



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

5
134

ELABORACION DE UN REACTIVO DE FLOTACION A
PARTIR DE AGUARRAS AL SULFATO
(ESTUDIO TECNICO - ECONOMICO)

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

Francisco Javier Echeverría González



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

130
130



JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE : ING. EMILIO BARRAGAN HERNANDEZ.
VOCAL : M. EN ING. JOSE FCO. GUERRA RECASENS.
SECRETARIO : M. EN C. NATALIA DE LA TORRE ACEVES.
1er. SUPLENTE : ING. MIGUEL GARCIA GUERRERO.
2o. SUPLENTE : ING. ENRIQUE BRAVO MEDINA.

SITIO DONDE SE DESARROLLO
EL TEMA : FACULTAD DE QUIMICA.

SUSTENTANTE : FRANCISCO JAVIER LOHLVERRIA GONZALEZ
ASESOR DEL TEMA : M. EN ING. JOSE FCO. GUERRA RECASENS

A mis padres : Fco.Javier Echeve-
rría y Ma.Flidé González de E.
por todo su esfuerzo y apoyo.

A mis hermanos :

José Antonio y

Jorge Carlos.

A mis tíos y primos

A Lourdes con cariño

A mis amigos y maestros

INDICE

INTRODUCCION.

CAPITULO I. GENERALIDADES.

I. A. FLOTACION.

I. B. ESPUMANTE.

CAPITULO II. ESTUDIO QUIMICO.

II. A. MATERIA PRIMA.

II. B. ESTUDIO REALIZADO EN EL LABORATORIO.

CAPITULO III. ESTUDIO DE MERCADO.

CAPITULO IV. EVALUACION ECONOMICA.

IV. A. PROCESO.

IV. B. COSTO DEL EQUIPO.

IV. C. ESTUDIO DE VIABILIDAD.

CONCLUSIONES.

REFERENCIAS.

INTRODUCCION

El objeto de ésta tesis, es realizar un estudio preliminar, que permita determinar si existen posibilidades de industrializar éste tipo de producto en México, con el objeto de substituir el uso del aceite de pino natural en la Industria Minera y aprovechar un subproducto de la industria del papel.

I. GENERALIDADES.

I.A. FLOTACION.

El proceso de flotación se usa para separar un mineral de una mezcla de dos o más minerales en suspensión en agua, comprende 5 pasos :

- A. Trituración.
- B. Molienda.
- C. Flotación.
- D. Filtración del concentrado.
- E. Disposición de colas.

En el beneficio de menas por flotación, primeramente es necesario triturar el mineral, haciéndolo tomar un tamaño apropiado para ser llevado a molienda húmeda. La reducción de la mena a base de molienda húmeda después de la trituración hecha en seco es esencial para una flotación satisfactoria, para que cada superficie fresca expuesta en el proceso, ya sea de mineral metálico o de mineral componente de las rocas llegue a estar bien humedecida. Es necesario moler la roca a un tamaño tal, que las partículas de mineral deseado queden liberadas de las partículas de la ganga. Una sobremolienda puede causar pérdida del mineral valioso en lamas y por el contrario, una molienda demasiado gruesa puede acarrear pérdidas de mineral en las colas. La molienda correcta solo puede ser determinada por pruebas de laboratorio.

La suspensión del mineral molido en agua se conoce con el nombre de pulpa, la concentración o consistencia de la pulpa debe ser tal, que permita que las partículas del mineral estén en contacto con la superficie de las burbujas durante la flotación. El contenido de sólidos para la mayoría de las pulpas en la sección de flotación está entre 20 y 30 %.

Durante o inmediatamente después de la molienda y antes de la flotación la pulpa se acondiciona con reactivos especiales, incluyendo compuestos para producir espuma, por medio de agitación mecánica.

Tienen funciones diferentes y se agregan por tres razones principales :

- A. Para afectar las superficies de las partículas a efecto de ser flotadas, de tal modo que se adhieran a las burbujas de aire, introducidas en la pulpa en la máquina de flota - ción.
- B. Para estabilizar éstas burbujas con el fin de hacer posi - ble la formación de una espuma suficientemente coherente.
- C. Para no hacer flotables ciertos minerales metálicos y otros componentes de las rocas.

Se dividen generalmente en tres tipos :

- A. Espumantes : Producen burbujas de propiedades específicas sobre las cuales los minerales son colectados y separados de la pulpa.
- B. Colectores : Promueven el contacto y unión entre la partí - cula que se va a flotar y la burbuja de aire, forman sobre la partícula de mineral una superficie repelente al agua, lo cuál ayuda a su unión con la burbuja de aire. Pueden ser de dos tipos : aniónicos y catiónicos.
- C. Modificadores : Mejoran la separación de los minerales ha - ciendo que las partículas acepten o rechacen al colector. Esto se debe a las propiedades particulares del mineral, a algunos minerales no puede hacerseles que tomen una pe - lícula colectora en su estado natural, pero pueden ser re - vestidos si su superficie es cambiada. De acuerdo a sus fun - ciones, pueden ser clasificados en : reguladores de pH, de - presores, activadores, sulfurizadores, dispersores o flocu - ladores.

Después de la operación de acondicionamiento la pulpa es lle - vada a la máquina de flotación en la que el aire es jalado o insuflado para producir una nube de burbujas de aire ascenden - tes, éstas llegan a cubrirse con el mineral en tanto se ele - van a la superficie, donde se reúnen formando una espuma mi - neralizada, la que continuamente es retirada del vertedor de la máquina pasando a un canalón colector.

Si el concentrado así producido no resulta lo suficientemente limpio se pasa a la etapa siguiente de tratamiento, esto es, se retrata en una máquina más pequeña aunque similar para conseguir que responda al grado o calidad requerida. El concentrado final se filtra para remover la mayor parte del agua llevándose a fundición, o bien se somete a lixiviación o a otra sección de reducción metalúrgica. La disposición de las colas usualmente se consigue por espesamiento y asentamiento con recuperación del agua. Comprendiendo lo anterior, la última etapa del tratamiento de la mena.

I.B. ESPUMANTES.

I.B.1. Función de los espumantes en flotación.

La adición de reactivos especiales en flotación, como se indicó antes, es por tres razones principales :

- A. Modificar la superficie de las partículas a efecto de flotar o no flotar.
- B. Facilitar el contacto entre las burbujas de aire y las partículas de mineral.
- C. Separar los minerales flotables de los no flotables.

Los espumantes juegan un papel importante en las dos últimas etapas por influenciar el contacto entre las partículas y las burbujas de aire y afectar el grado de separación.

Después de que la pulpa ha sido acondicionada, se pasa a la máquina de flotación, donde se introduce aire en la pulpa junto con un reactivo espumante, el cuál, en algunas ocasiones es agregado en la etapa de acondicionamiento.

La espuma, producida por aereación en la máquina, es un medio para separar las partículas de mineral valioso de las partículas de ganga de la mena. La concentración del mineral ocurre en toda la celda, alcanzando un máximo en la parte superior de la espuma, mientras que lo contrario ocurre con el contenido de ganga.

La espuma mineralizada es retirada continuamente del vertedor de la máquina, pasando a la siguiente etapa de tratamiento.

I.B.2.Reactivos espumantes.

Los espumantes son compuestos orgánicos heteropolares que tienen uno o más grupos no polares de hidrocarburos repelen - tes al agua unidos a la parte polar que presenta afinidad hacia el agua.Los tipos generales de compuestos usados como espumantes en flotación se muestran en la tabla 1. La estructura química ejerce marcada influencia en el volumen, textura y estabilidad de la espuma.

I.B.3.Formación de espuma.

La espuma es un sistema coloidal en el que la fase dispersa es un gas y el medio dispersante es un líquido.

El único líquido que necesita ser considerado en conexión con la flotación es el agua, que al igual que todos los líquidos, posee una energía libre de superficie debida a la atracción que existe entre sus moléculas, consecuentemente, la capa de agua de la superficie está sujeta a una tensión que da como resultado la contracción de la superficie a un área de mínima resistencia, por la misma razón, si dos burbujas chocan en el agua se unen (puesto que el área de la superficie resultante es menor) y cuando alcanzan la superficie se re - vientan.Para impedir la fusión de las burbujas en el agua y para hacerlas que formen una espuma en la superficie, un tercer componente es requerido : un agente espumante.

El efecto del espumante es reducir ligeramente la tensión superficial de la interfase aire-agua.

La corriente de aire que entra a la máquina de flotación es rota en pequeñas burbujas de aire por el impulsor de la máquina.La adsorción de las moléculas de espumante no es instantánea, por lo que al principio se presentan 2 efectos : adsorción y coalescencia.

Hasta que se han adsorbido suficientes moléculas de espumante en la superficie de la burbuja ésta se estabiliza.Las moléculas adsorbidas se distribuyen regularmente en la película superficial, con sus cadenas de hidrocarburos en contacto con el aire y la carga polar orientada hacia la capa de agua.

TABLA 1

TIPOS DE COMPUESTOS USADOS COMO ESPUMANTES

TIPO QUIMICO	FORMULA	ESPUMANTES REPRESENTATIVOS
Alcohol	R-OH	<p><u>Alcohol alifático.</u> R es lineal o ramificado de 5 a 8 átomos de carbono.</p> <p><u>Acidos Cresílicos.</u> R es un benceno con substituyentes alquílicos de cadena corta.</p> <p><u>Aceites de Pino.</u> R es un terpeno de estructura anular.</p>
Poliéteres Hidroxilados	$HO (RO)_x H$ $R'O (RO)_x H$	<p>Polipropilén glicoles de bajo peso molecular.</p> <p>Metoxitripropilén glicoles.</p>
Parafinas Alcoxisubstituidas	$(R'O)_x R$	Trietoxibutano.

La presencia de las moléculas adsorbidas en la superficie de las burbujas les da cierta elasticidad. Esta propiedad disminuye la posibilidad de ruptura cuando fuerzas externas actúan sobre la burbuja. La ruptura de éste film es retardada por su habilidad para componerse, si se deforma o alarga la superficie (como sucede continuamente) se presenta un incremento en la tensión superficial debido al exceso de moléculas de agua, tendiendo la burbuja a recobrar su forma original. La orientación de las moléculas de espumante impide la coalescencia, por repulsión eléctrica de las superficies con cargas iguales.

Una multiplicidad de variables afectan la espuma. El volumen, estructura y estabilidad de una espuma puede depender del tipo de espumante usado y también del tipo de colector y modificador usado (relaciones espumante-colector, espumante-colector-modificador, o combinaciones), del tipo de máquina de flotación, el tipo de sólidos de la mena, grado de contaminación, presencia de sales inorgánicas y materia orgánica presente en la mena, el pH de la pulpa, etc.

I.B.4. Selección de un espumante.

La selección de un espumante para una particular operación de flotación depende de la forma en que un compuesto cumple los siguientes requisitos ideales :

- a. Bajas concentraciones deben producir continuamente una espuma de suficiente volumen y dureza para actuar como un medio de separación.
- b. La espuma debe romperse rápidamente después de haber sido removida de la celda de flotación.
- c. La textura de la espuma debe permitir la eliminación de partículas de ganga, especialmente en el caso de menas con finos.
- d. El costo y la disponibilidad deben ser satisfactorias para uso a gran escala.
- e. Baja actividad química y tendencia colectora.
- f. El cambio sensible a pH y contenido de sales disueltas en la pulpa de flotación debe ser bajo.

II. ESTUDIO QUIMICO.

II.A. MATERIA PRIMA.

Aguarrás es el término general para los aceites volátiles presentes en los árboles, principalmente las coníferas. Son cuatro tipos de aguarrás que se conocen, dependiendo de la forma de obtención :

- a). Aguarrás de goma : es obtenido por la destilación con vapor del exudado de los árboles.
- b). Aguarrás de madera : se obtiene de la madera de pino, principalmente de los tocones, siguiendo una extracción de las astillas de madera con un solvente adecuado.
- c). Aguarrás por destilación destructiva de la madera: es obtenido de la carbonización de la madera de pino.
- d). Aguarrás al sulfato : es un subproducto de la pulpa de madera durante la digestión de la madera.

La variación en tipos y concentración de los componentes del aguarrás depende del método de obtención, de la especie y localización geográfica de los árboles que lo originan.

Químicamente el aguarrás es una mezcla de terpenos, los mayores constituyentes son terpenos bicíclicos insaturados del tipo del alfa-pineno y beta-pineno, los constituyentes menores del aguarrás son principalmente hidrocarburos terpénicos monocíclicos (dipenteno, terpinoleno, alfa-terpineno, etc.) y los correspondientes hidrocarburos saturados (p- / mentano).

Se encuentran trazas de numerosos compuestos, éstos incluyen alcoholes terpénicos secundarios y terciarios (alcohol fenchil, borneol, alfa-terpineol, etc.), cetonas terpénicas y cineoles, y éteres fenólicos tales como el metil chavicol.

El aguarrás al sulfato, se obtiene a partir de pulpa de madera mediante el proceso Kraft. El proceso Kraft, es un proceso alcalino y es utilizado en gran escala para la obtención de pulpa de madera. Casi cualquier tipo de madera puede ser usada, dura ó blanda, aunque la madera de las coníferas es la más empleada. El proceso fué desarrollado para extraer las grandes cantidades de aceites y resinas en la madera.

Las reacciones químicas son complejas, pero incluyen la hidrólisis de la lignina. Esta hidrólisis también produce mercaptanos y sulfuros, los cuales son causantes del mal olor característico del proceso Kraft.

En la manufactura de pulpa por el método Kraft, los troncos, son cortados, descortezados y transportados a los astilladeros, los cuales son grandes discos rotatorios, para reducir la madera a pequeñas astillas. Las astillas son separadas en tamices giratorios y vibratorios y son transportadas a un molino para reducir al tamaño adecuado. Los digestores son cargados con astillas, el licor blanco, conteniendo esencialmente sulfuro de sodio y sosa cáustica se añade, y se calienta con vapor vivo. El período de cocimiento es de tres horas.

Después, la pulpa es separada del licor y lavada. El licor gastado (licor negro), es bombeado a almacenamiento para recuperar los compuestos volátiles, por evaporación y por combustión de materia orgánica, para reusarlo en el proceso.

La pulpa lavada es pasada a un cuarto de tamizado, donde entra para separar las pequeñas cantidades de madera sin reaccionar, y finalmente filtrar y espesar.

La pulpa concentrada, es blanqueada. Después de blanquear, es lavada y reconcentrada, posteriormente, se pasa por rodillos para dar pulpa seca.

Un factor importante en el balance económico del proceso Kraft, ha sido la recuperación de sub-productos.

El licor negro recuperado de la pulpa, en el lavado de la misma, contiene del 95 al 98 % de los reactivos cargados en el

reactor de digestión. Este licor negro, es concentrado, fundido y caustificado. El producto resultante, se separa en espesantes y filtrados.

El carbonato de sodio precipitado, ó "lodo", es enviado al horno de cal, para recuperar el óxido de calcio. El filtrado, es el "licor blanco" usado en la fabricación de fibra, y contiene sosa cáustica, sulfuro de sodio y pequeñas cantidades de carbonato de sodio, sulfato de sodio y tiosulfato de sodio.

Entre los subproductos recuperados del licor negro, está el Tall Oil, es un líquido negro, viscoso, compuesto principalmente de ácidos grasos, ácidos resínicos y metanol.

El digestor aliviador de gases, produce aguarrás crudo, de 2 a 10 gal/ton. de pulpa producida.

II.B. ESTUDIO REALIZADO EN EL LABORATORIO.

El aguarrás al sulfato contiene cerca de 20 componentes identificados y numerosos constituyentes no identificados. El alfa-pineno, beta-pineno y dipenteno son los más importantes.

La composición del aguarrás al sulfato generalmente varía entre los límites mostrados en la tabla II.B.1.

TABLA II.B.1.
COMPOSICION DEL AGUARRAS

CONSTITUYENTE	%
Alfa Pineno	60-65
Beta Pineno	25-35
Dipenteno y otros terpenos monocíclicos	5-8

La reactividad de los terpenos monocíclicos y bicíclicos es similar, debido a su relación estructural, como se muestra en la figura II.B.2.

Los terpenos experimentan numerosas reacciones, que incluyen: hidrogenación, hidratación, isomerización, polimerización, oxidación, halogenación, esterificación y dehidrogenación.

El aceite de pino sintético puede ser producido por hidratación de alfa-pineno, beta pineno o mezclas que contienen éstos terpenos, y consta principalmente de alfa terpineol y terpenos monocíclicos.

El anillo ciclobutánico del alfa-pineno es abierto por un ácido en presencia de compuestos hidroxilados como el agua, el ácido acético o el metanol, formándose compuestos por adición del hidrógeno hidroxílico. Es abierto también por acción del calor, originando dipenteno y terpenos de cadena

FIGURA II.B.2.

FORMULAS ESTRUCTURALES DE LOS CONSTITUYENTES PRINCIPALES
DEL AGUARRAS



ALFA PINENO



BETA PINENO



DIPENTENO



TERPINOLENO



ALFA TERPINENO



BETA TERPINENO



GAMMA TERPINENO



BETA
PELANDRENO



P/MENTANO

En la práctica, debido a los diversos constituyentes del aguarrás, el aceite obtenido es una mezcla de alcoholes terpénicos y terpenos monocíclicos.

El primer factor considerado fué la proporción ácido-aguarrás, tomando como base que :

$$\text{Peso ácido} + \text{Peso aguarrás} = 1 \text{ Kg.}$$

El avance de la reacción se calculó a partir del % de alcoholes terpénicos formados, considerando :

- a. El % de alcoholes terpénicos en el aguarrás es igual a 0, utilizando la densidad promedio del aguarrás como la densidad de referencia.
- b. La densidad máxima que puede ser alcanzada es 0.933 que es la densidad del alfa terpineol puro, y corresponde a 100 % de alcoholes terpénicos.

$$\% \text{ Alcoholes terpénicos }_{20^{\circ}\text{C.}} = \frac{\text{Densidad}_{\text{medida}} - \text{Densidad}_{\text{aguarrás}}}{\text{Densidad}_{\text{alfa/terpineol}} - \text{Densidad}_{\text{aguarrás}}}$$

El coeficiente de expansión cúbica del aceite de pino por grado centígrado puede ser usado como factor de corrección y es igual a 0.00082 unidades/ grado centígrado, sobre un intervalo de 0-40 °C.

El máximo de alcoholes terpénicos para 100 % de conversión en una mezcla :

$$\text{alfa-pineno} = 62.5 \%$$

$$\text{beta-pineno} = 30 \%$$

Es : 92.5 %, y la conversión en función de la densidad :

$$\% \text{ Conversión}_{20^{\circ}\text{C}} = \% \text{ Alcoholes Terpénicos} \times 100/92.5$$

Los resultados se muestran en la tabla II.B.3.

PROPORCION ACIDO : AGUARRAS

PROPORCION ACIDO : AGUARRAS	% ACIDO	DENSIDAD FINAL	% ALCOHOLES TERPENICOS	% CONVERSION
1 : 1	10	0.863	0	0
	30	0.868	7.14	7.71
	50	0.880	24.28	26.24
1 : 2	10	0.863	0	0
	30	0.872	12.85	13.89
	50	0.881	25.71	27.79
1 : 3	10	0.863	0	0
	30	0.881	25.71	27.79
	50	0.890	38.57	41.69
1 : 4	10	0.863	0	0
	30	0.870	10.00	10.81
	50	0.871	11.42	12.34

El mayor porcentaje de alcoholes terpénicos obtenido es a una proporción ácido-aguarrás 1 : 3 y una concentración de ácido del 50 %.

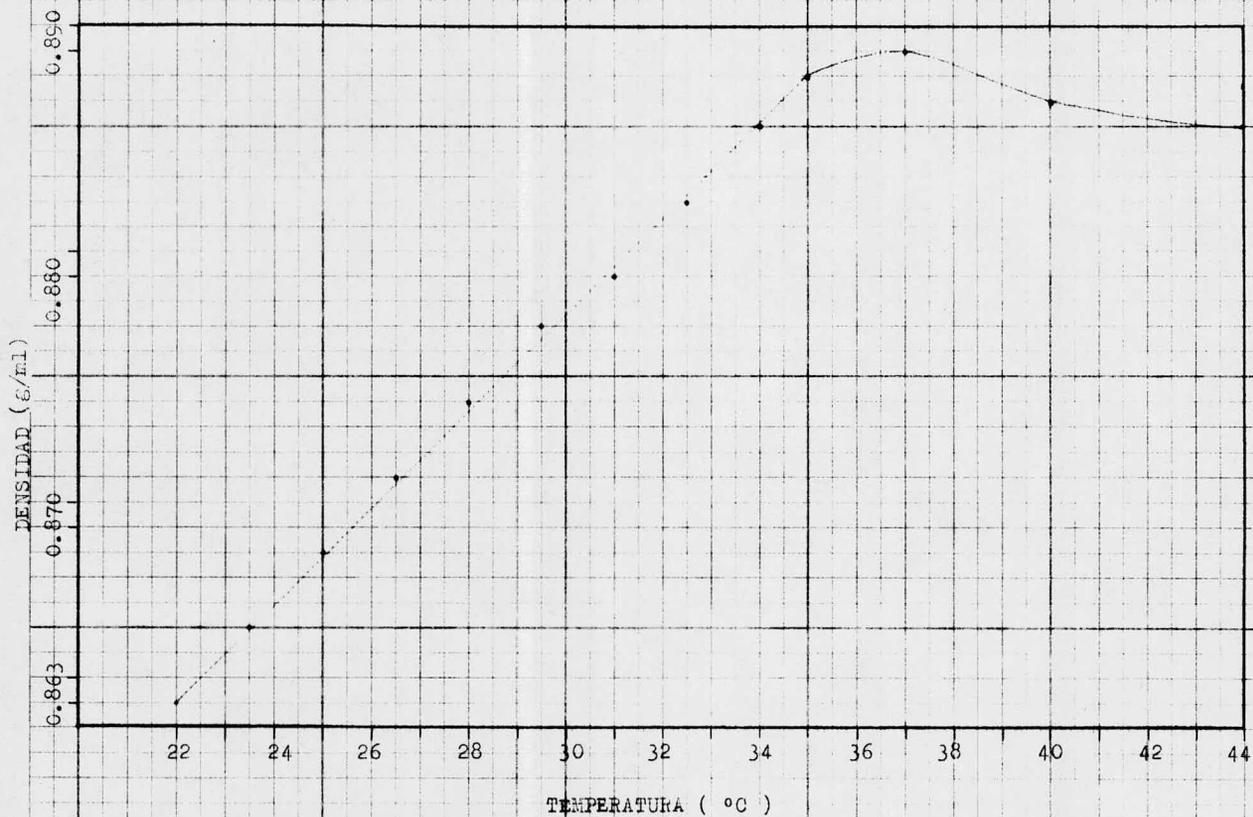
A ésta relación y concentración de ácido, el comportamiento de la densidad con la temperatura y con el tiempo se muestran en la tabla II.B.4 y en las gráficas II.B.5 y II.B.6.

El cambio de la concentración del ácido al avanzar la reacción se muestra en la gráfica II.B.7., pequeñas cantidades de agua deben ser agregadas para mantener la concentración, el aumento de concentración del ácido, causa un aumento en la temperatura, formándose dipenteno.

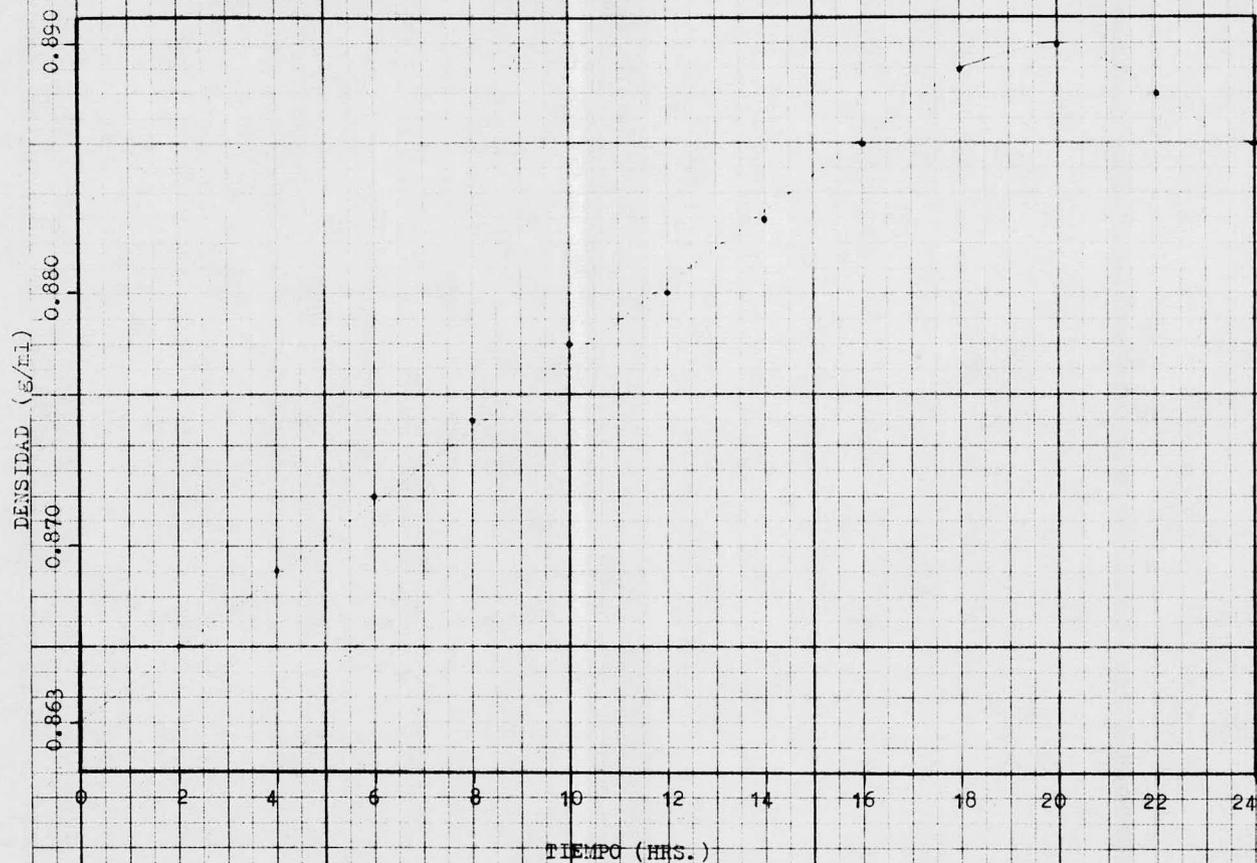
TABLA II.B.4.

TIEMPO HRS.	TEMPERATURA °C	DENSIDAD gr/ml.	ALCOHOLES TERPENICOS %
0	22	0.863	0
2	23.5	0.866	4.29
4	25	0.869	8.57
6	26.5	0.872	12.85
8	28	0.875	17.14
10	29	0.878	21.42
12	31	0.880	24.28
14	32.5	0.883	28.57
16	34	0.886	32.85
18	35	0.889	37.14
20	37.5	0.890	38.57
22	40	0.888	35.71
24	44	0.886	32.85

GRAFICA II.B.6.
DENSIDAD VS. TEMPERATURA

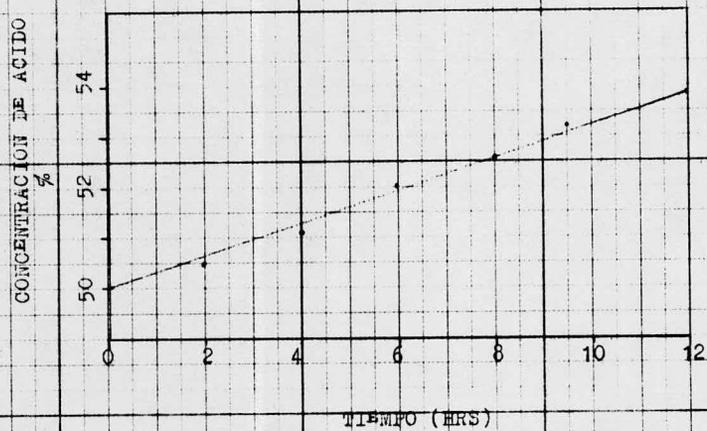


GRAFICA II.B.5.
DENSIDAD VS. TIEMPO



GRÁFICA II.B.7.

CONCENTRACION ACIDO VS. TIEMPO



CAPITULO III.

ESTUDIO DE MERCADO.

Existen varios factores que afectan la evaluación de mercado del aceite de pino como espumante en flotación, dentro de éstos, se encuentran los siguientes :

1. En la práctica se carece de un modelo en el uso de espumantes (1), ya que una multiplicidad de variables influyen la espuma. En apariencia, el aceite de pino es el espumante simple más ampliamente usado, tiene una posición importante en todos los tipos de flotación, con la notable excepción de la flotación de plomo, donde es usado muy poco y en la flotación de zinc donde es de importancia secundaria. En otros tipos de flotación, encuentra uso en combinación. Por otro lado, ha encontrado uso en circuitos de flotación mica-feldespato. El aceite de pino y el ácido cresílico tienden a inclinarse algo más alto, en flotación de sulfuros, que los alcoholes y espumantes sintéticos. A pesar de que fueron desarrollados en las primeras aplicaciones de la flotación, encuentran uso fijo en la práctica moderna.

Es adecuado para la flotación de minerales sulfurosos tales como los de cobre, zinc, níquel, y se obtienen buenos resultados en la flotación de talco, feldespato, mica y molibdenita, se utiliza también cuando un mineral tiene valores de oro y plata. De acuerdo a lo anterior, las menas que pueden ser tratadas usando como espumante el aceite de pino se pueden agrupar como sigue :

IV.1.1. Menas de cobre. Menas que contienen cobre formadas por sulfuros, algunas veces, conteniendo cobre nativo y también oro y plata.

(1). Froth Flotation. The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. N.Y. 1962.

Cualquier cantidad de pirita o de pirrotita presente, por lo general puede ser deprimida. Los minerales de cobre pueden contener sulfuros de plomo, de zinc, de níquel, de cobalto, etc. Estos suben por lo común con los sulfuros de cobre y tienen que ser separados subsecuentemente.

IV.1.2. Menas de plomo-zinc. Menas que contienen sulfuros de plomo-zinc, mezclados con o sin pirita, de ellos, los minerales son removidos en pasos sucesivos de flotación. Para el caso de una mena en que el sulfuro de plomo o de zinc ocurra solo, el procedimiento usual consiste en la aplicación de la concentración gravimétrica seguida por un simple paso de flotación.

IV.1.3. Menas de oro-plata. Ciertas menas que contienen sulfuros y arseniuros de fierro que llevan oro.

IV.1.4. Minerales que contienen molibdenita.

IV.1.5. Feldespato-Mica.

2. No hay regla fija respecto a la cantidad de espumante que debe usarse. Las cantidades varían con la clase de mena que va a ser beneficiada. Las dosificaciones usuales varían entre 10 y 120 gramos de espumante por tonelada de mineral.
3. Tendencia en espumantes : continuar el uso de sustancias monohidroxiladas, desarrollo de espumantes hidroxilados solubles en agua (polipropilén glicol y derivados) y uso de espumantes no hidroxilados (trietóxibutano).(1).

4. "La clasificación y los métodos de estimación de las reservas del país es deficiente. Las reservas minerales se clasifican actualmente en la manera tradicional de positivas, probables y posibles, ésta clasificación es un criterio geométrico únicamente, las bases para su estimación son los levantamientos topográficos y el muestreo de obras mineras o de barrenos, aplicando un criterio geológico solamente cuando los cuerpos minerales son desplazados por fallas o en otras situaciones drásticas, y usando controles estadísticos muy rudimentarios, descuida completamente los aspectos económicos, técnicos y de disponibilidad de las menas, esto es, no determina si cierto tonelaje de mineral es costeable en un momento dado, si se puede explotar o beneficiar con las técnicas actuales ó si es ta disponible".
5. Otro factor importante, es que los diferentes proyectos de expansión o nuevas unidades, deben ser competitivos a escala internacional, en magnitud, eficiencia, productividad, técnica y costos. Para conseguirlo se requiere apoyo económico y asistencia técnica.

En la estimación del consumo futuro de aceite de pino como reactivo de flotación, y en base a lo anterior, se están considerando los siguientes aspectos :

- a. La evolución que han registrado los grupos de metales y minerales en que el aceite de pino puede ser usado, representará la tendencia del consumo de aceite de pino.
- b. Hay suficientes recursos de los metales y minerales considerados para un futuro previsible.
- c. La tendencia en el uso de espumantes no afectará de manera significativa.
- d. La cantidad de espumante utilizada será un promedio del rango de dosificación usual.
- e. Las empresas mineras se agruparán de la siguiente forma :

1. Privadas : Industrial Minera México S.A.

Minería Frisco S.A.

Industria Peñoles S.A.

2. Paraestatales, mediana y pequeña industria : Comisión de Fomento Minero.

- f. Ya que la dosificación de espumante en la flotación de minerales no metálicos es menor que en la flotación de sulfuros, no se considerarán.
- g. El uso de aceite de pino en el beneficio de menas que contienen molibdenita, se considerará despreciable.

El volumen de producción minero metalúrgica de los metales y minerales considerados, de 1967 a 1976, se muestra en la figura 1.

Para la determinación de la ecuación que relaciona las variables, se probaron las siguientes :

Línea recta :	$Y = a + bX$
Curva cuadrática :	$Y = a + bX + cX^2$
Hipérbola :	$1/Y = a + bX$
Curva Exponencial :	$Y = ab^X$
	$Y = aX^b$

Obteniéndose los siguientes coeficientes de correlación :

Línea recta :	0.6378
Curva cuadrática :	0.7063
Hipérbola :	0.2312
Curva exponencial :	0.1540
	0.2173

Aunque la mayor correlación corresponde a una curva cuadrática ó parabólica, ésta no es representativa, por lo tanto, la ecuación que se utilizará será : $Y = a + bX$.

Los valores encontrados para a y b fueron :

$$a = 304.13$$
$$b = 4.412$$
$$Y = 304.12 + 4.412 X.$$

El consumo futuro será determinado para 1983 y la producción esperada es :

$$Y = 304.13 + 4.412 (17) = 379.13 \text{ miles de ton.}$$

TABLA 1.

VOLUMEN DE LA PRODUCCION MINERO METALURGICA DE LOS METALES
Y MINERALES CONSIDERADOS
1967-1976
(MILES DE TON)

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1976	1976
ORO (KGS)	5 141	5 504	5 617	6 166	4 694	4 543	4 123	4 182	4 501	5 064
PLATA	1.19	1.25	1.33	1.32	1.14	1.17	1.21	1.17	1.18	1.33
COBRE	56.01	61.11	66.17	61.01	63.15	78.72	80.50	82.67	78.20	88.97
ZINC	241.22	240.02	253.38	266.40	264.97	271.84	271.37	262.72	228.85	259.18
MOLIBDENO	0.06	0.08	0.20	0.14	0.08	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02
FELDESPATO	63.63	80.26	78.91	85.75	99.34	98.36	97.11	185.30	143.81	73.24
MICA	0.88	0.74	0.65	0.56	0.71	0.83	0.78	0.84	0.62	1.30
TALCO	2.92	0.64	1.45	2.11	1.71	3.13	2.11	2.65	1.48	0.19
TOTAL \angle 1	298.42	302.38	320.88	328.73	329.26	351.73	353.08	346.56	308.23	349.48

\angle 1. El total corresponde sólo a la producción de oro, plata, cobre y zinc.

Volumen total anual promedio : 328.88 miles de ton.
Aumento que se aplicará al consumo de aceite de pino :

$$\frac{379.13}{328.88} = 1.152 \%$$

El volumen anual promedio de mineral con contenidos metálicos en el período 1971/1976 de las empresas mineras consideradas, se resume en la tabla 2.

TABLA 2.

EMPRESA	TON. DE MINERAL BENEFICIADAS POR DIA
Industrial Minera México S.A.	10 019
Minería Frisco S.A.	2 705
Paraestatales, mediana y pequeña industria	6 142
Industrias Peñoles S.A.	15 729

	34 595

El rango usual de espumante por tonelada de mineral beneficiada varía entre 10 y 120 gr., siendo el consumo promedio : 60 gr. por tonelada de mineral.

Consumo promedio de espumante en el período 1971/1976 :

$$34\ 595 \text{ ton.mineral/día} \times 0.060 \text{ kg.esp./ton.min.} \\ = 2\ 195 \text{ kg. esp./día.}$$

Consumo esperado de espumante para 1983 :

$$2\ 195 \text{ kg.esp./día} \times 1.152 \times 365 \times 1/1000 = 923 \text{ ton.esp.}$$

CAPITULO IV. ESTUDIO DE VIABILIDAD.

IV.A. PROCESO.

La hidratación de los pinenos a terpineoles con una solución acuosa de ácido fosfórico, será llevada a cabo en un reactor batch, agitado, enchaquetado, de acero inoxidable.

Las condiciones de proceso serán :

Presión : Atmosférica.

Temperatura : 37.5 °C.

Tiempo de Reacción : 20 hrs.

Proporción Acido:Aguarrás : 1:3.

Concentración de ácido : 50 %.

Estas condiciones, dan un producto de reacción que contiene 38.57 % de alcoholes terpénicos.

Una vez alcanzada la máxima densidad, y detenida la agitación, la fase acuosa de ácido se asienta en la parte inferior del reactor, y será retirada por gravedad a un tanque de fibra de vidrio.

El ácido fosfórico remanente no separado, y la fase oleosa, serán bombeados a un tanque separador, de idénticas dimensiones al reactor de hidrólisis.

El tanque separador provee suficiente tiempo de residencia para una completa separación de la fase acuosa.

El consumo de aceite esperado para 1983 es : 923.0 ton.

Considerando el rendimiento del 98 % obtenido en el laboratorio, la cantidad de aguarrás por día, trabajando 5 días a la semana es : 3.92 Ton.de aguarrás por día.

El tiempo promedio de hidrólisis es de 20 hrs., por lo que la cantidad de aguarrás al sulfato por batch es : 3.26 ton. de aguarrás por batch. (3 777.0 lts. de aguarrás por batch).

La proporción ácido:aguarrás es 1:3, la cantidad de ácido por batch es : 1.08 ton. de ácido fosfórico 50% por batch (808.9 lts. de ácido por batch).

El volumen del reactor de hidrólisis con fondo cónico de 90° es :

$$V_r = (V_a + V_{ac}) \text{ F.S.}$$

Donde :

V_r = Volumen del reactor.

V_a = Volumen de aguarrás al sulfato.

V_{ac} = Volumen de ácido fosfórico 50 %.

F.S. = Factor de seguridad = 30 %.

Substituyendo los valores anteriores :

$$V_r = (3\,777 + 808) \cdot 1.30 = 5\,962 \text{ lts.} = 5.962 \text{ m}^3.$$

$$5.962 \text{ m}^3 = 3.1416 r^2 L + 1/3(3.1416) r^2 h.$$

Si :

$$L/D = 1.5 \text{ y } h = r \text{ tang. } 45^\circ :$$

$$r = 0.885 \text{ mts.}$$

$$D = 1.770 \text{ "}$$

$$L = 2.124 \text{ "}$$

$$h = 0.885 \text{ "}$$

Para el cálculo del volumen del tanque de almacenamiento de aguarrás al sulfato, se tomará como base que se puede surtir la materia prima por semana, es decir :

$$19.62 \text{ ton. aguarrás/semana} = 22\,734 \text{ lts.}$$

El tanque será para 27 000 lts.

El volumen es :

$$V = 3.1416 r^2 L$$

Si : $L/D = 1.5$

$$27 \text{ m}^3 = 1.5 (2) 3.1416 r^3 :$$

$$r = 1.420 \text{ mts.}$$

$$D = 2.840 \text{ "}$$

$$L = 4.260 \text{ "}$$

El ácido actúa como un medio para que se lleve a cabo la reacción, el ácido recuperado se mandará a un tanque de almacenamiento de acero inoxidable. Únicamente hay que estar reponiendo ácido nuevo y agua para mantener la concentración al 50 %.

El tanque de almacenamiento será de 1000 lts.