionamiento de los aceros especiales, entre los elementos que producen estos tipos de aleaciones se encuentra el manganeso.

Este elemento tiene una importancia enorme sobre todo en la industria siderúrgica, en la cual se le emplea en forma de ferroaleaciones (spiegels).

El hecho de que la siderurgia dependa del manganeso además del hierro y del carbón, para obtener aceros de calidad, hace de este elemento un componente insustituible en la desoxidación, desulfuración y recarburación de los aceros.

Además de las funciones antes señaladas le confiere al acero las siguientes propiedades:

- a.- Aumenta la resistencia a la ruptura.
- b.- Mejora las propiedades de laminación, es decir, hace que el acero pueda ser trabajado en caliente.

La mayoría de los hierros y aceros tienen un contenido de manganeso que va del 0.1 al 10 %, otros de mejor calidad contienen de 11 a 14 % y los muy finos --

contienen de 15 hasta 35 %.

Los usos que se dan a las aleaciones de este elemento son variados, como ejemplo tenemos los siguientes: chapas para blindajes, proyectiles, ruedas para automóviles, agujas ferroviarias, trituradoras, maquinaria para cortar, moler y dragar, etc.

Del manganeso que actualmente se produce en el ámbito internacional se consume en la siderurgia del 90 al 95 %, el resto se usa en la industria química, como colorante en la fabricación de tintas, como decolorante en la fabricación de vidrio, en la industria de esmaltes de porcelana, alfarería, etc.

El Manganeso en el mercado internacional.- En la actualidad el mercado internacional presenta un marcado estrechamiento geográfico, producto de la competencia entre dos sistemas políticos. Como consecuencia el mundo se divide en dos grandes zonas, por un lado la occidental, que vive bajo el régimen de economía capitalista y por otro lado, la zona de los países de la cortina de hierro. México se encuentra localizado en el primer grupo.

Después de Rusia, que aporta alrededor del 45% de la producción mundial, el capital británico controla desde el punto de vista comercial la parte más considerable del manganeso producido en el ámbito mundial sus explotaciones entre otras comprenden las minas de Asia, Africa Británica del este, Malaya, India y Ghana.

Hasta antes de la 2ª guerra mundial, el principal país oferente fue la Unión Soviética, la que poco a poco fue reduciendo sus exportaciones para dar mayor atención a sus necesidades industriales.

Después del 2º conflicto mundial, los principales países exportadores han sido India, Ghana, Unión

Sudafricana, Congo Belga, Brasil, Cuba y México.

Demanda mundial.- La demanda del mineral mangánífero se halla en proporción directa con la producción de acero, en consecuencia, son las potencias industriales las que consumen el grueso de la producción mundial como son: Estados Unidos, Rusia, China Continental, Alemania Occidental y Francia, en menor proporción Japón, Holanda y Bélgica, de los cuales el único que produce el mineral suficiente para cubrir sus necesidades industriales es la U.R.S.S.

El Manganeso en el mercado nacional.- La existencia de minerales de manganeso en México era conocida desde los tiempos de la colonia, sin embargo no se llegaron a explotar en esa época por la carencia de industrias que lo consumieran y de un amplio mercado exterior donde pudiera ser vendido. Fue hasta los primeros años del presente siglo, cuando algunos mineros se dieron cuenta de sus posibilidades económico-industriales, sin embargo, la explotación comercial se inició en el segundo decenio del siglo actual.

La primera guerra mundial favoreció la explotación de yacimientos mangáníferos, cuya producción se vio limitada a la potencialidad de los que en esa época se conocían; al terminar el conflicto la reducción de la demanda internacional ocasionó un descenso en las cotizaciones y en consecuencia un decaimiento en la minería del manganeso, la cual quedó restringida a las necesidades domésticas, fundamentalmente de Hierro y Acero de Monterrey.

En la 2ª guerra mundial se realizaron exploraciones en territorio nacional, como resultado de estas se localizó manganeso en 20 estados y un territorio de la República Mexicana.

En el período 1950-54, la General Services Administration del Gobierno Norteamericano adquirió una gran cantidad de mineral de baja ley, con objeto de elevarla para acumular grandes existencias, tal hecho permitió la explotación de minerales de baja ley y del descubrimiento de nuevas zonas mangáníferas como las de Aulán, Jalisco, en donde hasta antes de 1954 existió un considerable número de concesiones en favor de pequeños mineros de la región.

El crecimiento de la industria siderúrgica nacional y en especial la demanda norteamericana han estimulado en tal forma la minería del manganeso, que han colocado al país entre los principales productores de occidente.

CAPITULO I

TEORIA DE LA CONCENTRACION DE MINERALES POR FLOTACION

El proceso de flotación es el método más extensamente usado, tratándose de concentraciones húmedas de las menas, para separar los constituyentes valiosos de la ganga.

Este proceso está basado en fenómenos de superficie y de peso específico de las partículas minerales, los cuales juegan un papel muy importante en la separación.

En la utilización práctica de este fenómeno, --- cuando las burbujas de aire son introducidas en la pulpa propiamente tratada, las partículas de ciertos minerales atacan a las burbujas, mientras que otros minerales no se adhieren y permanecen en suspensión.

Las burbujas cargadas de mineral se elevan a la superficie de la pulpa como espuma o concentrado, el --- cual rebosa la máquina de flotación por gravedad o puede ser removido por algún mecanismo deslamador.

La parte no flotable, llamada celas, se descarga por el fondo de la máquina por medio de un mecanismo para este propósito. En general, este proceso opera mediante un número de factores fisicoquímicos interrelacionados, entre los cuales se encuentran:

- a.- Grado de mojabilidad de las diferentes partículas --- por medio del agua.
- b.- Grado de aptitud de algunas partículas para adherir se a las burbujas de aire.
- c.- La afinidad de ciertas partículas minerales para --- ciertos tipos de compuestos químicos o reactivos.

El concepto fisicoquímico del mecanismo de la --- flotación toma en consideración tanto este aspecto como la energía superficial, la tensión superficial, la ad---sorción, el ángulo de contacto, la polaridad y la reac-

tividad.

En general, existen tres tipos de flotaciones :

- 1.- Flotación de película (Film flotation).
- 2.- Flotación con aceite en grandes volúmenes (Bulk oil flotation).
- 3.- Flotación con espuma (Froth flotation).

En los albores del desarrollo del proceso de flotación, los dos primeros tipos fueron ampliamente usados comercialmente, pero actualmente solo el tercero tiene importancia.

El tipo de flotación por medio de espuma necesita la adición de reactivos específicos para una pulpa que tendrá las siguientes características:

a.- Necesitará una espuma con las características deseadas.

b.- Modificará la superficie del mineral o minerales que van a ser flotados, los cuales se adherirán a la superficie de las burbujas,

c.- Modificará la superficie de los minerales indeseables, los cuales no se adherirán a la superficie de las burbujas.

Tipos de menas susceptibles de concentrarse por flotación.- Durante los primeros años del desarrollo del proceso de flotación se consideró aplicable solamente a menas sulfuradas, posteriormente, como resultado del estudio de técnicas y reactivos se fué desarrollando la flotación de minerales no sulfurados y no metálicos, en la cual se emplearon ácidos débiles, jabones y emulsiones.

El siguiente paso fué el descubrimiento de cierto tipo de agentes mojantes aniónicos, más efectivos que los anteriores, posteriormente se descubrió una nueva clase de reactivos llamados catiónicos, los cuales

se caracterizan por su marcada actividad selectiva sobre el cuarzo y los silicatos.

Generalmente, a la luz de los recientes descubrimientos en materia de flotación, casi todos los minerales bien conocidos que tienen importancia comercial pueden ser tratados por este proceso.

La siguiente es una lista de tipos de minerales que son susceptibles de concentrarse por medio de este proceso:

1.- Minerales sulfurados de plomo, cobre, zinc fierro, cobalto, níquel y plata, sulfoarseniuros y antimonio, así, como sulfuros de arsénico, antimonio, bismuto, molibdeno, mercurio y estaño.

2.- Minerales metálicos como son los siguientes: cobre, oro (también telururos), plata, fierro, aluminio y estaño.

3.- Carbonatos con base metálica, incluyendo carbonatos de plomo y sulfatos, carbonatos y óxidos de cobre y óxidos de cobalto.

4.- Óxidos de fierro, tungsteno, aluminio, vanadio, manganeso, estaño, cromo y titanio.

5.- Carbonatos de calcio, manganeso, magnesio, estroncio y bario.

6.- Sulfatos, fosfatos, cloruros, fluoruros, boratos, etc., por ejemplo: barita, yeso, fluorita, bórax, celestita, cerargirita, criolita, halita, silvita apatita, colofonita y monacita.

7.- Carbón y materiales carbonosos, azufre, etc.

8.- Silicatos, como son: talco, feldespatos, cuarzo, mica cianita, andalucita, berilo, caolinita, circón, nefelita, diatomita, silimanita, vermiculita y granate.

Tamaño de las partículas minerales susceptibles de flotación.- Aunque en algunos casos de la flotación

del carbón, es posible tratar el mineral con un grueso de 10 mallas, generalmente en la flotación por espuma se trabaja mejor con tamaños menores de 35 mallas. Los minerales con tamaño de partícula grueso, conviene más tratarlos por otros métodos de concentración.

Generalmente la flotabilidad de los minerales tiende a decrecer en los límites de extrema fineza, en la cercanía a las 600 mallas o más fino.

~~La~~ La flotación como método de concentración de minerales esté constituida por los siguientes pasos:

I.- Acondicionamiento (Activación, Depresión).

II.- Colección.

III.- Espumado.

I.- Aunque muchas de las reacciones entre reactivos y minerales en el proceso de la flotación son -- prácticamente instantáneas, hay casos donde el tiempo es apreciado para conseguir los efectos deseados, entonces es cuando la pulpa debe ser acondicionada.

Normalmente, el paso del acondicionamiento sigue al de la molienda, en muchos casos se obtienen mejores resultados si se tiene una pulpa de gran densidad, algunas veces de 70 a 80 % de sólidos, algunas veces se le inyecta aire al tanque de acondicionamiento para obtener las reacciones deseadas. Ocasionalmente la temperatura de la pulpa se eleva en el acondicionamiento, lo cual ayuda a la colección y a la selectividad.

El tiempo de acondicionamiento en las plantas de flotación, el cual, en promedio representa el resultado de una investigación eficaz, varía de fracción de minuto en operaciones simples con reactivos solubles, a 5 o 10 horas en operaciones laboriosas. El tiempo usual en una flotación de plomo-zinc es de 5 minutos en

el circuito de acondicionamiento del plomo, y de 15 a 30 minutos en el circuito acondicionador del zinc.

Los tanques que se usan para este efecto, además de contribuir con el factor tiempo, dispersan los reactivos y a la vez mantienen la pulpa con partículas sólidas en suspensión.

Siempre es bueno tener tanques para acondicionamiento con los medios para producir flujo circular y de suficiente velocidad para prevenir la sedimentación. Para pulpas de grano grueso probablemente los tanques normales sean pequeños, tomando en cuenta la vigorosa agitación, necesaria para mantener la suspensión y el factor de largo tiempo sería logrado por la repetición del tratamiento en tanques posteriores.

Los tanques más usuales para este propósito se presentan en las figuras 1, 2, y 3:

- 1.- Agitador Devareaux.
- 2.- Acondicionador Denver.
- 3.- Tanque tipo Pachuca para pulpas con grano grueso.

* Activación.- Como parte del acondicionamiento consiste en un tratamiento específicamente dirigido para lograr y mantener una cobertura efectiva del colector sobre las partículas minerales deseadas, para lo cual se usan agentes activantes, un ejemplo de sustancia activadora lo constituye el sulfato de cobre para flotar esfalerita y marmatita. Otros ejemplos los constituyen el sulfato de sodio para minerales como sulfato y carbonato de plomo.

El uso del ácido fluorhídrico para la flotación de feldespatos con colectores catiónicos y el de varios minerales no metálicos con colectores aniónicos del tipo de los ácidos débiles, es muy importante.

Depresión.- También forma parte del acondiciona

miento y consiste en la prevención de la entrada de especies minerales indeseables en los concentrados o parte superior de la suspensión.

La función de los reactivos que se usan, llamados depresores, consiste en atenuar la flotabilidad de una especie, mineral y permitir la del otro. Ejemplos de depresores se tienen a continuación, como son los cianuros alcalinos para separar galena de esfalerita y pirita o sulfuros de cobre de pirita.

A continuación se citan algunos ejemplos de depresores como lo son:

Cal para deprimir pirita.

Los sulfitos de sodio y calcio para deprimir esfalerita.

Sulfato de zinc y cianuros alcalinos para deprimir esfalerita.

Cromatos para deprimir galena.

Permanganatos para deprimir pirrotita y pirita en presencia de arsenopirita.

Quebracho para deprimir pirrotita y pirita en presencia de arsenopirita.

Quebracho para deprimir calcita, cuando se flota fluorita.

Silicato de sodio para deprimir calcio, etc.

(El pH.) Juega un papel muy importante en el acondicionamiento, por lo cual, para cada mena existen límites en el pH dentro de los cuales se obtienen óptimos resultados. Para valores de pH menores de 7 se usan ácidos como el sulfúrico, el cual tiende a incrementar la flotabilidad de los sulfuros, pero su acción no es selectiva, además presenta la desventaja de corroer el equipo.

Para valores de pH superiores a 7 se usan reactivos como la cal, sosa cáustica, etc.

En general, se usa el ión hidroxilo para este propósito, el cual es muy efectivo para precipitar iones de metales pesados. La siguiente gráfica demuestra la influencia del colector sobre el pH en la flotación de algunos minerales a ciertas temperaturas, y las figuras 4 y 5 ilustran la influencia del pH sobre el ángulo de contacto.

Mineral	Colector						
	Xantato etílico de potasio a:						
	18°C	4.4°C	35°C	ibf	jcf	kdf	lef
Arsenopirita..	8.4	....	....	...	....	....	....
Bornita.....	13.8	....	....	...	....	....	....
Chalcocita....	14.0	....	....	...	....	....	....
Chalcopyrita..	11.8	13.0	10.8	9.4	13.0	13.0	13.0
Covelita.....	13.2	....	....	...	....	....	....
Galena.....	10.4	10.8	9.7	6.2	13.0	12.1	13.0
Marcasita.....	11.0	....	....	...	....	....	....
Pirita.....	10.5	10.2	10.0	3.5	10.5	12.3	12.8
Pirrotita.....	6.0	....	....	...	....	....	....
Esfalerita....	g	....	....	...	6.2	5.5	10.4
Tetraedrita...	13.0	....	....	...	....	....	....

a.- 25 mg./libra
 b.- 32.5 mg./libra
 c.- 26.7 mg./libra
 d.- 31.6 mg./libra
 e.- 42.3 mg./libra
 f.- Temp. ambiente
 g.- Ningún contacto posible para cualquier pH sin activación.

h.- El incremento en la concentración del colector aumenta el valor del pH crítico.
 i.- Aerofloat sódico A
 j.- Dietil-ditiocarbamato sódico.
 k.- Xantato isoamílico potásico.
 l.- Di-n-amilditiocarbamato potásico.

Tabla de diferentes valores críticos para pH, producidos para diferentes reactivos.

Concentración en mg./libra de ditiofos-
fato sódico.

Mineral	10	25	50	100	200	300	400	500
Pirita.....	...	3.5	4.5	5.1	5.4	5.7	5.8	5.9
Galena.....	4.0	6.5	6.8	7.3	8.0	8.3	8.6	8.8
Chalcopyrita..	9.0	9.5	9.7	10.0	10.2	10.5	10.7	10.8

Tabla de los efectos de la concentración del co-
lector sobre el pH.

II.- La colección comprende cambios en la super-
ficie del mineral, como consecuencia de este se torna re-
pelente al agua mientras que otras especies minerales no
resultan afectadas en este aspecto, cuando ocurre esto úl-
timo se dice que el mineral se moja; como consecuencia de
lo anterior, a los reactivos que efectúan la colección se
les llama Colectores.

Existen algunas teorías respecto a la forma en --
que se efectúan los cambios en la superficie de las parti-
culas minerales, entre las cuales se encuentra la Teoría
Química de la colección, que está formulada de la siguien-
te manera: Todos los reactivos disueltos en pulpas de flo-
tación, por acción sobre las partículas minerales, afec-
tan su flotabilidad, lo cual está en función de reaccio-
nes químicas de tipo reconocido, entre el reactivo y la -
partícula afectada.

Los factores que afectan los resultados de la co-
lección se consideran como sigue: a.- Solubilidad de la
mena, b.- Oxidación de las menas sulfuradas con formación
de sulfatos, c.- Intercambio de iones entre el colector y
la superficie del mineral, d.- Naturaleza de la película
del colector, e.- Orientación de las partículas con res-
pecto a las fórmulas de los compuestos colectores.

(Agentes Colectores).- Estas substancias son compu-
estos orgánicos (Acidos débiles, bases y sales) y efectú-

an sus funciones desde el punto de vista químico. La efectividad de este tipo de reactivos depende en gran parte del ángulo de contacto entre las partículas minerales y las burbujas que se producen.

A continuación se dan algunos ángulos de contacto para grupos funcionales: Metilo=50°, Etilo= 60° Propilo= 68°, Butilo= 75°, Amilo= 84°, Isoamilo= 86°, etc.

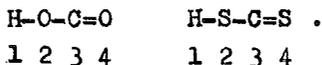
La importancia de lo anterior es decisiva, ya que la recolección obtenida con una cantidad dada de colector se incrementa con el ángulo de contacto y -- disminuye cuando se aumenta el número de carbonos en una serie homóloga.

Existe una clasificación de los colectores -- desde el punto de vista del carácter de sus iones, de tal manera que pueden ser Aniónicos o Catiónicos.

Colectores Catiónicos.- Este tipo de agentes colectores está agrupado en un pequeño número de clases basadas en la actividad de sus grupos funcionales, los cuales determinan su capacidad para atacar las partículas minerales.

Las fórmulas generales para este tipo de colectores son de varias clases: R-COOH, R-SH, R-SO₃H, en las cuales R significa el grupo funcional de que se trate y H es la parte ácida, comúnmente estos colectores se usan en forma de sales de sodio y potasio.

A continuación se explica la Regla de Vörländer para definir el carácter ácido de los colectores, la cual se enuncia de la siguiente manera: será de carácter ácido el compuesto cuya fórmula tenga doble enlace, es decir, sea insaturado, entre el tercero y el cuarto átomos de la cadena, como se ejemplifica a continuación:



Los xantatos son los principales colectores del primer grupo y su utilidad es muy grande en la colección de metales pesados y de los preciosos, ambos insertados en minerales sulfurados u oxidados. Este tipo de reactivos se produce por reacción entre el busulfuro de carbono, un alcohol y una base fuerte. La fórmula general estructural es la siguiente: $RO-\underset{\text{S}}{\underset{|}{\text{C}}}-S-H$, donde R es el grupo alquilo.

La efectividad de los Xantatos como colectores se incrementa con el peso molecular del radical alcohol.

Los xantatos de metilo son eficaces como colectores de minerales de cobre, mercurio y plata.

Los xantatos de etilo y los que tienen radicales de 4 y 5 carbonos son buenos colectores en condiciones normales, sin activadores, para todos los sulfuros de metales pesados, excepto la esfalerita y la pirrotita.

A continuación se anexa una tabla de efectividad de los xantatos sobre algunos minerales:

Sulfuro	Xantato de:				
	Metilo-	Etilo-	Propilo-	Butilo-	Amilo
Pirrotita.....	Activación necesaria				
Esfalerita....					
Pirita.....					
Galena.....					
Chalcopirita..	Activación innecesaria				
Bornita.....					
Chalcocita....					
De Hg y Ag....					

Tiofosfatos.- Son otro tipo de colectores catiónicos y resultan de la reacción del pentasulfuro de fósforo con reactivos como los fenoles, alcoholes, mercaptanos, tioalcoholes y aminas.

Cuando se produce la reacción entre un fenol o un alcohol y pentasulfuro de fósforo, se obtienen los llamados aerofloats, los cuales tienen como fórmula estructural la siguiente:

$$\begin{array}{c} \text{RO} \quad \text{S} \\ \quad \diagdown \quad \diagup \\ \quad \text{P} \\ \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{RO} \quad \text{SH} \end{array}$$

Estos compuestos --
forman sales rela--
tivamente insolubles con metales pesados.

Algunos investigadores han encontrado que los ditiofosfatos de metales pesados son más solubles que los correspondientes xantatos, y que como colectores son los que se afectan más fácilmente por los depresores.

Como consecuencia de lo anterior, los sulfuros de fierro son los que se deprimen más fácilmente. Por otro lado, en pulpas alcalinas o ligeramente ácidas -- son muy efectivos para flotar sulfuros de fierro.

El promedio en peso de las cantidades que frecuentemente se usan en estos reactivos es de 0.26 lb./ten.

Colectores carboxílicos. -- Este grupo comprende los ácidos y las sales, en los cuales el grupo activo (-COOH), donde X es un nitrógeno o un hidroxilo.

Estos colectores comúnmente son ácidos débiles y sus sales alcalinas (jabones) son muy usuales en la flotación de minerales metálicos, a la cual se llama -- comúnmente, flotación con jabón.

Los ácidos débiles comprenden ciertas series -- homólogas de compuestos que consisten en una cadena de hidrocarburos con un radical -COOH al final, de manera que su fórmula general es R-COOH, de estos reactivos, el más usual es el ácido oleico y el palmítico, para la flotación de hematita.

El orden de efectividad de estos reactivos es el siguiente: Ácido oleico, Laurico, Palmítico, Caprilico, Esto es para menos de una tonelada de colector.

Jabones.- Son sales metálicas de ácidos débiles (R-COOM). Los jabones de sodio son más fuertes que los de potasio, por lo cual son de uso doméstico ordinario. Estos jabones son ionizables en agua y repelentes de la misma, por lo tanto, son adheribles a la superficie metálica de las partículas minerales.

Acidos débiles.- Son colectores para todos los minerales, los cuales en agua liberan iones de metales ligeros y pesados. Este factor ha tenido el efecto de hacer de estas colectoras grandemente selectivos y por esta razón han sido suplantados para coleccionar metales pesados, por los sulfhidratos, los cuales no forman sales insolubles con los metales ligeros.

Los ácidos débiles son colectores para los minerales de Fe y Mn, aunque se usan para algunos minerales de oro, también se usan para minerales de cobre, como carbonatos.

Las cantidades que se requieren de jabones y de ácidos débiles en una flotación, varían enormemente con las condiciones de la pulpa y el método que se vaya a usar.

Colectores catiónicos.- Estos compuestos son sustancias orgánicas ionizables, en los cuales, el ión que transporta los grupos reactivos se llama catión.

Tienen como fórmula general $R-N(R')_n-Y$, donde R es el grupo alquilo, R' es hidrógeno o un grupo alquilo diferente, N es nitrógeno pentavalente, n es un número igual a la valencia de N reducido por dos, y Y es un anión ácido o un hidroxilo.

Todo esto comprende el grupo de los radicales "onio", que puede ser: Tetramonio, piridinio, sulfonio, etc. Un ejemplo de lo anterior lo son las aminas, las cuales son derivados del amoniaco, en el cual uno o más de los hidrógenos se reemplaza por un radical hidrocar-

buro, y pueden ser primarias, secundarias o terciarias de acuerdo con el número de hidrógenos substituidos. Un ejemplo de estos reactivos lo es la alfa-naftilamina, que se usa en la flotación del sulfuro de cobre.

Generalmente el uso que se les da es en la flotación de silicatos, incluyendo el cuarzo, aunque son de gran utilidad en la flotación de tungstatos, molibdatos, vanadatos, cromatos y arsenatos.

La reacción de las aminas con el cuarzo, consiste en la formación preliminar de una película de ácido silícico sobre la superficie de las partículas, de acuerdo con la siguiente reacción: $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SiO}_3$, seguida de la reacción de un hidroxilo con una amina: $\text{RNH}_3\cdot\text{OH} + \text{H}_2\text{SiO}_3 = (\text{RNH}_3)\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

III.- Espumado.- El término espumado en flotación significa el mantenimiento de una masa de burbujas sobre la superficie de una pulpa, a las cuales se adhieren en sus paredes las partículas del mineral.

La función de esta espuma difiere según el método de adhesión de las burbujas empleado.

La prolongación de la vida de las burbujas es un elemento esencial en el espumado. Este factor es necesario para dar tiempo al drenado deseado, ya que más allá de la vida de la espuma se producen problemas que dificultan el drenado.

En un medio de agua pura no se produce espumado, y con agua más o menos contaminada por las pulpas de la molienda, el espumado es muy pequeño. Bajo las mismas condiciones, la adición de pequeñas cantidades de ciertos reactivos como cresol, aceite de pino, etc. se produce el espumado y se incrementa la resistencia de las paredes de las burbujas.

Los agentes espumantes cuando se agregan en pequeñas cantidades, no afectan la viscosidad del agua, pero bajan la tensión superficial y se concentran (adsorben) en la interfase, entre el agua y las paredes de las burbujas con las partículas.

La función esencial de los agentes espumantes es impartir a la película capacidad para ajustar sus tensiones internas, incrementar la resistencia externa por lo tanto se incrementa la vida individual de las burbujas y de esta manera es posible efectuar la colección en la espuma.

Los electrolitos en solución tienen varios efectos sobre la espuma de acuerdo con su carácter.

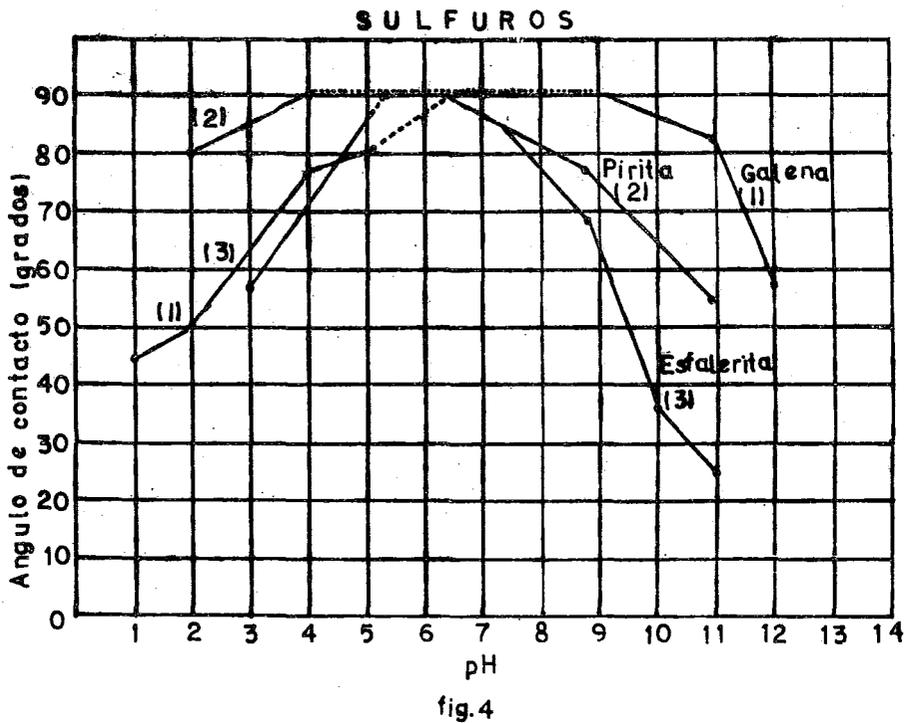
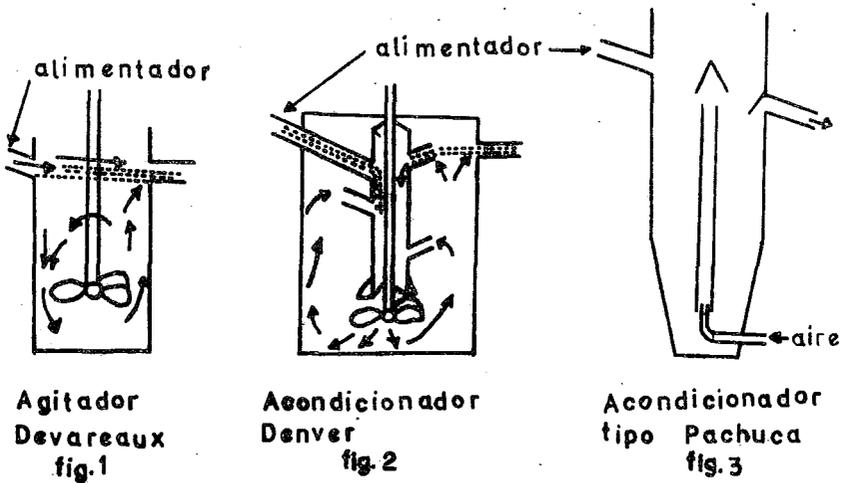
Los ácidos disminuyen el espumado, esto es, cuando se usan ácidos débiles como colectores. Los alcalis a su vez incrementan el espumado.

Los electrolitos neutros, que resultan en el líquido de la molienda no presentan marcados efectos sobre la espuma.

Agentes espumantes.- Estas sustancias se disuelven en la parte líquida de proceso de flotación y cambian la tensión superficial del sistema gas-solución.

Si estos agentes bajan la tensión superficial del solvente, el sesgo de la curva Concentración-tensión superficial es negativo y la adsorción es positiva, por lo tanto, el reactivo se encuentra en la superficie de las burbujas, en cambio, si se eleva la tensión superficial, se encuentra fuera de la interfase.

La gráfica típica Concentración-tensión superficial (fig. 6), para soluciones acuosas, donde la curva C es representativa de la mayoría de los compuestos



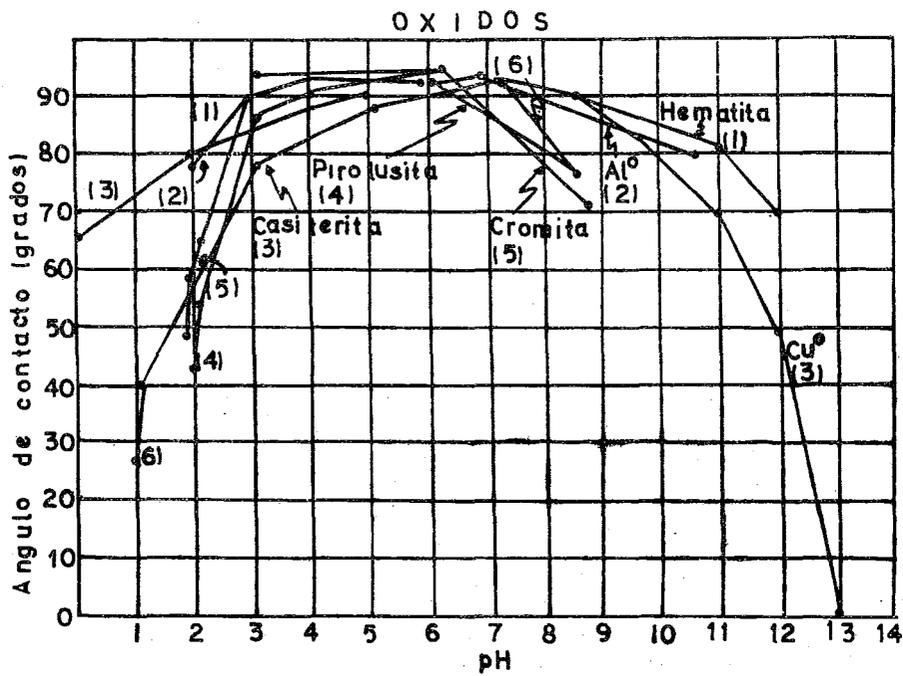


fig. 5

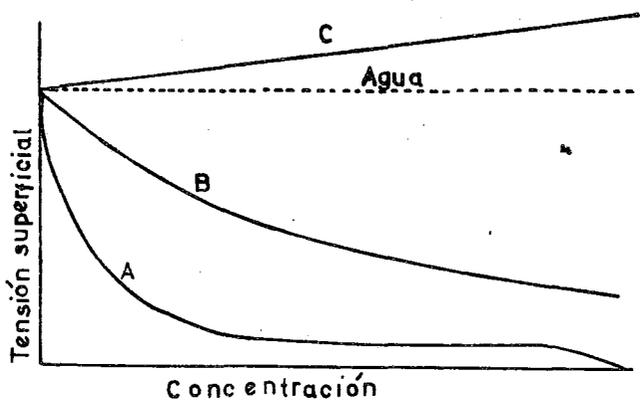


fig. 6

inorgánicos.

Los compuestos que presenta la curva A son buenos espumantes a bajas concentraciones, porque el grado de adsorción es bastante grande y consecuentemente, el cambio en la tensión superficial también es grande para pequeños cambios de concentración.

Los principales agentes espumantes, los cuales tienen un amplio uso son sustancias como:

Aceite de pino.

Aceite de eucalipto.

Acido cresílico (también llamado cresol).

Jabones.

Aerofloats.

Alcoholes alifáticos, etc.

Las cantidades que se emplean de los espumantes en el proceso de la flotación varían de 0.05 g./ton. a 0.20 g./ton.

Adhesión de las burbujas a las partículas minerales.- El mecanismo fundamental de adhesión de una burbuja a una superficie sólida es completamente desconocido, solamente se puede explicar basándose en la segunda ley de la termodinámica, ya que cuando una burbuja se adhiere a una partícula en medio acuoso, habiendo equilibrio estático, el sistema se extiende a un nivel de mínima energía potencial para las condiciones que prevalecen.

La ecuación de Young expresa la relación de equilibrio entre las fuerzas involucradas, como lo muestra la figura 7.

$$T_{WS} + T_{WA} \cos \theta = T_{AS} \dots\dots\dots (1)$$

T_{WS} , T_{WA} y T_{AS} son las tensiones superficiales de las interfases aire-sólido, agua-aire, agua-sólido respectivamente, y θ es el ángulo de contacto, T_{AS} y T_{WS}

no pueden ser medidos. Pero por la segunda ley de la termodinámica, el trabajo por unidad de área para una sola burbuja es:

$$W = E_{WA} + E_{WS} - E_{AS} \dots \dots \dots (2)$$

Donde E es la energía interfacial por unidad de área. Pero E_{WA} es numéricamente igual a T_{WA} , etc. entonces combinando las ecuaciones (1) y (2) resulta:

$$W = T_{WA} - T_{WA} \cos.\theta = T_{WA} (1 - \cos.\theta).$$

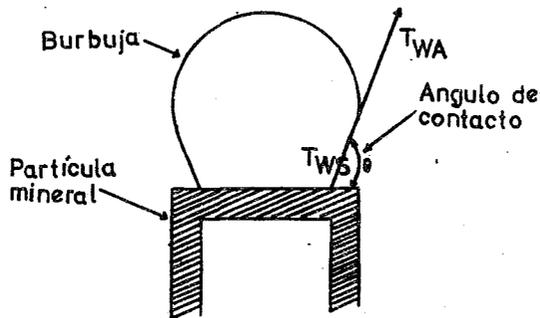


fig. 7

CAPITULO II

INVESTIGACION DE LA FLOTACION DE UNE MENA DE MANGANESO

Este capítulo se dedica a la concentración de una mena de manganeso proporcionada por la Minera Autlán.

Las especies mineralógicas encontradas en la misma son las siguientes: Rodocrosita ($MnCO_3$), Pirolusita (MnO_2) y calcita ($CaCO_3$), ésta última forma parte de la matriz y el manganeso se encuentra en este mineral en -- cantidad suficiente para considerarlo manganocalcita.

La ley del mineral, o sea la de las cabezas es -- de 24,74 %, lo cual indica que se trata de un mineral po bre.

Este mineral está considerado en el primer grupo de minerales de manganeso del libro Modern Mineral Pro-- cessing Flowsheets de la compañía Denver Equipent, es de cir, corresponde al tipo de gran contenido de calcita.

A continuación se efectúan una serie de pruebas o ensayos tendientes a la concentración del mencionado -- mineral.

Prueba No. 1

Flotación de un mineral de Mn	Molienda: -100 mallas
Variedades minerales: Rodocrosita	Dilución: 4 ml. H_2O
Pirolusita	por 1 g. de mineral.
Peso de la muestra: 1000 g.	pH: 6.7 t: 25°C
	Cantidad Cantidad Tiempo
Reactivos	(kg./ten.) (gramos) (minutos)
Acondicionante:	
Colector: Aero 765	0.4 0.4 2.0
Espumante: Aceite de pino	0.5 0.5 2.0

Tiempo de flotación: No hay

Balance metalúrgico: No hay

Observaciones.- En este prueba solo se recibie--
ron lamas en vez de concentrados, ya que el tamaño de --

las partículas de la muestra es muy pequeño. Esta experiencia será de gran utilidad para las siguientes, ya que el resultado indica que se tiene que verificar una deslamación previa al ensayo.

En la siguiente experiencia se trabajará con una molienda cuyas partículas son de tamaño: - 65 + 100 mallas.

Prueba No. 2

Flotación de un mineral de: Mn	Molienda: -65 + 100 mallas
Varietades minerales: Rodocrosita, Pirolusita	Dilución: 4 ml. H ₂ O/1 g. de mineral.
Peso de la muestra: 1000 g.	Agitación: 1200 R.P.M. pH: 6.7 t: 25 °C

Reactivos	Cantidad (kg./ton.)	Cantidad (gramos)	Tiempo (minutos)
Acondicionante:			
Colector: Aero 765	0.4	0.4	2.0
Espumante: Aceite de pino	0.5	0.5	2.0
Tiempo de flotación: 2.0			

Balance metalúrgico

Producto	Peso en g.	Peso en %	Ley	Contenidos	Recuperación
Conc.	98.26	9.82	0.3250	0.0319	15.15
Colas	901.74	90.18	0.2321	0.2091	84.85
	1000.00	100.00		0.2400	100.00
Relación de concentración: 10 g. de min./1 g. de conc.					
Ley analizada: 24.74		Ley calculada: 24.00			

Observaciones.- La ley, la recuperación y la relación de concentración no son buenas. Por lo tanto, en la siguiente flotación se variará la concentración de los reactivos.

Prueba No. 3

Flotación de un mineral de Mn	Molienda: -65 + 100 mallas
Varietades minerales: Rodocrosita	Dilución: 4 ml. H ₂ O/1 g. de mineral.
Pirolusita	

Peso de la muestra: 1000 g. Agitación: 1200 R.P.M.

pH: 6.7 t: 25°C

Reactivos	Cantidad (kg./ton.)	Cantidad (gramos)	Tiempo (min.)
-----------	------------------------	----------------------	------------------

Acondicionante:

Colector: Aero 765	0.4	0.4	2.0
--------------------	-----	-----	-----

Espumante: Aceite de pino	0.5	0.5	2.0
---------------------------	-----	-----	-----

Tiempo de flotación: 2.0

Balance metalúrgico

Producto	Peso en g.	Peso en %	Ley	Contenidos	Recuperación
Conc.	117.24	11.72	0.3420	0.0400	17.40
Colas	882.76	88.28	0.2200	0.1942	82.60
	1000.00	100.00		0.2342	100.00

Relación de concentración: 8.5 g. min./ l de conc.

Ley analizada: 24.74 Ley calculada: 23.42

Observaciones.- Esta flotación mejoró ligeramente, pero no es satisfactoria, por lo tanto, en la siguiente se modificará otra variable, es decir, se empleará un acondicionante como es el Na_2CO_3 , el cual por su alcalinidad modificará el pH, también se empleará otro colector como es el Aero 710.

Prueba No. 4

Flotación de un mineral de: Mn Molienda: -65 + 100 mallas

Varietades minerales: Rodocrosita, Pirolusita Dilución: 4 ml. H_2O /1 g. de mineral

Peso de la muestra: 1000 g. pH: 7.5 t: 25°C

Reactivos	Cantidad (kg./ton.)	Cantidad (gramos)	Tiempo (min.)
-----------	------------------------	----------------------	------------------

Acondicionante: Na_2CO_3	1.0	1.0	2.0
--	-----	-----	-----

Colector: Aero 710	0.7	0.7	2.0
--------------------	-----	-----	-----

Espumante: Aceite de pino	0.5	0.5	2.0
---------------------------	-----	-----	-----

Tiempo de flotación: 2.0

Observaciones.- Mejoraron bastante, la recuperación, la relación de concentración y la ley, aunque esta última no ha dejado de ser baja.

El siguiente paso consiste en variar el tiempo - de flotación, es decir, hacerlo mayor.

Prueba No. 6

Flotación de un mineral de: Mn Molienda: -65 + 100 mallas
 Variedades minerales: Rodocrosita. Dilución: 4 ml. H₂O/1 g. de mineral.

Peso de la muestra: 1000 g. Agitación: 1200 R.P.M.
 pH: 8.1 t: 25°C

Reactivos	Cantidad (kg./ton.)	Cantidad (gramos)	Tiempo (min.)
Acondicionante: Na ₂ SiO ₃	1.0	1.0	2.0
Colector: Aero 710	0.7	0.7	2.0
Espumante: Aceite de pino	0.5	0.5	2.0

Tiempo de flotación: 2.0

Balance Metalúrgico

Producto	Peso en g.	Peso en %	Ley	Contenidos	Recuperación
Conc.	392.13	39.21	0.4211	0.1651	69.98
Colas	607.87	60.79	0.1171	0.0711	30.02
	1000.00	100.00		0.2362	100.00

Relación de concentración: 2.25 g. min./ l de conc.

Ley analizada: 24.74 Ley calculada: 23.62

Observaciones.- Mejoraron bastante, la ley, la recuperación y la relación de concentración, aunque creo que la temperatura es una variable muy importante, la cual se aumentará en la siguiente prueba.

Prueba No. 7

Flotación de un mineral de: Mn Molienda: -65 + 100 mallas
 Variedades minerales: Rodocrosita. Dilución: 4 ml. H₂O/1 g. de mineral.

Peso de la muestra: 1000, g. Agitación: 1200 R.P.M.
 pH: 8.1 t: 30°C

Reactivos	Cantidad (kg./ton.)	Cantidad (gramos)	Tiempo (min.)
Acondicionante: $\text{Na}_2\text{Si}^{\text{U}}_3$	1.0	1.0	2.0
Colector: Aero 710	0.7	0.7	2.0
Espumante: Aceite de pino	0.5	0.5	2.0
Tiempo de flotación: 3.0			

Balance Metalúrgico

Producto	Peso en g.	Peso en %	Ley	Contenidos	Recuperación
Cons.	399.25	39.92	0.4321	0.1724	71.18
Celas	600.00	60.08	0.1180	0.0708	28.82
	1000.00	100.00		0.2432	100.00

Relación de concentración: 3.35 g. min./ l de conc.

Ley analizada: 24.74

Ley calculada: 24.32

Observaciones.- Al modificar la temperatura se observó una ligera mejoría en la flotación, sólo que para este tipo de molienda creo agotadas las variables y solamente queda efectuar pruebas con otra molienda como es la de -48 + 65 mallas.

Prueba No. 8:

Flotación de un mineral de: Mn Molienda: -48 + 65 mallas
 Variedades minerales: Rodocrosita, Pirolusita. Dilución: 4 ml. H_2O /lg. de mineral.
 Peso de la muestra: 1000 g. Agitación: 1200 R.P.M.
 pH: 8.1 t: 25°C

Reactivos	Cantidad (kg./ton.)	Cantidad (gramos)	Tiempo (min.)
Acondicionante: Na_2SiO_3	1.0	1.0	2.0
Colector: Aero 710	0.7	0.7	2.0
Espumante: Aceite de pino	0.5	0.5	2.0
Tiempo de flotación: 2.0			

Balance Metalúrgico

Producto	Peso en g.	Peso en %	Ley	Contenidos	Recuperación
Conc.	132.25	13.22	0.3225	0.0426	17.02
Colas	867.75	86.78	0.2054	0.1780	82.98
	1000.00	100.00		0.2206	100.00

Relación de concentración: 7.58 g. min./l de conc.

Ley analizada: 24.74 Ley calculada: 22.06

Observaciones.- Esta flotación se efectuó con los mismos reactivos y cantidades que la exterior, con temperatura de 25°C. Pero los resultados no son buenos, por lo tanto se decide efectuar otra prueba variando la temperatura a 30°C.

Prueba No. 9

Flotación de un mineral de: Mn Molienda: -48 + 65 mallas
 Variedades minerales: Rodocrosita, Pirolusita. Dilución: 4 ml. H₂O/1 g. de mineral.
 Peso de la muestra: 1000 g. pH: 8.1 t: 30°C

Reactivos	Cantidad (kg./ton.)	Cantidad (gramos)	Tiempo (min.)
Acondicionante: Na ₂ SiO ₃	1.0	1.0	2.0
Colector: Aero 710	0.7	0.7	2.0
Espumante: Aceite de pino	0.5	0.5	2.0

Tiempo de flotación: 2.0

Balance Metalúrgico

Producto	Peso en g.	Peso en %	Ley	Contenidos	Recuperación
Conc.	153.32	15.33	0.3318	0.0512	22.40
Colas	856.68	85.68	0.2090	0.1790	77.60
	1000.00	100.00		0.2302	100.00

Relación de concentración: 6.4 g. min./ l de conc.

Ley analizada: 24.74 Ley calculada: 23.02

Observaciones.- Aumentó considerablemente la recuperación, aunque no deja de ser baja, por lo tanto, en la siguiente prueba se modificará el tiempo de flotación, aumentándolo a 4 minutos.

Prueba No. 10

Flotación de un mineral de: Mn. Molienda: -48 + 65 mallas
 Variedades minerales: Rodocrosita, Pirolusita. Dilución: 4 ml. H₂O/1 g. de mineral.

Peso de la muestra: 1000 G. pH: 8.1 t: 30°C

Reactivos	Cantidad (kg./ton.)	Cantidad (gramos)	Tiempo (min.)
Accondicionante: Na ₂ SiO ₃	1.0	1.0	2.0
Colector: Aero 710	0.4	0.4	2.0
Espumante: Aceite de pino	0.5	0.5	2.0

Tiempo de flotación : 4.0

Balance metalúrgico

Producto	Peso en g.	Peso en %	Ley	Contenidos	Recuperación
Conc.	185.17	18.51	0.3371	0.0623	26.50
Colas	814.83	81.49		0.1752	73.50
	1000.00	100.00		0.2353	100.00

Relación de concentración: 6.7 g. de min./ 1 de conc.

Ley analizada: 24.74 Ley calculada: 23.53

Observaciones.- Con esta flotación considero terminada la investigación, ya que se afotaron las variables a modificar. Por lo tanto, considero que la mejor flotación fué la No. 7, con molienda -65 + 100 mallas, en la cual aunque la recuperación fué de 71.18, la ley del mineral no llena los requisitos comerciales del 45 % mínimo.

CAPITULO III

INSTALACION DE UNA CELDA DE FLOTACION DE MINERALES

Generalidades sobre concentración de minerales.-
Comúnmente en la concentración de minerales no se usan métodos aislados para este efecto, como son: el empleo de jigs, mesas vibradoras tipo Wilfley, y el método de flotación.

En estos casos se emplea un conjunto que abarca varios métodos, a este proceso se le denomina comúnmente flowsheet, es decir, se hace uso de un conjunto de aparatos para aprovechar a máximo el contenido del elemento valioso del mineral que se trata.

Para ilustrar lo anterior, a continuación se expone un ejemplo de este proceso para el caso específico de un mineral de manganeso: Se quiere concentrar un mineral con una ley de 27,5 % de manganeso (ley de las cabezas), después de haber pasado por una molienda.

I.- Se concentra en jigs, como resultado de lo cual se obtiene una ley de los finos de 49.3 %, con una recuperación de 15.7 %, y en los gruesos se obtiene una ley de 48.7 % de Mn, con una recuperación de 55.6 %.

II.- Las colas de los jigs, con una ley de 6.5 % de Mn se concentran en mesas vibradoras de tipo Wilfley, de lo cual resultan concentrados con ley de 43.2 % de Mn, con recuperación de 5 %.

III.- La última fase corresponde a la flotación, en la cual se concentran las colas de los dos casos anteriores, las cuales tienen una ley de 17.5 % de Mn. La ley obtenida por medio de esta concentración es de 43.5 % de Mn con recuperación de 12.9 % y las colas con una ley de 5.5 % de Mn.

IV.- En resumen, los concentrados combinados de jigs, vibradores y celdas de flotación tienen una ley de 47.9 % y una recuperación de 88.2 %, teniendo las colas -

una ley de 6.0 % de manganeso.

En el ejemplo anterior se puede apreciar que los resultados del proceso son mejores que en los casos aislados, ya que las colas que resultan de los jigs se aprovechan en las mesas tipo wilfley y en las celdas de flotación.

Cada aparato forma parte de un grupo, esto es, a escala industrial y de laboratorio, este último aspecto es muy importante, ya que a este nivel es a donde se efectúan las experimentaciones de concentración de minerales y una vez obtenidas las condiciones óptimas se verifica a escala industrial.

En la fig. No. 1 se ilustra el diseño de un laboratorio metalúrgico, elaborado por la Compañía Denver Equipment, destinado a la concentración de minerales, el cual muestra la distribución del equipo de concentración.

La operación de flotación.- Actualmente, la separación de minerales por flotación es ejecutada en máquinas para este efecto, de las cuales existe una variedad considerable y se clasifican en tres clases principales basadas en la manera de introducir el aire en la pulpa:

1.- Máquinas mecánicamente agitadas, en las cuales el aire es traído hacia sí por succión a través de la acción de un rotor. Ejemplo de este tipo de máquinas lo es la celda Fagergren (fig. 2)

2.- Máquinas mecánicamente agitadas, en las cuales la pulpa recibe el aire por acción de un ventilador o compresor. Ejemplo de este tipo de máquinas lo es el de las subaereadas, (fig. 3), es decir, el aire entra por la parte inferior de la pulpa.

3.- Máquinas Neumáticas.- En este tipo, el aire es introducido a baja presión por un ventilador o por un compresor, pero en este caso el aire se distribuye

en toda la pulpa por medio de un tubo perforado, ejemplos de este tipo lo son la máquina neumática Callow, la MacIn tosh, etc. (fig. 4).

Independientemente de los tipos antes mencionados las máquinas de flotación de carácter industrial deben incluir medios para introducir la pulpa y mantenerla en suspensión, así como para regular la velocidad de descarga de la parte no flotable. Al mismo tiempo deben estar provistas de medios para introducir y dispersar el aire entre la pulpa, así como para descargar los concentrados --- por medio de deslamadores operados mecánicamente.

Las máquinas de este tipo están compuestas de diversas e idénticas celdas colocadas en serie, de manera que la parte no flotable de la pulpa fluya de la puerta de descarga de la celda a la puerta de entrada de la siguiente.

Descripción de la Máquina de flotación e instalación de la misma.- El aparato, tema de este trabajo (fig. 5) quedó instalada en el Laboratorio de Ingeniería química de la Facultad de Química, es de la marca Denver y cuenta con los siguientes dispositivos:

- a.- Un motor eléctrico de 1/4 de caballo de fuerza, el cual mueve por medio de una banda en V u eje o flecha, que en la parte inferior cuenta con un rotor.
- b.- Dispositivo para regular la cantidad de revoluciones por minuto del rotor y un tacómetro para registrar las mismas.
- c.- Dispositivo de engrane y cremallera para elevar o bajar el mecanismo y poder introducir los recipientes donde se verifica la flotación.
- d.- Válvula para suministro de aire, el cual penetra hasta la parte inferior de la pulpa (De ahí el nombre de subaereada o Sub-A).

e.- Recipientes de varias capacidades: 250, 500, 1000 y 2000 gramos de mineral.

La instalación de la celda del flotación consiste en diseñar y fijar una mesa sobre la cual va sentada la primera, con las dimensiones adecuadas y los elementos necesarios para trabajar, estos últimos son: toma de corriente eléctrica, de aire, de gas y de agua.

Las dimensiones de la mesa (figs. 6 y 7) son las siguientes: Altura= 0.90 m., Ancho= 1.0 m., Fondo =1.0 m.

En la parte superior tiene una gradilla con el objeto de colocar reactivos y material de dimensiones pequeñas, las dimensiones de esta gradilla son las siguientes: Altura= 0.20 m., Ancho=1.0 m., Fondo= 0.20 m.. En la parte baja de la gradilla se encuentra un desagüe o canal, recubierta de lámina de plomo. - También cuenta con sus respectivas tomas de corriente eléctrica, agua, aire y gas, que se encuentran en la parte media de la gradilla.

En la parte media la mesa dispone de un anaquel con el objeto de colocar material de dimensiones un poco mayores, como son: filtros para el secado de concentrados y celas, etc.

Laboratorio Tipo, diseñado por
Denver Equipment Company

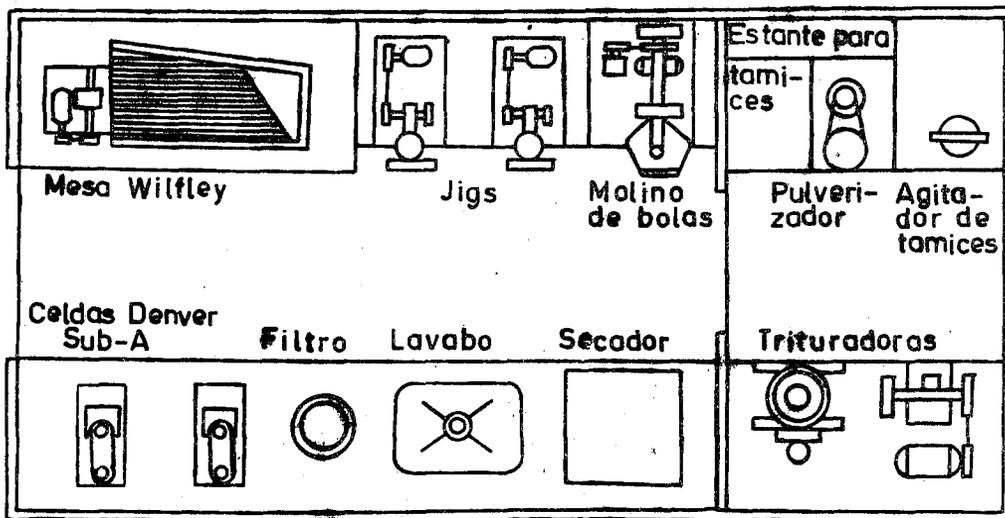
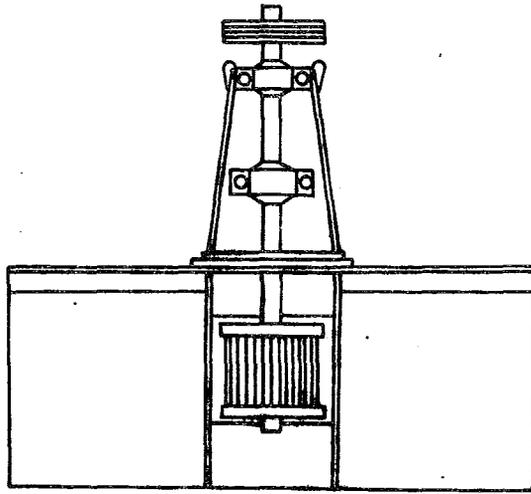
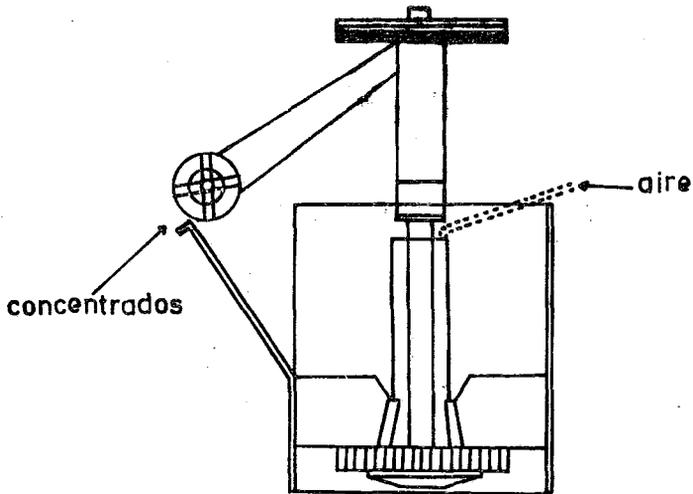


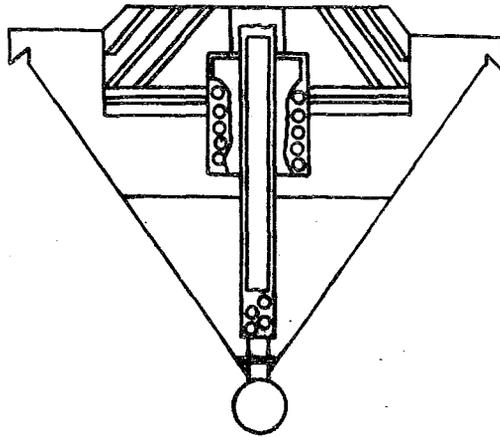
fig.1



Maquina tipo Fagergren
(Sección transversal)
fig.2



Maquina Denver Sub-A
(Sección transversal)
fig.3



Celda de flotación Steffensen
(Corte transversal)

Fig. 4

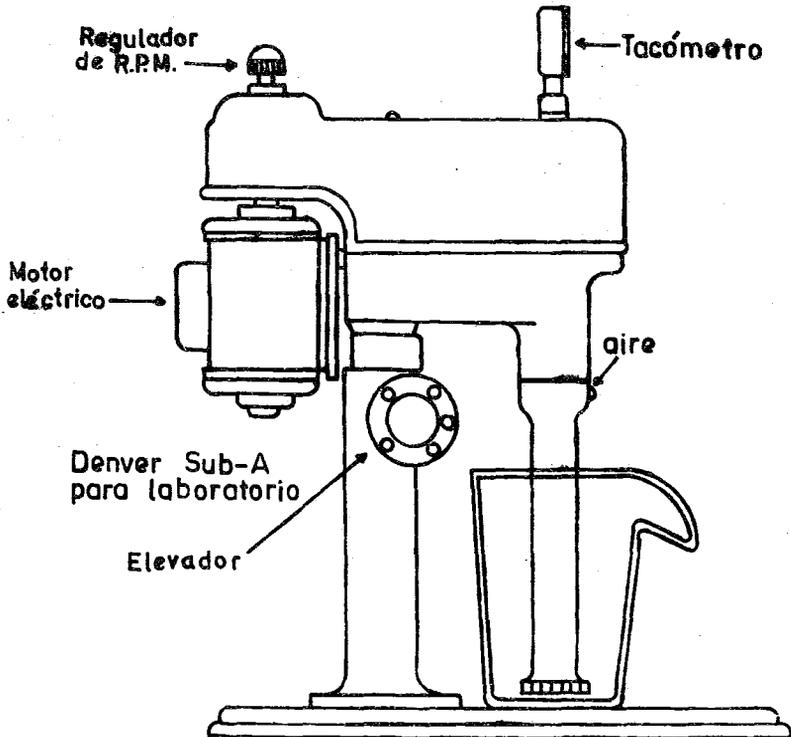


fig. 5

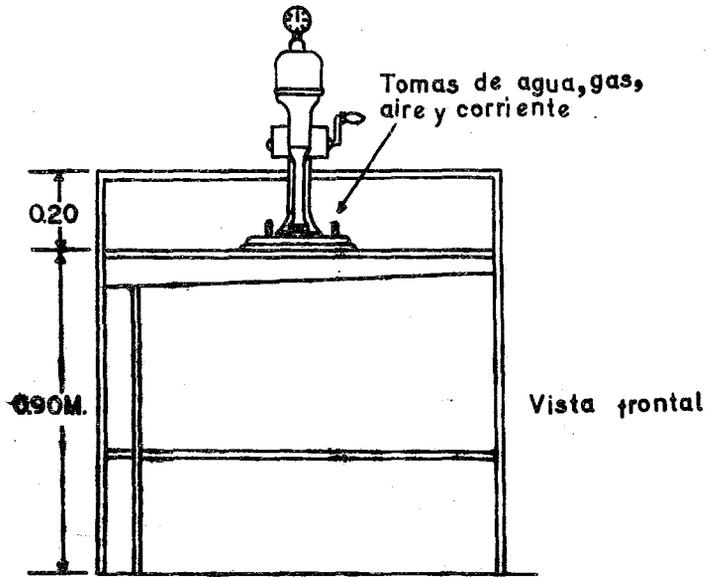
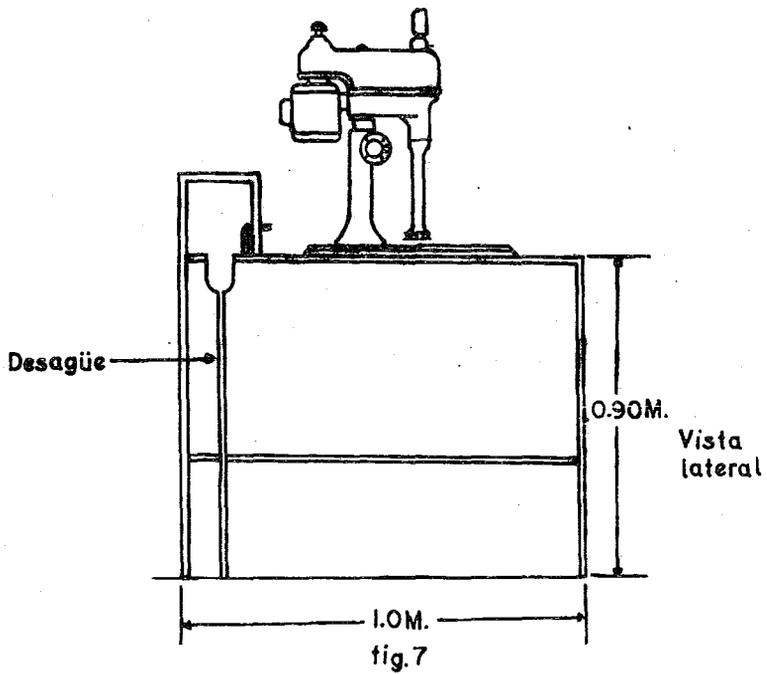


fig.6



CAPITULO IV

PROGRAMA DE PRACTICAS A REALIZAR EN LA CELDA DE FLOTACION

En este capítulo se tratará el aspecto relacionado con la práctica que se dará a la celda de flotación -- Denver Sub-A, con lo cual se complementa el trabajo.

Ya que en esta celda efectuarán sus prácticas los alumnos de la asignatura de Preparación de Minerales, me atrevo a sugerir un programa de prácticas de concentración de minerales elaborado por la Compañía Denver Equipment, esto es para minerales comunes.

Sin embargo, este programa puede ser aplicado a minerales similares, ya que son tipos de tratamiento general, es decir, cada muestra presenta un problema particular, pero la experiencia se puede hacer extensiva a minerales similares, con los cuales se obtendrán los resultados deseados.

Ejemplo No. 1

Descripción de la mena	Mena de antimonio, conteniendo esfalerita, una pequeña cantidad de pirita y una ganga arsénica y silícica.																
Análisis aproximado	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Antimonio.....</td> <td style="text-align: right;">6.0 %</td> </tr> <tr> <td>Arsénico.....</td> <td style="text-align: right;">0.1 %</td> </tr> <tr> <td>Fierro.....</td> <td style="text-align: right;">2.0 %</td> </tr> <tr> <td>Parte insoluble.....</td> <td style="text-align: right;">77.0 %</td> </tr> </table>	Antimonio.....	6.0 %	Arsénico.....	0.1 %	Fierro.....	2.0 %	Parte insoluble.....	77.0 %								
Antimonio.....	6.0 %																
Arsénico.....	0.1 %																
Fierro.....	2.0 %																
Parte insoluble.....	77.0 %																
Método de concentración	Celda Denver Sub-A																
Concentrados y Recuperación	Antimonio Recuperación																
Reactivos en Lb./ton.	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Conc.....</td> <td style="text-align: center;">67 %</td> <td style="text-align: center;">.....</td> <td style="text-align: center;">69 %</td> </tr> <tr> <td>Nitrato de plomo.....</td> <td colspan="3" style="text-align: right;">2.8</td> </tr> <tr> <td>Xantato Z-5.....</td> <td colspan="3" style="text-align: right;">0.3</td> </tr> <tr> <td>Aceite de pino.....</td> <td colspan="3" style="text-align: right;">0.1</td> </tr> </table>	Conc.....	67 %	69 %	Nitrato de plomo.....	2.8			Xantato Z-5.....	0.3			Aceite de pino.....	0.1		
Conc.....	67 %	69 %														
Nitrato de plomo.....	2.8																
Xantato Z-5.....	0.3																
Aceite de pino.....	0.1																
Observaciones	El pH que se usó fué de 6.5, con una molienda de -35 + 48 mallas.																

Ejemplo No. 2

Descripción de la mena	Mena conteniendo estibinita y óxidos de antimonio, en una ganga silícica.
Análisis aproximado	Antimonio..... 26.0 % Fierro..... 1.1 % Azufre..... 8.7 % Parteminsoluble..... 59.5 %
Método de concentración	Celda Denver Sub-A
Concentrados y Recuperación	Antimonio Recuperación Conc..... 65.5 %..... 29.0 %
Reactivos en Lb./ton.	Carbonato de sodio..... 2.0 Nitrato de plomo..... 1.8 Xantato Z-6..... 0.4 Aceite de pino..... 0.006
Observaciones	Se usó un pH igual a 8, con una molienda de -35 + 48 mallas.

Ejemplo No. 3

Descripción de la mena	Mena de barita, con ganga silícica, con pequeñas cantidades de calcita y óxido de fierro.
Análisis aproximado	Sulfato de bario..... 80.8 % Sílice..... 16.3 %
Método de concentración	Celda Denver Sub-A
Concentrados y Recuperación	Sulfato de bario Recuperación Conc..... 97.0 %..... 65.0 %
Reactivos en Lb./ton.	Carbonato de sodio..... 1.5 Silicato de sodio..... 3.0 Calgon..... 0.25 Acido oleico..... 2.5

	Alcohol metílico..... 2.5
	Fuel oil..... 0.25
Observaciones	Se usó un pH de 8.6 con una molienda de -325 mallas.

	Ejemplo No. 4
Descripción de la mena	Mena pegmatítica conteniendo berilo, mica feldespato y cuarzo.
Análisis aproximado	BeO..... 0.95 %
Método de concentración	Celda Denver Sub-A
Reactivos en Lb./ton.	Acido sulfúrico..... 1.0 Armac t..... 0.4 Metil isobutil carbinol.. 0.2 Acido fluorhídrico..... 3.0 Hidroclorito de calcio... 1.0 Sonneborn reactivo 262... 0.6 Sonneborn reactivo 562... 0.6
Concentrados y Recuperación	Berilo (BeO) Recuperación Conc.... 8.61 %..... 87.8 %
Observaciones	Se efectuó flotación sucesiva con concentrados de mica, feldespato-berilo, seguida de una flotación de concentrados de feldespato-berilo, usando 4 reactivos para obtener concentrados de berilo.

	Ejemplo No. 5
Descripción de la mena	Mena de cobre conteniendo Chalcopirita, pirita, pirrotita, y sulfuros de cobre secundarios, en una ganga mezclada con sílice, cal y mica.

Descripción de la mena	Cobre.....	3.3 %
	Fierro.....	16.6 %
	Azufre.....	9.7 %
	Parte insoluble.....	54.0 %

Método de concentración

Celda Denver Sub-A

Concentrados y Recuperación

Cobre	Recuperación
Conc.....	28.5 %..... 46.1 %

Reactivos en Lb./ton.

Cal.....	2.80
Cianuro de sodio.....	0.04
Xantato Z-5.....	0.10
Acido cresílico.....	0.10
Creosota No. 4.....	0.04

Observaciones

El pH usado fué de 9.6, con molienda de -20 + 28 mallas.

Ejemplo No. 6

Descripción de la mena

Mena conteniendo metacinabarita con fierro magnético y gran porcentaje de sílice.

Análisis aproximado

Mercurio.....	0.55 %
Fierro.....	2.60 %
Azufre.....	0.20 %
Parte insoluble.....	94.20 %

Concentrados y Recuperación

Mercurio	Recuperación
Conc.....	25.8%..... 57.8 %

Método de concentración

Celda Denver Sub-A

Reactivos en Lb./ton.

Carbonato de sodio.....	6.0
Xantato Z-8.....	0.3
Aceite de pino.....	0.04
Sulfato de cobre.....	0.50

Observaciones

El pH usado fué de 8.0 y la molienda usada fué de -48 + 65 mallas.

Ejemplo No. 7

Descripción de la mena	Mena conteniendo cobalto como esmal-tita y como cobaltita, además contie-ne pirita, chalcopirita y arseniuros.												
Análisis apre-ximado	<table border="0"> <tr><td>Cobalto.....</td><td>12.4 %</td></tr> <tr><td>Cobre.....</td><td>0.05 %</td></tr> <tr><td>Fierro.....</td><td>12.0 %</td></tr> <tr><td>Arsénico.....</td><td>17.0 %</td></tr> <tr><td>Azufre.....</td><td>15.0 %</td></tr> <tr><td>Parte insoluble.....</td><td>24.0 %</td></tr> </table>	Cobalto.....	12.4 %	Cobre.....	0.05 %	Fierro.....	12.0 %	Arsénico.....	17.0 %	Azufre.....	15.0 %	Parte insoluble.....	24.0 %
Cobalto.....	12.4 %												
Cobre.....	0.05 %												
Fierro.....	12.0 %												
Arsénico.....	17.0 %												
Azufre.....	15.0 %												
Parte insoluble.....	24.0 %												
Método de con-centración	Celda Denver Sub-A												
Concentrados y Recuperación	<table border="0"> <tr><td>Cobalto</td><td>Recuperación</td></tr> <tr><td>Conc.....</td><td>30.6 %..... 24.5 %</td></tr> </table>	Cobalto	Recuperación	Conc.....	30.6 %..... 24.5 %								
Cobalto	Recuperación												
Conc.....	30.6 %..... 24.5 %												
Reactivos en Lb./ton.	<table border="0"> <tr><td>Carbonato de sodio.....</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>Sulfato de cobre.....</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>Xantato Z-5.....</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>Acido cresílico.....</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>Sulfuro de sodio.....</td><td>1.10</td></tr> <tr><td>Aceite de pino.....</td><td>0.02</td></tr> </table>	Carbonato de sodio.....	2.0	Sulfato de cobre.....	1.2	Xantato Z-5.....	0.23	Acido cresílico.....	0.12	Sulfuro de sodio.....	1.10	Aceite de pino.....	0.02
Carbonato de sodio.....	2.0												
Sulfato de cobre.....	1.2												
Xantato Z-5.....	0.23												
Acido cresílico.....	0.12												
Sulfuro de sodio.....	1.10												
Aceite de pino.....	0.02												
Observaciones	El pH que se usó quedó entre 8.5 y 9.5 y la molienda fué de -65 + 100 mallas.												

Ejemplo No. 8

Descripción de la mena	Mena de fluorita, conteniendo carbona-to de calcio como ganga principal, con algo de sílice.						
Análisis aproxi-mado	<table border="0"> <tr><td>Fluoruro de calcio.....</td><td>32 %</td></tr> <tr><td>Carbonato de calcio.....</td><td>65 %</td></tr> <tr><td>Sílice.....</td><td>1 %</td></tr> </table>	Fluoruro de calcio.....	32 %	Carbonato de calcio.....	65 %	Sílice.....	1 %
Fluoruro de calcio.....	32 %						
Carbonato de calcio.....	65 %						
Sílice.....	1 %						
Método de con-centración	Celda Denver Sub-A						
Concentrados y Recuperación	<table border="0"> <tr><td>CaF₂</td><td>Recuperación</td></tr> <tr><td>Conc.....</td><td>92 %..... 78 %</td></tr> </table>	CaF ₂	Recuperación	Conc.....	92 %..... 78 %		
CaF ₂	Recuperación						
Conc.....	92 %..... 78 %						

Reactivos en Lb./ton.	Aceite de pino..... 0.04 Carbonato de sodio..... 2.00 Silicato de sodio..... 3.00 Quebracho..... 0.40 Acido oleico..... 1.50
Observaciones	El pH usado fué de 8.5, con una molien- da de -65 + 100 mallas.

Ejemplo No. 9

Descripción de la mena Mena de oro parcialmente oxidada, con ganga silfúrica, con sulfuros de cobre y fierro.

Análisis aproximado	Oro..... 16.5 g/ton. Plata..... 16.8 g./ton- Cobre..... 0.2 % Fierro..... 2.7 % Azufre..... 0.5 % Parte insoluble..... 90.5 %
---------------------	--

Método de concentración

Celda Denver Sub-A

Concentrados y Recuperación	Oro Recuperación Conc..... 162.4 g./ton..... 48.6 %
-----------------------------	---

Reactivos en Lb./ton.	Carbonato de sodio..... 2.0 Xantato Z-6..... 0.2 Aceite de pino..... 0.1
--------------------------	--

Observaciones El pH que se usó fué de 8.6, con una molienda de -48 + 65 mallas.

Ejemplo No. 10

Descripción de la mena Mena terrosa y cristalina de hematita, limonita y Goethita, en una ganga de cuarzo.

Análisis aproximado.	Fierro.....	36 %
	Parte insoluble.....	64 %
Concentrados y Recuperación	Fe	SiO ₂ Recuperación
	Conc.....	4.2 %... .. 4.2%
	Medios...	26.2 %... .. 20.7 %
	Colas....	62.1 %... 6.1 %... 75.1 %
Reactivos en Lb./ton.	Hidróxido de sodio.....	4.0
	Goma.....	1.5
	Cloruro de calcio.....	1.0
	Acidos débiles.....	0.8
Observaciones	El pH usado fué de 11.5, con una molienda de -325 mallas.	

Ejemplo No. 11

Descripción de la mena	Mena de cianita con cantidad considerable de cuarzo, algo de sulfato de calcio y magnesio, y un poco de pirita.			
Análisis aproximado	Sílice.....	74.0 %		
	Alúmina.....	21.0 %		
	Fierro.....	0.5 %		
	Oxido de magnesio.....	0.2 %		
	Oxido de calcio.....	2.0 %		
Método de concentración	Celda Denver Sub-A			
Concentrados y Recuperación	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
	Conc... 41.0 %..	53 %... 14 %..	63 %	
	Colas.. 93.0 %..	3 %... 61 %..	7 %	
Reactivos en Lb./ton.	Carbonato de sodio.....	2.0		
	Fuel oil.....	0.6		
	Acido oleico.....	2.0		
Observaciones	El pH usado fué de 7.6, con una molienda de -65 + 100 mallas.			

Ejemplo No. 12

Descripción de la mena	Mena de plomo en forma de anglesita y cerucita, asociada con una ganga silícea y con un óxido de Fe.	
Análisis aproximado	Plomo.....	13.11 %
	Parte insoluble.....	86.89 %
Método de concentración	Celda Denver Sub-A	
Reactivos en Lb./ton.	Sulfuro de sodio.....	8.0
	Xantato Z-5.....	0.8
	Aceite de pino.....	0.08
	Dowfroth 250.....	0.05
Concentrados y Recuperación	Plomo	Recuperación
	Conc.,.... 50.2 %.....	75.9 %
Observaciones	El pH usado fué de 10.2, con molien- da de -48 + 65 mallas.	

Ejemplo No. 15

Descripción de la mena	Mena de pirrotita, enriquecida con níquel y asociada con chalcopirita.	
Análisis aproximado	Níquel.....	0.71 %
	Cobre.....	0.37 %
Método de concentración	Celda de flotación Denver Sub-A	
Concentrados y Recuperación	Concentrados	Recuperación
	12.04 % Ni.....	72.2 %
	6.82 % Cu.....	91.0 %
Reactivos en Lb./ ton.	Cal hidratada.....	2.4
	Metil isobutil carbinol	0.037
	Xantato Z-11.....	0.10
	Dextrina amarilla....	0.03
Observaciones	El pH usado fué de 10, con una mo- lienda de -100 mallas.	

Ejemplo No. 14

Descripción de la mena	Mena de potasio, compuesta con silvita, halita y una pequeña cantidad de anhidrita.						
Análisis aproximado	K ₂ O..... 26.8 %						
Método de concentración	Celda Denver Sub-A						
Concentrados y Recuperación	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>K₂O</td> <td>Recuperación</td> </tr> <tr> <td>Conc.....</td> <td>60.5 %</td> <td>94.5 %</td> </tr> </table>		K ₂ O	Recuperación	Conc.....	60.5 %	94.5 %
	K ₂ O	Recuperación					
Conc.....	60.5 %	94.5 %					
Reactivos usados en lb./ton.	<table border="0"> <tr> <td>Armac No. 503.....</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Armac TD.....</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Frother No. 70.....</td> <td>0.15</td> </tr> </table>	Armac No. 503.....	0.01	Armac TD.....	0.5	Frother No. 70.....	0.15
Armac No. 503.....	0.01						
Armac TD.....	0.5						
Frother No. 70.....	0.15						
Observaciones	Hubo que deslamar hasta tener un tamaño de grano de -35 mallas para poder flotar.						

Ejemplo No. 15

Descripción de la mena	Mena de plata con gran contenido de pirita, con grandes cantidades de sulfuros de cobre, así como galena, esfalerita y una ganga silicica.														
Análisis aproximado	<table border="0"> <tr> <td>Oro.....</td> <td>trazas</td> </tr> <tr> <td>Plata.....</td> <td>1895.5 g./ton.</td> </tr> <tr> <td>Plomo.....</td> <td>2.0 %</td> </tr> <tr> <td>Zinc.....</td> <td>2.7 %</td> </tr> <tr> <td>Fierro.....</td> <td>26.5 %</td> </tr> <tr> <td>Azufre.....</td> <td>9.7 %</td> </tr> <tr> <td>Parte insoluble.....</td> <td>40.0 %</td> </tr> </table>	Oro.....	trazas	Plata.....	1895.5 g./ton.	Plomo.....	2.0 %	Zinc.....	2.7 %	Fierro.....	26.5 %	Azufre.....	9.7 %	Parte insoluble.....	40.0 %
Oro.....	trazas														
Plata.....	1895.5 g./ton.														
Plomo.....	2.0 %														
Zinc.....	2.7 %														
Fierro.....	26.5 %														
Azufre.....	9.7 %														
Parte insoluble.....	40.0 %														
Método de concentración.	Celda Denver Sub-A														

Concentrados y Recuperación	Plata Conc..... 9391.2 g./ton.....	Recuperación 64.3 %
Reactivos usados en lb./ton.	Cal.....	6.5
	Tiocarbanilida.....	0.15
	Minere 194.....	0.05
	Sulfato de zinc.....	0.5
	Cianuro de potasio..	0.1
	Aerofloat 25.....	0.09
	Xantato Z-5.....	0.10
Observaciones	El pH usado fué de 8.8 y la molienda fué de -25 + 35 mallas.	

Ejemplo No. 16

Descripción de la mena	Mena de azufre, asociada con ganga silícica.	
Análisis aproximado	Azufre.....	25.0 %
	Ganga.....	75.0 %
Método de concentración	Celda Denver Sub-A	
Concentrados y Recuperación	Azufre Conc.....	Recuperación 87.5 %..... 90.2 %
Reactivos usados en lb./ton.	Metil isobutil carbinol....	0.02
	Keroseno.....	0.03
	Pirofosfato trisódico.....	0.05
Observaciones	El pH usado fué de 5.5, obtenido por acidez natural, con una molienda de -35 + 48 mallas.	

Ejemplo No. 17

Descripción de la mena	Mena de talco, conteniendo calcita, tremolita, fierro y otras impurezas	
Análisis aproximado	Oxido Férrico.....	3.0 %
	Alumina.....	7.0 %

Oxido de calcio.....	12.0 %
Silice.....	47.5 %
Oxido de magnesio.....	14.0 %
Pérdidas por ignición..	16.0 %

Método de concentración

Celda Denver Sub-A

Concentrados y Recuperación

Concentrados, 48 % por peso:	
MgO.....	26.8 %
SiO ₂	55.2%
CaO.....	3.7 %
Al ₂ O ₃	6.7 %
Fe ₂ O ₃	1.7 %
Pérdidas por ignición	5.7 %

Reactivos usados en Lb./ton.

Carbonato de sodio....	2.0
Ultrawet.....	0.8

Observaciones

El pH usado fué de 8.0, con una molienda de -100 mallas.

Ejemplo No. 18

Descripción de la mena

Mena de titanio conteniendo ilmenita en una ganga silícica que contiene a su vez: cuarzo, feldespato, granate y mica.

Análisis aproximado

Oxido de titanio.....	18.0 %
-----------------------	--------

Método de concentración

Celda Denver Sub-A

Concentrados y Recuperación

	TiO ₂	Recuperación
Conc.....	47 %.....	73 %
Medios...	24 %.....	10 %

Reactivos usados en Lb./ton.

Acido sulfúrico.....	10.7
Fluoruro de sodio.....	3.3
Acido oleico.....	2.5
Alcohol metílico.....	0.3

Observaciones El pH usado fué de 3.6, con una molien-
da de -65 + 100 mallas.

Ejemplo No. 19

Descripción de la mena Mena de tungsteno conteniendo hubnerita, en una ganga silfúica, con apreciable cantidad de piritita, chalcopiritita, arsenopiritita y esfalerita.

Análisis aproximado

Oxido de tungsteno.....	3.0 %
Cobre.....	4.0 %
Zinc.....	0.5 %
Fierro.....	5.0 %
Azufre.....	1.3 %
Parte insoluble.....	84.0 %

Método de concentración

Celda Denver Sub-A

Concentrados y Recuperación	WO ₂	Recuperación
Conc.....	70.8 %	82.0, %

Reactivos usados en lb./ton.

Carbonato de sodio...	4.0
Sulfato de cobre.....	2.0
Xantato. Z-6.....	0.5
Acido cresílico.....	0.6

Observaciones El pH usado fué de 8.5, con una molien-
da de -48 + 65 mallas.

Ejemplo No. 20

Descripción de la mena Mena de zinc, en forma de esfalerita, conteniendo piritita, pequeñas cantidades de carbonato de zinc en una ganga silfúica, con trazas de galena.

Análisis aproximado

Zinc.....	1.1 %
Plomo.....	0.1 %
Fierro.....	3.3 %
Azufre.....	3.4 %

Método de concentración	Celda Denver Sub-A	
Concentrados y Recuperación	Zinc	Recuperación
	Conc..... 62.0 %.....	83.1 %
	Medios... 22.0 %.....	11.7 %
Reactivos usados en Lb./ton.	Cal.....	4.5
	Sulfato de cobre.....	1.0
	Xantato Z-5.....	0.09
	Aceite de pino.....	0.04
Observaciones	El p ^H usado fué de 9.5, con una molienda de -65 + 100 mallas.	

CONCLUSIONES

1.- La mejor flotación que se obtuvo en la concentración de la mena de manganeso fué la que dió una ley en los concentrados igual a 43.21 % de Mn y una recuperación de 71.28 %, con una ley de las colas de 11.8 % de Mn, con una recuperación de 28.82 %.

De lo anterior se deduce que la flotación es -- satisfactoria desde el punto de vista de la recupera--- ción, aunque la ley no llena los requisitos comerciales de 45 % de Mn mínimo. Por lo tanto, es conveniente que en este tipo de minerales a concentrar se utilicen flow sheets, es decir, que se haga uso de las mesas tipo wil fley, jigs y celdas de flotación, para obtener resulta--- dos satisfactorios.

2.- Considerando que las reservas de minerales de Manganeso conocidas son insuficientes para desarro--- llar una industria siderúrgica nacional durante los a--- ños que duren las reservas ferríferas, se deben prohi--- bir las exportaciones de minerales crudos y concentra--- dos, así como estimular las exportaciones de aceros es--- peciales con alto contenido de manganeso.

Tomando en cuenta que los minerales del país -- tienen un contenido de manganeso que oscila entre 18 y 33 %, lo cual indica que tienen que procesarse para ele--- var el contenido del mismo, es conveniente y necesario estimular la investigación en el sentido de buscar nue--- vos métodos, más eficientes para concentrar minerales, lo cual redundaría en beneficio de la tecnología nacio--- nal.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Handbook of Mineral Dressing
Arthur F. Taggart
John Wiley and Sons. Inc.

Flotation
Gaudin, A.M.
Mc. Graw Hill Book Company Inc.

Hanbook of Nonferrous Metalurgy
Donald M. Lidell
Mc. Graw Hill Book Company Inc.

Mineral Processing Flowsheets
Denver Equipment Company

Denver Laboratory Equipment
Bulletin No. LG 3-B15

Mining Chemicals Handbook
American Cyanamid Company.