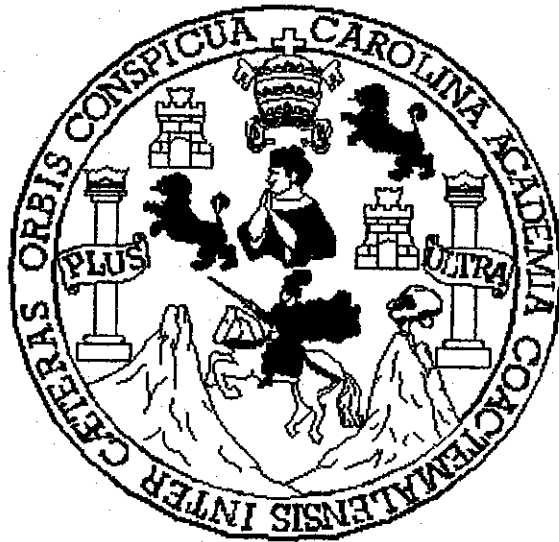


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE
PLOMO EN GALENA, MEDIANTE EL MÉTODO DE
FLOTACIÓN EN ETAPAS MÚLTIPLES, A DIFERENTES
VELOCIDADES DE AGITACIÓN Y A DIFERENTES
POTENCIALES DE HIDRÓGENO CON UNA RELACIÓN DE
MUESTRA 3:1 (AGUA + MINERAL) A NIVEL DE
LABORATORIO**

TESIS

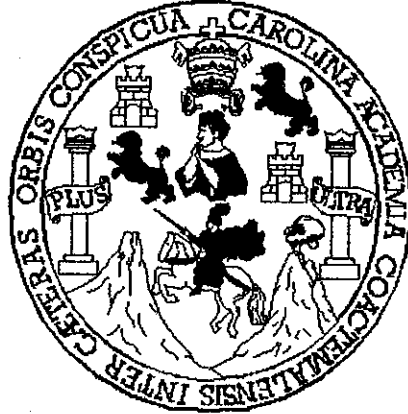
**PRESENTADO POR:
OSWALDO ISRAEL SAC QUIXTÁN**

**AL CONFERIRLE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 1,999

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

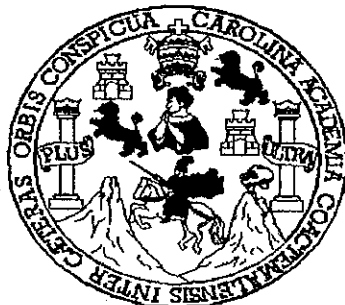


EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE PLOMO EN GALENA, MEDIANTE EL MÉTODO DE FLOTACIÓN EN ETAPAS MÚLTIPLES, A DIFERENTES VELOCIDADES DE AGITACIÓN Y A DIFERENTES POTENCIALES DE HIDRÓGENO CON UNA RELACIÓN DE MUESTRA 3:1 (AGUA + MINERAL) A NIVEL DE LABORATORIO.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 24 de mayo de 1,999


Oswaldo Israel Sac Quixtán

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Ing. Herbert René Miranda Barrios
Vocal 1º: Ing. José Francisco Gómez Rivera
Vocal 2º: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Vocal 3º: Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
Vocal 4º: Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzman
Vocal 5º: Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
Secretario: Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

**TRIBUNAL QUE PRÁCTICO EL EXAMEN GENERAL
PRIVADO**

Decano: Ing. Herbert René Miranda Barrios
Examinador: Ing. Otto Raúl de León de Paz
Examinador: Ing. César A. García Guerra
Examinador: Ing. Manuel G. Galván Estrada
Secretaria: Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

I.Q.S.P.E.

CONSULTORÍA PROFESIONAL

INGENIERÍA QUÍMICA, SANITARIA, ENERGÉTICA, AMBIENTAL Y MINERALOGÍA

9 av. 11-24 zona 1 oficina "D-1" Tercer nivel Guatemala C.A. Tel/Fax (502) 2519017 E - mail perdua@infovia.com.gt

Guatemala, 07 junio de 1999

Ingeniero
Otto de León
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

ESTIMADO INGENIERO DE LEÓN:

Hago de su conocimiento que habiendo revisado el trabajo de tesis del Estudiante: OSWALDO ISRAEL SAC QUIXTAN, con Carnet No. 61449, denominado: **EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE PLOMO EN GALENA, MEDIANTE EL METODO DE FLOTACION EN ETAPAS MULTIPLES A DIFERENTES VELOCIDADES DE AGITACIÓN Y POTENCIALES DE HIDROGENO CON UNA RELACIÓN DE MUESTRA 3:1 (AGUA + MINERAL) A NIVEL DE LABORATORIO**, y del cual dejo constancia de mi aprobación; para proceder a la autorización respectiva del trabajo de investigación.

Sin otro particular quedo de usted.

Atentamente,


M. Sc. ING. Edy Haroldo Pérez Orozco
Colegiado No. 49
Asesor

EP/BR

Edy Haroldo Pérez Orozco
Ing. Químico Colegiado 490
M. Sc. Ingeniería Sanitaria y
Planificador Energético



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 20 de julio de 1,999.

Ingeniero
Otto Raúl de León de Paz
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero de León.

Por medio de la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el Informe Final de Tesis del estudiante **Oswaldo Israel Sac Quixtan**, titulado: **EVALUACION DE LA TECNICA DE RECUPERACION DE PLOMO DE GALENA, MEDIANTE EL METODO DE FLOTACION EN ETAPAS MULTIPLES A DIRERENTES VELOCIDADES DE AGITACION Y POTENCIALES DE HIDROGENO CON UNA RELACION DE MUESTRA 3:1 (AGUA + MINERAL) A NIVEL DE LABORATORIO**, dejo constancia de aprobación para la autorización del respectivo trabajo.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, le saluda.

Atentamente,

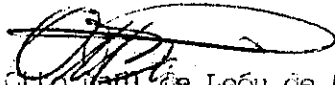
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio Rivera Palacios
REVISOR



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ingeniero Otto Raúl de León de Paz, después de conocer el dictamen del asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante: OSWALDO ISRAEL SAC QUIXTAN, titulado: EVALUACION DE LA TECNICA DE RECUPERACION DE PLOMO EN GALENA, MEDIANTE EL METODO DE FLOTACION EN ETAPAS MULTIPLES, A DIFERENTES VELOCIDADES DE AGITACION Y A DIFERENTES POTENCIALES DE HIDROGENO CON UNA RELACION DE MUESTRA 3:1 (AGUA + MINERAL) A NIVEL DE LABORATORIO, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Raúl de León de Paz
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA

Guatemala, 10 de agosto de 1999.

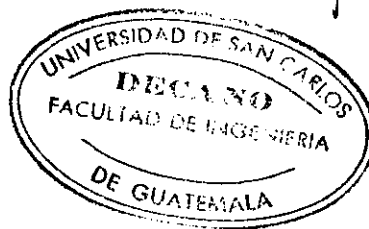


FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de tesis titulado: **EVALUACION DE LA TECNICA DE RECUPERACION DE PLOMO EN GALENA, MEDIANTE EL METODO DE FLOTACION EN ETAPAS MULTIPLES, A DIFERENTES VELOCIDADES DE AGITACION Y A DIFERENTES POTENCIALES DE HIDROGENO CON UNA RELACION DE MUESTRA 3:1 (AGUA + MINERAL) A NIVEL DE LABORATORIO**, del estudiante **OSWALDO ISRAEL SAC QUIXTAN**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Hiranña Barrios
DECANO



Guatemala, 10 de agosto de 1999.

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por permitirme culminar exitosamente mi carrera y darme la esperanza de vida

A MI ASESOR

Ing. MSC. Edy Haroldo Pérez Orozco

Por ser compañero en las aulas universitarias, por ser amigo y asesor de éste trabajo

A MI REVISOR

Ing. Julio Rivera

Por su colaboración y ayuda al presente trabajo

**A LA FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

ACTO QUE DEDICO

A MIS PADRES

**GREGORIO SAC PAC
MARCELA QUIXTÁN DE SAC**

UNA ORACIÓN DE AMOR Y UN RECUERDO A SU MEMORIA

A MI ESPOSA

BLANCA ELIZABETH MORALES DE SAC

**POR SER UNA BELLA PERSONA QUE DIOS ME DIÓ, GRACIAS POR SU
COMPRENSIÓN A LA DIFÍCIL TAREA DE SER MADRE Y ESPOSA.**

A MIS HIJOS

**VIVIANA ELIZABETH
HENNING GREGORIO
MARCEL LORENA
LESLIE LUCRECIA
OSWALDO JAVIER**

ESTE EJEMPLO Y TRIUNFO PARA ELLOS

A TODA MI FAMILIA Y AMIGOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	IV
RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	VII
1. ANTECEDENTES	8
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
4. HIPÓTESIS	12
5. MARCO TEÓRICO	13
5.1 Historia	13
5.2 El plomo	14
5.3 Fuetes naturales	15
5.4 Propiedades físicas	15
5.5 Propiedades químicas	16
5.6 Presentación del plomo en los minerales	17
5.7 Usos	19
6. FLOTACIÓN	22
6.1 Las etapas del proceso de flotación	22
6.2 Celda de flotación	23
6.3 Reactivos de flotación	24

6.3.1.1	Reactivos colectores	24
6.3.1.2	Colectores para sulfuros	24
6.3.1.3	Colectores para no sulfuros	25
6.3.1.4	Ácidos grasos	25
6.3.1.5	Sulfuros orgánicos, sulfanatos	26
6.3.1.6	Aminas primaria, secundaria, terciaria	26
6.4	Mecanismos de reacción	27
6.5	Reactivos espumantes	27
6.6	Ángulo de contacto	28
6.7	Modificadores de flotación	29
6.7.1	Activadores	30
6.7.2	Depresores	31
6.7.3	Dispersantes	31
6.7.4	Reguladores de PH	32
6.8	Espumantes	32
6.8.1	Espumantes comunes	32
6.8.1.1	Aceite de pino	32
6.8.1.2	Alcoholes alifáticos	33
7.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	34
7.1	Localización	34
7.2	Equipo y material	34
7.2.1	Equipo	34

7.2.2	Equipo de laboratorio	34
7.2.3	Materiales	35
8.	MÉTODO EXPERIMENTAL	37
8.1	Diseño experimental	38
8.2	Manejo del experimento	38
8.3	Etapas de flotación discontinuas	38
8.4	Análisis químico del concentrado	39
8.5	Variable respuesta	39
9.	RESULTADOS	40
10.	ANÁLISIS DE ERROR	41
11.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
12.	CONCLUSIONES	49
	RECOMENDACIONES	50
	REFERENCIAS	51
	BIBLIOGRAFÍA	53
	APÉNDICES	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Figura No. 1 (celda de flotación)	23
2.	Figura No. 2 (ángulo de contacto)	24
3.	Figura No. 3 (porcentaje de concentración de plomo vrs. Velocidad de agitación)	57
4.	Figura No. 4 (porcentaje de concentración de plomo vrs. Potencial de hidrógeno)	58
5.	Figura No. 5 (mapa de ubicación de la mina de Torlón)	59
6.	Figura No. 6 (diagrama de flujo para flotación de plomo)	60

ÍNDICE DE TABLAS

1.	Tabla No. I	(códigos de tratamientos y variables de estudio)	35
2.	Tabla No. II	(% de recuperación de plomo con diferentes PH y velocidades de agitación)	39
3.	Tabla No. III	(esperanza de cuadros medios E, de CM)	40
4.	Tabla No. IV	(cuadrados medios, CM y prueba F observada)	40
5.	Tabla No. V	(resultados del análisis de error)	41
6.	Tabla No. VI	(composición química del mineral de la muestra)	52
7.	Tabla No. VII	(datos obtenidos del concentrado de plomo en el análisis del diagrama de flujo)	52
8.	Tabla No. VIII	(datos obtenidos de la concentración de plomo en los diferentes cambios de la velocidad de agitación y potenciales de hidrógeno)	53

GLOSARIO

MINERO-METALURGICO	Arte de extraer y labrar los metales.
FLOTACIÓN	Es la operación de concentración mediante la cual los componentes mineralógicos de una mena son triturados y molidos hasta que la mayoría de las partículas minerales valiosos son liberados, y así obtener el plomo.
GALENA	Mineral compuesto principalmente de sulfuro de plomo.
“SISA, MULVA”	Nombre del plomo que antiguamente utilizaban los Egipcios, Indios y Hebreos.
“XSCAITEPOS, UOYIBOS”	Conceptos utilizados en el Bendil de los Hebreos.
“PLUMBUM, NIGRUM”	El rey Plinio denominaba al plomo con estos términos.
LAHNTHAL, SIEGTHAL	Pueblos Alemanes donde explotaban minas de plomo.
IGNEAS, METAMÓRFICAS	Tipos de rocas con una estructura y propiedades especiales.
ESQUISTOS, ARENASCA	Tipos de rocas con un contenido elevados de plomo.
CONCOIDEA, EXFOLIACIÓN, HEXAHÉDRICA	Formas, estructuras y características especiales de las rocas con contenido de plomo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar el porcentaje de plomo que se puede recuperar en el procedimiento de concentración del mineral, conocida como flotación, aplicado al plomo en galena.

La parte experimental se trabajó específicamente con el mineral galena, conteniendo un 3 % de plomo inicialmente de entrada. Para fines de estudio del presente experimento se tomaron en cuenta las siguientes variables de operación, tres diferentes velocidades de agitación de 950, 1,200 y 1,500 revoluciones por minuto (r.p.m.), como también tres diferentes potenciales de hidrógeno de 8.0, 8.5 y 9.0 (PH).

Se realizó un diseño experimental simple con arreglo combinatorio y una distribución completamente al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones, teniendo como variable de respuesta la concentración de plomo, obtenido por medio de la evaluación de técnica de recuperación, además se utilizó una celda de flotación Denver D-2 de turbina 425-1,725 r.p.m., y con su respectivo tacómetro, para la realización de las pruebas de flotación.

A la variable de respuesta, el porcentaje de concentración de plomo obtenido se le aplicó un análisis de varianza, resultando diferencias altamente significativas, por lo que se realizó la prueba de Scheffe para determinar la mejor combinación aleatoria, la cual se obtiene a 950 r.p.m., y un potencial de hidrógeno de 8.0 (PH) y una recuperación de 85.03 % de plomo.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar el procedimiento de concentración de minerales conocidos, por el método de flotación, aplicado específicamente al plomo. El material mineralógico proviene de la mina de Torlón, ubicada en el municipio de San Sebastián en Huehuetenango.

Durante la explotación de los yacimientos naturales, normalmente, se encuentran formaciones heterogéneas de cristales y amorfos que representan minerales. Para poder aprovechar industrialmente estos yacimientos se hace uso del proceso de concentración por flotación. El proceso de flotación es el método más usado para la separación de sólidos en la industria minera y química.

La incorporación del proceso de flotación en la industria minero-metalúrgica ha beneficiado enormemente a la economía de la minería mundial, ya que se ha estimado que anualmente la cantidad de mineral procesado mediante flotación supera los dos millones de toneladas de 100 diferentes tipos de minerales.

La flotación es un proceso de separación en donde las sustancias por separar son trituradas y molidas hasta que los constituyentes individuales son liberados. Las partículas de la mena mineral están y son suspendidas en una solución acuosa y mantenidas en suspensión mediante una agitación apropiada. El objetivo del proceso consiste en separar selectivamente uno de los componentes, el mineral valioso, de las otras colas. Para este fin se inyectan burbujas de gas dispersas a través de la pulpa para que el componente valioso se adhiera selectivamente a las burbujas de gas, formando agregados de baja densidad los cuales tienden a flotar hacia la superficie de la pulpa para dar lugar a una capa de espuma que pueda ser retirada de la superficie por medios mecánicos.

Para que las partículas minerales se adhieran a las burbujas de gas es necesario que previamente haya sido hidrofobizadas mediante la adsorción de surfactantes. Para que la adsorción se realice es necesario que exista un enlace apropiado con alta energía de enlace entre colectores y las superficies de las partículas por flotar. En la separación de mezclas minerales complejas se requiere de la adición de reactivos modificadores, los cuales pueden auxiliar a mantener algunos componentes de la mezcla con un carácter hidrofílico, depresores, o bien pueden reforzar la acción de los reactivos colectores y activadores. Finalmente, para hacer que la espuma sea lo suficientemente estable y capaz de llevar los componentes valiosos, es necesario adicionar reactivos espumantes.

1. ANTECEDENTES

En abril de 1,991 el ingeniero químico Juan Fernando Valladares Morales hizo un estudio preliminar a nivel de planta piloto para la concentración de plomo, por el método de flotación simple y trabajando un mineral galena de concentración 17.47 % y llevando esta concentración más alta por el método de flotación simple a 61.48 %.

La metalurgia es una materia que no hace muchos años fue el arte de beneficiar a los minerales y sus metales, poniendo a éstos en condiciones de aprovechamiento para diversos usos, ha dejado de serlo hasta convertirse en ciencia, al considerar que la metalurgia extractiva es la aplicación de los principios científicos al estudio de los minerales, la que valiéndose de las propiedades de éstos, ha logrado en algunos casos, y tendiendo en otros al aprovechamiento integral de los valores.

Este cambio a que se hace referencia es debido al continuo estudio de que esta rama es objeto mundialmente, llegando así a constituirse en una ciencia.

Consecuentemente, la parte de la metalurgia correspondiente a la preparación de minerales, es la que tiene por objeto el estudio de los diferentes procesos y operaciones para la separación de los valores minerales de su matriz, ya sean éstos metálicos, no metálicos o sus compuestos, el estudio de los factores que en ella intervienen, las leyes físicas, químicas y fisico-químicas a que obedece y del conocimiento del equipo en ella empleado, así como la distribución y coordinación de éste en la integración de una planta de beneficio para minerales, lo que permitirá tener procesos económicos y desde el punto de vista metalúrgico, eficientes.

Los minerales han sido clasificados desde diferentes puntos de vista, conociéndose en la actualidad en número aproximado de cuatro mil (4,000) especies. Estas clasificaciones se han llevado a cabo en consideración a su composición química,

sistema cristalino, características físicas. (tales como: color, transparencia, brillo, textura, dureza, tenacidad, fractura, peso específico, etc. y también con base en otras propiedades tales como las ópticas, eléctricas, magnéticas, etc.). Consecuentemente, las clasificaciones de los minerales son variables de acuerdo con la base adoptada como característica principal. Las clasificaciones mas comunes usadas son la de Lapparent que se basa en el origen de los minerales y la de Groth que se basa en sus características químicas.

Ahora, desde el punto de vista que nos ocupa y para la aplicación de los diferentes procesos a estudiar, pueden ser clasificados los minerales en dos grandes grupos como sigue: metálicos y no metálicos.

2. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país eminentemente mineralógico, ya que dentro de sus recursos minero-metalúrgico pretende enormemente beneficiar a la economía del país y además lograr un mejor aprovechamiento de todos los minerales que se puedan obtener. Es de mucha preocupación ver que en la actualidad no se cuente en nuestro medio con procesos técnicos que nos lleven a obtener un producto de mejor calidad y que pueda competir con otros países.

El siguiente estudio trata de un proceso de flotación para recuperar el plomo en galena que es uno de los muchos métodos que existen en la actualidad, siendo el más usado para poder lograr la separación de sólidos en la industria minera y química.

De los minerales explotados en Guatemala, solamente el plomo ha sido aprovechado para el consumo interno; ha sido posible debido a que el plomo, en forma de carbonato de plomo (CaO_3Pb), por su punto de fusión se encuentra a temperaturas bajas y esto permite que se pueda fundir y procesar en hornos de bajo costo, y con tecnología adecuada. Donde la energía eléctrica no es un factor determinante como sucede con otros minerales que es necesario tener gran potencial eléctrico.

Debido al empírismo con que se trabajan los minerales explotados, nos da la razón decir que Guatemala estará entre un límite de 50 a 100 toneladas en la producción del plomo para su consumo local, el cual comparado con otros países es muy bajo, es por eso que este estudio tiene como finalidad de lograr un mejor aprovechamiento tanto técnico como económico y obtener un mejor producto para poder competir con otros países.

3. OBJETIVOS

General:

1.- Evaluar el porcentaje de recuperación de plomo, mediante el método de flotación múltiple a condiciones variables de velocidad de agitación y potencial de hidrógeno de la mezcla.

Específicos:

1. - Desarrollar correlaciones del porcentaje de recuperación de plomo a diferentes velocidades de agitación y potenciales de hidrógeno de la mezcla reaccionante.

2.- Determinar la combinación velocidad de agitación – potencial de hidrógeno a la cual se obtiene el máximo porcentaje de plomo en las condiciones de trabajo del experimento.

4. HIPÓTESIS

Es posible optimizar las condiciones de operación, velocidad de agitación V_{rs} , potencial de hidrógeno, en la unidad de flotación para obtener un máximo concentrado de plomo.

Hipótesis estadística

H1: Sí existen diferencias significativas en la recuperación de plomo utilizando el método de flotación múltiple a diferentes velocidades de agitación y potenciales de hidrógeno.

H2: No existen diferencias significativas.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Historia

El conocimiento del plomo es de fecha muy remota, puesto que existía ya entre los egipcios, indios y hebreos, es decir, en los pueblos de historia más antigua. En las listas de tributos del más grande de los faraones, Thutmes III, que reinaba hace más de 3,000 años sobre los pueblos del valle del Nilo, se hace referencia al botín de plomo. Los indios utilizaron el plomo sisa, mulva para amuletos y en forma de pesos para mantener en tensión los hilos al tejer, para purificar la plata y para preparar el minio empleado como afeite. Los libros sagrados de los hebreos mencionan repetidas veces el plomo, por ejemplo, en el libro II de Moisés.

El bendil de los hebreos figura generalmente como xscaitepos en la primitiva traducción griega del Antiguo Testamento, que data del siglo III A de C. término que más tarde se tradujo por estaño; aparece, sin embargo, en la versión mencionada traducido en algunos casos débiles por uoyibos, vocablo con que, indudablemente, designaban los griegos el plomo. Se conservan abundantes datos acerca del empleo del plomo por los pueblos clásicos de la antigüedad, griegos y romanos.

Los primeros lo obtenían en Rodeas, Chipre y, especialmente, Laurión. Los romanos lo importaban, según Plinio que denominaba al plomo Plumbum nigrum, para diferenciarlo del estaño o plumbum candidum o albus, de España, Galias e Inglaterra, poseyendo además minas propias de este metal cerca de Iglesias, en Cerdeña. En Alemania explotaron minas de plomo, los romanos en el Lahnthal y en el Sieghthal, así como en la región de Eifel.

Por su tenacidad empleaban el plomo los antiguos para fijar grapas de hierro y bronce en los sillares de las construcciones, en forma de aros, para reforzar vasijas de arcilla para vino; como alambre, para sujetar los rizos del cabello; por razón de su

densidad o peso, en los anzuelos, como proyectiles para las ondas de los romanos, en las correas de los púgiles y para pesas; entre los romanos principalmente para tubos conductores de agua, en chapas delgadas, sobre las que se trazaban rasgos de escritura por medio de punzones metálicos; como contraseñas para penetrar en las asambleas, representaciones teatrales, etc., para sellos, amuletos etc. Ref. 4, pag. 14-15

Los antiguos filósofos químicos atribuyeron al plomo el carácter del dios Saturno, pretendiendo que a la seriedad, melancolía, tenebrosidad y pesadez de este correspondía el color ceniza del metal y la lentitud y falta de viveza que este manifiesta en las diversas operaciones químicas; así como Saturno devoro sus hijos, así el plomo destruye y corroe a los demás metales.

5.2 El plomo

El plomo, Pb, número atómico 82, peso atómico 207,21, está en el grupo IV del sistema periódico y es un miembro del subgrupo que contiene el germanio y el estaño. Su número de valencia usual es 2, pero muestra también la valencia 3, especialmente en sus compuestos orgánicos, muchos de los cuales son bastantes estables. Los cuatro isótopos naturales son, por orden decreciente de su abundancia, 208, 206, 207 y 204. Cristaliza en el sistema cúbico en formas de cara centrada y la distancia interatómica mínima es 3.492 Å. Está presente en la corteza terrestre en la proporción aproximada de 2×10^{-6} ppm. (partes por millón)

Es uno de los metales comunes más blandos y más pesados, se corta fácilmente con un cuchillo; la superficie de corte es de color argentino brillante si el metal es puro. Se lamina y estira fácilmente por extrusión, pero pequeñas cantidades de antimonio, arsénico, cobre y metales alcalinotérreos aumentan su dureza. Su resistencia a la corrosión atmosférica y al ataque por los ácidos, especialmente por el sulfúrico (H_2SO_4), hace que sea muy útil en la edificación, en las instalaciones de las fábricas de productos químicos, para tuberías y para envoltura de cables. Otros usos importantes

son para hacer placas de acumuladores, pigmentos para pinturas, reactivos químicos, municiones, soldadura, metal para tipos de imprenta y otras aleaciones.

5.3 Fuentes naturales

El plomo se encuentra naturalmente en la corteza terrestre a una concentración de aproximadamente 13 mg/ kg. Como ocurre en todos los elementos, en algunos lugares se observan concentraciones mucho más elevadas, especialmente en los yacimientos de minerales de plomo desparramados por todo el mundo.

Las fuentes más importantes de plomo son las rocas ígneas y metamórficas, que tienen concentraciones de 10 a 20 mg/kg. La concentración de plomo en rocas sedimentarias es del mismo orden de magnitud. El contenido de plomo de los esquistos carbonosos en EUA y Europa oscilan entre 10 mg/kg. Y 70 mg/kg. El contenido de plomo en esquistos y arenisca son similares, pero en roca fosfática es más elevado y puede superar los 100 mg/kg. Los sedimentos no consolidados en masas de agua dulce y bajos fondos marinos tienen un contenido similar al de los esquistos. En cambio, en los sedimentos marinos profundos la concentración más elevada comúnmente es de 100 a 200 mg/kg. Ref.6, pag.205

El carbono tiene un contenido de plomo relativamente bajo, sin embargo, en las cenizas del carbón, la concentración es generalmente superior a la de las rocas ígneas metamórficas y sedimentarias, pero no más de 10 veces mayor.

5.4 Propiedades físicas

Es un metal blando y brillante en la superficie de cortes recientes. Este brillo desaparece en pocos segundos, pues la superficie limpia absorbe oxígeno y se forma una capa de óxido mate, no transparente y coherente, que protege al metal del interior, ataque del oxígeno. El metal es estable también frente a los ácidos excepto nítrico

(HNO₃) y sulfúrico (H₂SO₄) concentrado y caliente. Funde a 327 °C y tiene una densidad de 11.4 g./cm³.

El plomo y sus combinaciones son muy venenosos y es también perjudicial el trabajo continuado con plomo si no se evita que el polvo del metal o de sus combinaciones sea eliminado del aire que se respira.

El plomo fundido tiene solamente una resistencia de 0.65 a 1.3 Kg/mm² por milímetro cuadrado, que se eleva después de trefilado, hasta 1.6 a 2.7 Kg/mm² Y se volatiliza a temperaturas muy elevadas. Al solidificarse se contrae, y en consecuencia no sirve para la fabricación de piezas moldeadas.

Su peso específico es de 11.36 y no aumenta con el forjado, disminuyendo cuando se alea con otros metales comunes. La soldadura se lleva a cabo fácilmente si su superficie esta fresca y limpia, y hasta puede moldearse el polvo por presión en formas sólidas. De este modo es posible producir aleaciones de plomo y estaño y obtener hojas compuestas de los dos metales colocándolos en contacto y pasándolos por un laminador. Su plasticidad es grande, fabricándose tubos y varillas, haciendo pasar el chorro líquido por prensas apropiadas. Se cristaliza al enfriarse después de fundido, se calienta hasta la proximidad de su punto de fusión rompe con fractura en forma de columnas.

5.5 Propiedades químicas

El plomo expuesto al aire húmedo se oxida, formando dióxido de plomo (Pb₂O). Finalmente dividido, tal como se obtiene calentando el tártaro, arde espontáneamente. Se calienta en el aire y se combina fácilmente con el oxígeno y forma monóxido de plomo (PbO), de color amarillo, que funde al rojo y produce, al enfriarse, una masa amarilla cristalina. A temperatura más elevadas se combina con la sílice, formando un silicato de plomo fácilmente fundible.

Por esto corroe rápidamente los crisoles, retortas y las paredes de los hornos contruidos con materiales silicios. De aquí la necesidad de emplear cenizas de huesos o material básico en la copelación, y de las ventajas del empleo de hornos con camisas de agua, y su composición es (Pb_3O_4) tetraóxido de plomo. Se calienta y desprende oxígeno y forma monóxido de plomo (PbO). Tratado con ácido nítrico (HNO_3) produce peróxido de plomo (Pb_2O_2) que se deposita como polvo purpúreo.

El peróxido de plomo (Pb_2O_2) también se produce cuando el plomo o el óxido de plomo (PbO) hace de polo positivo de una pila electrolítica. Por esto se forma sobre las placas de un acumulador eléctrico durante la carga, y este oxígeno así fijado es transferido a la otra placa de plomo esponjoso durante la descarga. Ref. 3, pag. 325

5.6 Presentación del plomo en los minerales

El mineral más importante desde el punto de vista de la obtención del plomo es la galena, a la que acompañan a veces el plomo blanco o cerusita, la piromorfita y el vitriolo de plomo. El plomo blanco se presenta en ocasiones con la abundancia suficiente para ser explotado por si solo o asociado con la galena a fin de extraer el plomo, caso que se da con menos frecuencia es el sulfato de plomo y la piromorfita, así como en el plomo rojo o crocoíta (cromato de plomo) de plomo en el blanqueo del material se da con menos frecuencia en el sulfato de plomo y la piromorfita, así como en el plomo rojo o crocoíta (cromato de plomo) y en el amarillo o wulfenita, (molibdato de plomo).

Se han encontrado indicios de plomo en el agua del mar, en algunas aguas minerales y también en algunas plantas.

La galena, sulfuro de plomo (PbS) con 86.57 % de plomo, parece que fue ya conocida de los antiguos, pero se tardó mucho tiempo en descubrir su verdadera composición. La galena se presenta cristalizada en el sistema regular, su color es gris

plomo rojiza, a veces con abigarramientos localizados en superficies de diversas formas; raya negro grisáceo, presenta brillo metálico intenso y rara vez se observa en ella fractura concoída; exfoliación hexaédrica completa; blanda, dureza 2.5; peso específico 7.5 – 7.6; decrépita al soplete sobre carbón, se funde, con desprendimiento de ácido sulfuroso, y produce en llama reductora, especialmente si se adiciona carbonato de sosa o cianuro potásico, un botón de plomo juntamente con un baño amarillo rodeado de un filete blanco de sulfato y carbonato de plomo.

También aparece la eflorescencia blanca cuando el mineral contiene antimonio. La galena se funde, con mayor dificultad que el plomo, al rojo intenso, produciendo una masa pastosa que perfora rápidamente los crisoles de arcilla, y es más volátil que el sulfato de plomo (PbSO_4) únicamente atacable por el ácido concentrado, se disuelve en el clorhídrico en ebullición, con desprendimiento de ácido sulfhídrico (HS), formándose agujas de cloruro de plomo al enfriarse la disolución cuando se trata con ácido nítrico (HNO_3) se convierte, según el grado de concentración de éste, unas veces en nitrato de plomo (PbNO_3), con desprendimiento de azufre; otras cuando el ácido se encuentra algo más diluido, principalmente en sulfato de plomo (PbSO_4), sin que se disuelva gran cantidad de este metal, si el ácido es fumante y otras con desprendimiento de azufre y sulfato de plomo, en nitrato de este metal, cuando la concentración del ácido es de grado intermedio.

El tratamiento de la galena mediante ácido clorhídrico (HCl) diluido y caliente y zinc permite extraer en estado metálico la totalidad del plomo contenido en aquella galena. La galena contiene casi siempre algo de plata, procedente del sulfuro de plata (Ag_2S), isomorfo con relación al de plomo. La riqueza en plata suele oscilar entre 0.001 y 0.03 % llegando en algunos casos a 0.5 % y excepcionalmente a 1 %.

5.7 Usos

Uno de los usos importantes del plomo es para revestimientos, serpentines, bombas, válvulas, etc., en la fabricación de compuestos químicos. Por ejemplo, sirve como revestimiento para tanques y como serpentín de refrigeración en el tratamiento de la bauxita molida con ácido sulfúrico (H_2SO_4) de 45 grados °Be. para la fabricación del alumbre, y se usa también para transportar y almacenar soluciones de alumbre.

El plomo tiene una resistencia excelente a las soluciones de sal común, a las salpicaduras de sal y al aire de las costas marinas; la corrosión en el agua del mar es menor de 8 micras por año. Por eso se emplea para tuberías de agua del mar en los barcos, para revestir cuartos de refrigeración y para grandes acuarios. En la fabricación de compuestos intermedios de colorantes el plomo ha dado buena duración en servicios en instalaciones muy variadas para halogenación, sulfonación, hidrólisis, oxidación, esterificación, reducción, extracción y condensación. Ref. 5 pag.39

Su excelente resistencia a la corrosión por el ácido sulfúrico (H_2SO_4) a concentraciones hasta 95 % se debe a la insolubilidad de la película dura e impermeable de sulfato de plomo ($PbSO_4$) que se forma en su superficie. Se usa en la fabricación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) por el procedimiento llamado de las cámaras de plomo, en recipientes para la limpieza del acero con ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido y para la fabricación de nitroglicerina ($C_3H_5N_3O_9$), dióxido de titanio (Ti_2O) y éteres(C_2H_6O). Resiste satisfactoriamente al gas sulfuroso húmedo y tiene aplicación en ánodos recubiertos de plomo y en revestimiento de precipitadores electrostáticos usados para separar la niebla de ácido sulfúrico del gas sulfuroso.

El plomo se usa en contacto con hidróxido de sodio ($NaOH$) hasta una concentración de 30 % a 25 grados centígrados y hasta el 10 % a 90 grados centígrados. Se usa en la refinación del petróleo, en la cual el tratamiento con ácido sulfúrico(H_2SO_4) es seguido de un lavado con sosa cáustica. En la fabricación de ácido

fosfórico (H_2PO_3), el plomo es un material útil. La industria de la pulpa con peróxido de hidrógeno o hidrosulfito de cinc y para llevar los líquidos de descarga desde los digestores de la pulpa. El plomo se usa mucho en la fabricación de rayón y nitroglicerina ($C_3H_5N_3O_9$) y para manejar las soluciones fotográficas. A continuación se presenta una lista parcial de los compuestos químicos con los cuales se emplea económicamente el plomo en las industrias químicas.

Disolventes. Los alcoholes, los éteres, la acetona y el tricloroétileno no producen efecto sobre el plomo.

Ácidos. Los ácidos acéticos ($CHCO_2H$), fórmico (HCO_2H) y tartárico ($CHOHCO_2H$)₂ atacan moderadamente al plomo. El ataque es acelerado en proporción considerable por las velocidades y las temperaturas elevadas y por la presencia de oxígeno. Sin embargo, la acción del anhídrido acético (CH_3CO)₂O y del ácido acético glacial es suficientemente lenta para permitir el uso del plomo en su manipulación. En el ácido clorhídrico (HCl) no se recomienda en general el uso del plomo, si bien se ha usado con alguna corrosión en concentración del 30 %, a temperaturas normales y del 20 % a 100 °C. Acido crómico: Puede usarse el plomo con concentraciones elevadas de este ácido. El plomo y las aleaciones de plomo se usan mucho en forma de serpentines, revestimientos y ánodos en las instalaciones de cromado galvánico.

Alcalis. Hidróxido de amonio (NH_4OH): El plomo es satisfactorio para casi todas las temperaturas y concentraciones. Hidróxido de calcio ($CaOH$): En el cemento, ataca al plomo en presencia de humedad y oxígeno. Sin embargo, cuando se añade el agua dulce, reduce la corrosión. Hidróxido de sodio ($NaOH$): Puede usarse el plomo con lejía hasta el 25 % a 80 °C.

Sales y otros compuestos químicos. El plomo puede usarse satisfactoriamente en contacto con sulfato de aluminio ($AlSO_4$), cloruro de amonio

(NH_4Cl), fosfato de amonio, sulfato de amonio (NH_4SO_4), sulfato de cobre CuSO_4 , sulfato ferroso (Fe_2SO_4), peróxido de hidrogeno (H_2O_2), fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_4$).

Agua. El agua destilada disuelve lentamente al plomo en proporción a la cantidad de oxígeno disuelto. El tratamiento del agua con cal o silicato de sodio evita la corrosión.

El agua natural no produce efecto sobre el plomo en virtud del revestimiento protector que forman las sales disueltas.

6. FLOTACIÓN

Se conoce con el nombre de flotación a la operación de concentración mediante la cual los componentes mineralógicos de una mena son triturados y molidos hasta que la mayoría de las partículas minerales valiosos son liberados, la pulpa obtenida en la sección de molienda pasa a un depósito de acondicionamiento en donde es agitada con reactivos apropiados cuyo objetivo es hacer que las superficies de las partículas minerales valiosas se convierten en hidrofóbicas o repelentes al agua, en esta condición las partículas son flotables.

Las partículas que componen la galena deberán tener superficies atraídas por el agua, es decir hidrófilas, en cuya condición no son flotables, una vez que la pulpa ha sido condicionada, esta pasa a una máquina de flotación, entonces se introduce aire en la pulpa, junto con un reactivo espumante cuya función es hacer que la corriente de aire entrante, se rompa formando pequeñas burbujas, las partículas minerales que son repelentes al agua se adhieren a las burbujas en cuanto establecen contacto con ellas y ascienden a la superficie de la pulpa en donde forman una capa de espuma estable, cargada de partículas valiosas, la cual es removida por medios mecánicos, mientras que los minerales de galena tienen poca o ninguna tendencia para adherirse a las burbujas de aire por lo que permanecen sumergidas en la pulpa.

6.1 Las etapas del proceso de flotación

- a) Moler el mineral a un tamaño lo suficientemente fino para liberar los minerales valiosos uno de otro, así como los minerales de galena adherentes.
- b) Formar condiciones favorables para la adherencia de los minerales deseados a las burbujas de aire.
- c) Formar una corriente ascendente de burbujas de aire en la pulpa mineral

- d) Crear una espuma cargada de minerales en la superficie de la pulpa
- e) Extraer la espuma cargada del mineral.

6.2 Celda de flotación

Una celda de flotación es un aparato en el cual se efectúa la flotación de material separándola de las colas residuales, en esencia esta formado por un recipiente o deposito provisto lateralmente de un canal alimentador, un rebosadero para la espuma y un dispositivo de descarga para las colas en el lado opuesto, así como una de condición apropiada para la introducción de aire y un agitador que mantiene suspendida la pulpa.

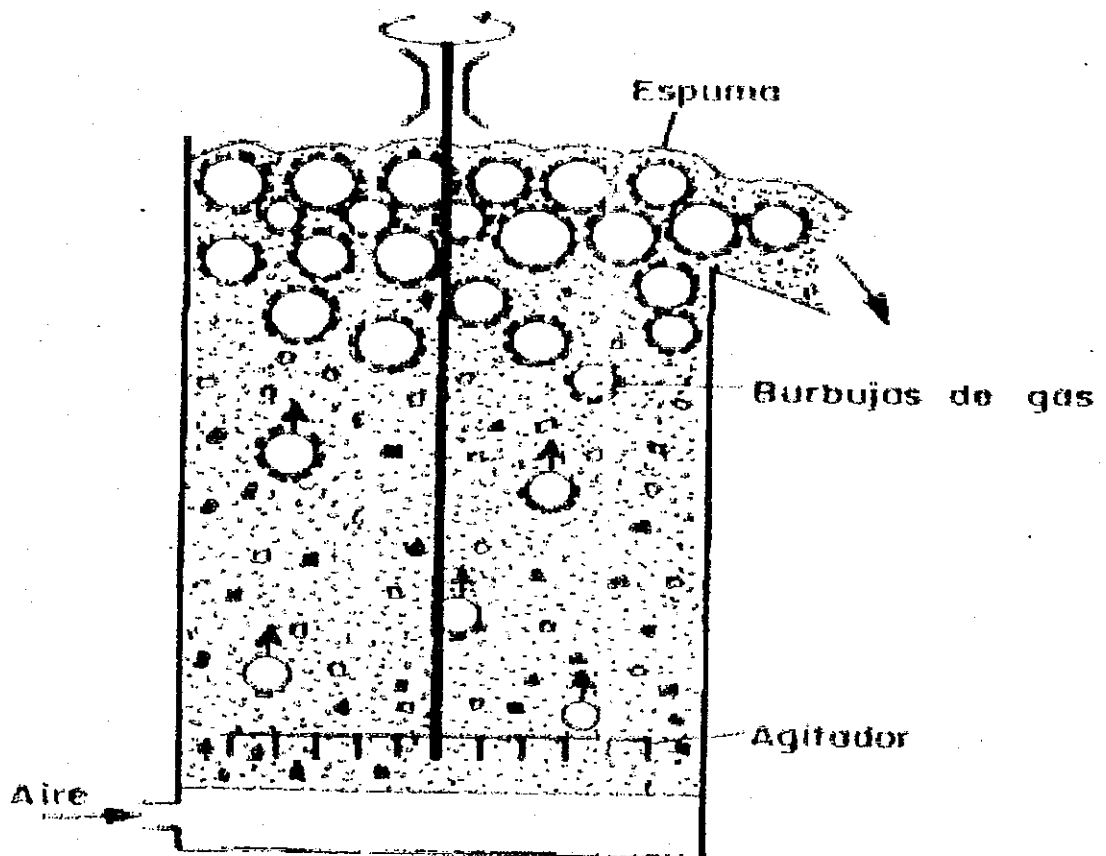


Fig. No. 1. Representación del proceso elemental en una celda de flotación, ref. 3 pag. 56

6.3 Reactivos de Flotación

6.3.1 Clasificación:

- Reactivos colectores
- Reactivos modificadores, reguladores
- Reactivos que producen espuma, espumantes.

6.3.1.1 Reactivos colectores

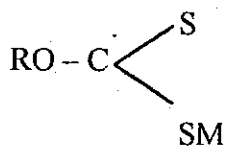
Reciben el nombre de colectores aquellos reactivos que siendo absorbidos sobre la superficie de la partícula proporciona una película repelente al agua o hidrofóbica.

Estos reactivos poseen una estructura polar, y no polar, el grupo no polar consiste en una cadena de hidrocarburos, los cuales varían en longitud y en estructura.

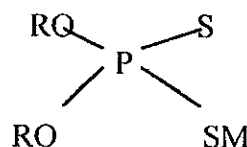
El grupo polar corresponde a un radical químicamente soluble en el agua, en la cual se ioniza y uno de sus iones, catión o anión dependiendo si el colector es catiónico o aniónico, es absorbido en la superficie del mineral.

6.3.1.2 Colectores para sulfuros

Los xantatos y los ditiofosfatos, aerofloats son los más comunes y más poderosos colectores, tienen 2 átomos de azufre en las estructuras siguientes.



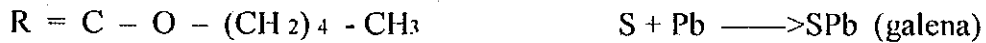
Xantatos



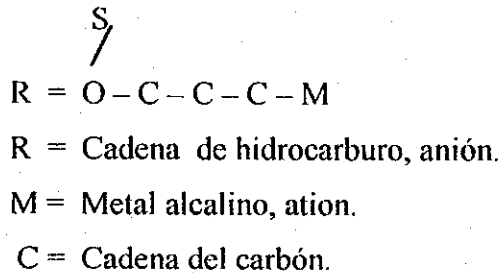
Ditiofosfatos, Aereofloats.

Donde: M = Es un metal alcalino en el caso de los Xantatos; en los Aereofloats M puede ser un alcalí o un metal alcalínoterreo, un ion de amonio o un hidrogeno. R representa la cadena de hidrocarburo, SM es un radical polar y constituye el grupo soluble.

La tiocarbamilida, los mercaptanos y los dixantogenos, son compuestos sulfurosos que reaccionan con el plomo formando:



Los xantatos son compuestos orgánicos.



6.3.1.3. Colectores para minerales que no son sulfuros

Los colectores son reactivos, es de los reactivos más críticos de la flotación. Los colectores son moléculas o iones orgánicos que se absorben selectivamente en las superficies de los minerales para darles a estas el carácter hidrofóbico. La mayoría de los colectores son ácidos o bases débiles o sus respectivas sales. Estos reactivos poseen una estructura heteropolar y puede considerarse que tienen dos polos, una parte polar iónica que puede adsorberse en la superficie mineral ya sea por reacción química con los iones de la superficie del mineral, quimiadsorción, o bien por atracción física, y una parte no polar que es un grupo o cadena orgánica que le da el carácter hidrofóbico a la superficie del mineral. Es importante hacer notar que si bien existen colectores que no se ionizan estos también le proporcionan la repelencia al agua a los minerales.

6.3.1.4 Los ácidos grasos: son los más usados para los minerales no metálicos; calcita, barita, fluorita. Etc. Y tienen la siguiente fórmula general.

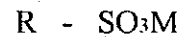


Donde:

R = hidrocarburo de cadena larga, el hidrógeno puede ser reemplazado por un método alcalino o por un alcalinotreno. El ácido oleico es el más útil de estos colectores.



6.3.1.5 Los sulfatos orgánicos y los sulfonatos.



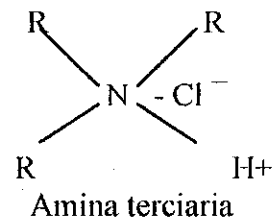
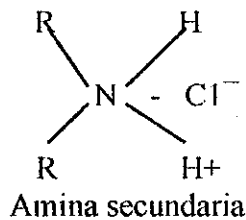
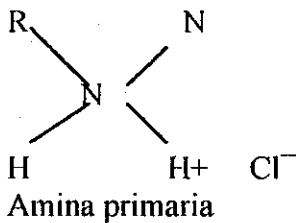
Donde:

M = metal alcalino

R = puede ser recta, ramificada o un hidrocarburo ciclo.

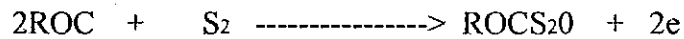
6.3.1.6 Aminas primarias, secundarias, terciarias

todas las aminas se combinan con los ácidos para formar las amónicas.

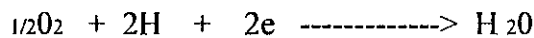


La oxidación del xantato a dixantógeno depende de dos reacciones que ocurren simultáneamente, como observamos en los siguientes mecanismos.

1. - Reducción anódica del xantato



2. - Reducción catódica del oxígeno

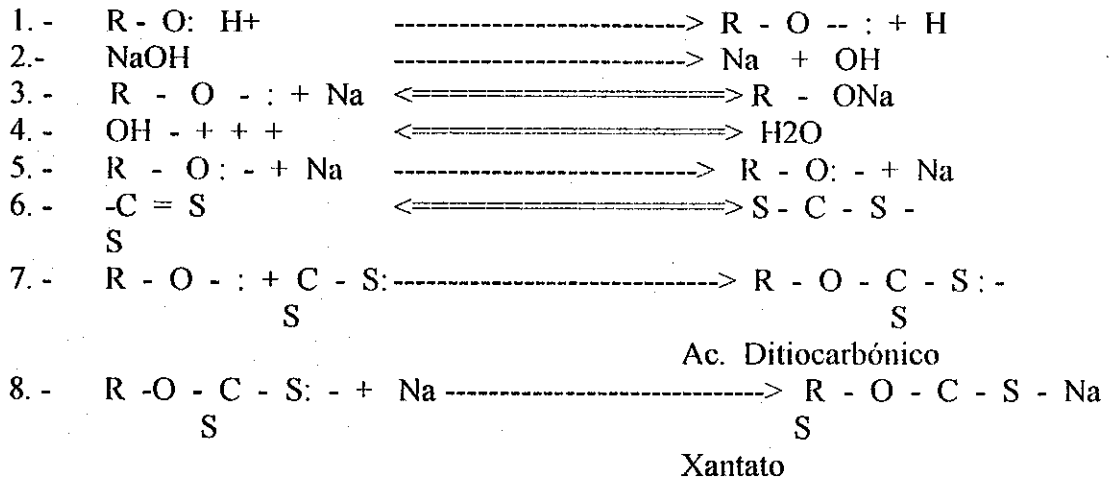


Cuando ocurren estas dos reacciones simultáneamente tenemos.



Los xantatos comerciales son sales de sodio, de potasio, de ácido xántico o ditiocarbónico, y se forman por la reacción del bisulfuro de carbono, un álcali y un alcohol.

6.4 Mecanismos de reacción

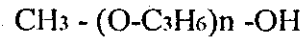


El alcohol es el que determina las propiedades promotoras de Xantato (Ref.3 pag.133)

6.5 Reactivos espumantes

Los espumantes son compuestos orgánicos solubles en agua que son adsorbidos en la interfase aire-agua. Estos reactivos son moléculas heteropares y tienen un grupo polar que les proporciona la solubilidad en agua y un grupo no polar que constituye el hidrocarburo. Los espumantes deben de ser capaces de mantener una espuma en la superficie de la pulpa con el fin de evitar que las partículas se regresen a la pulpa pero a la vez deben de tener la facilidad de crear espuma grácil que pueda romperse rápidamente una vez que esta es eliminada de la superficie de la pulpa. Los espumantes son compuestos como los éteres glicol que son los reactivos más usados debido a su incapacidad para adsorberse sobre las superficies minerales. También es posible utilizar alcoholes aromáticos de origen natural como el aceite de pino y el ácido cresílico. Algunos espumantes sintéticos también han sido usados como el metil isobutil carbinol y éteres de polipropileno glicol.

Eter polipropileno glicol



Metil isobutil carbinol



6.6 Ángulo de contacto

La flotación de un sólido depende de la adsorción de un surfactante en su superficie ya que casi todos los minerales son humectables por la fase acuosa. El primer paso en flotación es reemplazar la interfase mineral-líquido por la interfase mineral-gas, lo cual se logra mediante los reactivos químicos de flotación, para dar lugar a una superficie hidrofóbica. En algunos casos la estabilidad de la adhesión de las burbujas de aire a la superficie mineral se mide mediante el ángulo de contacto que se forma entre las fases sólida, líquida y gaseosa.

La condición termodinámica general para que exista el contacto entre las tres fases presentes en los sistemas de flotación, está definida por la ecuación de Young,

$$\gamma_{\text{SG}} = \gamma_{\text{SL}} + \gamma_{\text{LG}} \cos\theta$$

en donde γ_{SG} , γ_{SL} , γ_{LG} son las tensiones interfaciales sólido/gas, sólido/líquido, líquido/gas respectivamente y el θ es el ángulo de contacto. El cambio de energía libre que acompaña el desplazamiento de una área unitaria de la interfase sólido/líquido, por la interfase sólido/gas esta dada por la ecuación de Dupre,

$$\Delta G = \gamma_{\text{SG}} - (\gamma_{\text{SL}} + \gamma_{\text{LG}})$$

Al combinar la ecuación de Dupre con la ecuación Young se genera la expresión siguiente para el cambio de energía libre.

$$\Delta G = \gamma_{\text{LG}} (\cos\theta - 1)$$

Mediante esta última ecuación se deduce que para cualquier valor finito de ángulo de contacto existirá una disminución de la energía libre al adherirse una partícula mineral a una burbuja de gas.

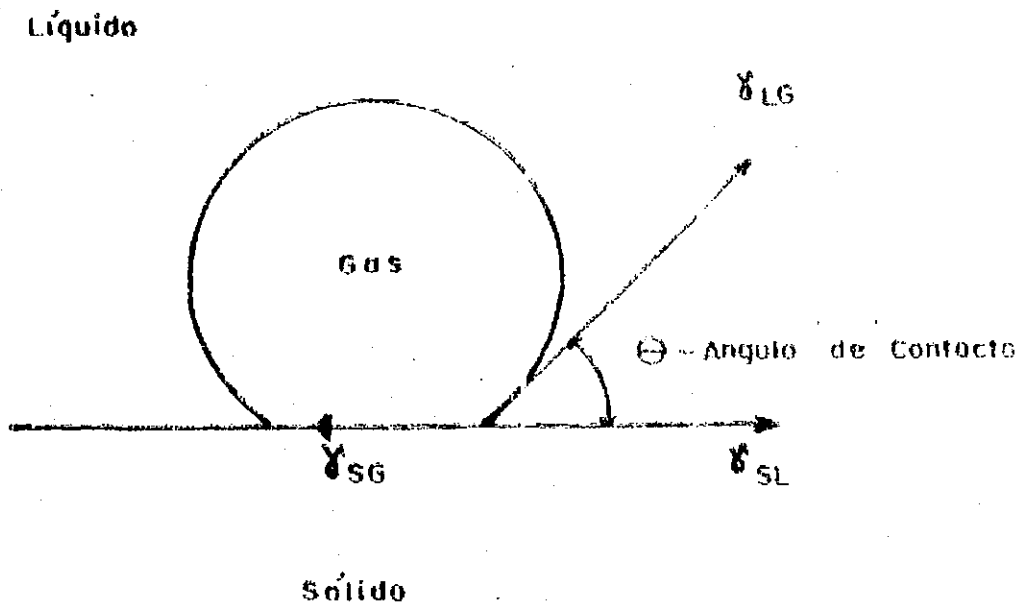


Fig. 2. Representación del Contacto en equilibrio entre la burbuja y el sólido en un Líquido (Ref. 3 pag. 198)

Es importante aclarar que la ecuación Dupre no considera la deformación de las burbujas lo cual consume algo de energía del sistema. La ecuación de Young es válida en un sistema ideal donde los efectos gravitacionales están ausentes, y que se encuentran en equilibrio.

6.7 Modificadores de flotación

Los agentes modificadores se usan para cambiar el carácter de la superficie de uno o más sólidos.

Entre los más importantes se tienen los siguientes modificadores.

1. activadores
2. depresores
3. dispersantes
4. reguladores de PH.

6.7.1 Activadores

En los ángulos de minerales no se logra que estos tomen película colectora en su superficie, esto es posible si su superficie es cambiada desde luego a través de una reacción con un reactivo activante especial. La activación se efectúa por el anión del reactivo en algunos casos y por el anión en otros.

El sulfato de cobre es el más importante de los activadores catódicos, siendo su principal uso en la flotación de la esfalerita, cuando el sulfato de cobre (CuSO_4) se añade a la solución, los iones cúpricos reemplazan a los iones de zinc, (en la capa exterior del mineral), formando un sulfuro cúprico, el cual puede ser flotado por un xantato.

El nitrato de plomo (PbNO_3) o el acetato de plomo, principalmente el nitrato del plomo es otro de los activadores catódicos y se usa en la flotación de estibnita (Sb_2S_3) y los reactivos sulfurantes, sulfuros de sodio (Na_2S), el nitrosulfuro de sodio (NaNS), el sulfuro de calcio (CaS_2), son los únicos activadores aniónicos de importancia: se usan en la flotación de minerales de plomo que son sulfuros (PbCO_3) cerusita y con los sulfuros de plomo y de cobre que han adquirido o formado en su superficie una película gruesa de óxidos, en donde el anión sulfuro del reactivo es el ión que reemplaza al anión del mineral con la con la formación de una película del sulfuro metálico.

6.7.2 Depresores

Se conoce con el nombre de depresión, al proceso de impedir que se forme una película colectora sobre partículas minerales.

- **Cianuro de sodio:** se usa principalmente para deprimir los sulfuros de hierro y las sales de cobre.

- **Cal:** para la depresión de pirita y otros sulfuros de hierro y sulfuros de sodio.

- **Sulfitos e hiposulfitos de sodio y calcio e hidrosulfito de sodio:** para la depresión de pirita y esfalerita en la flotación de minerales de plomo y cobre.

- **Cromatos:** para deprimir la galena en separaciones de cobre-plomo

- **Permanganato:** Para deprimir pirita y pirrotita en presencia de arsenopirita. En algunos casos se usa también en separación de cobre-molibdenita cuando los minerales de cobre se deprimen con permanganato.

- **Quebracho y ácidos tánicos:** Para deprimir tanto la calcita y la dolomita, como la pirita, en la flotación con ácidos grasos de fluorita y shelita.

- **Silicato de sodio:** Para deprimir los silicatos y el cuarzo.

- **Almidón:** Para deprimir mica, talco y azufre en la flotación de sulfuros.-

- **Hidroxido de sodio:** Para deprimir estibnita.

- **Ferrocianuro:** Para deprimir sulfuros de cobre en la flotación de molibdenita y en la separación de ciertos sulfuros de cobre de la esfalerita.

6.7.3 Dispersantes

Una condición floculada de la pulpa puede causar que una cantidad excesiva de galena suba contaminando la pulpa, la flotación se corrige con un dispersante. El dispersante es un compuesto ionizable uno de cuyos aniones generalmente el anión

es absorbido en la superficie de los minerales de galena dotándolos de una carga electrostática, en esta condición ellos se repelen entre sí y permanecen dispersos.

- **Dispersantes alcalinos:** carbonatos de sodio, hidróxido de sodio y el silicato de sodio utilizados para dispersar sílica, silicato y óxidos de hierro. El más común y menos crítico es el hidróxido de sodio y el más potente es el silicato de sodio.

6.7.4 Reguladores de PH

El grado de acidez o PH del agua constituye un factor de gran importancia ya que regula la formación de película, y en muchos casos la flotación solo es posible dentro de una estrecha zona de valores de PH. Por esta causa el hidróxido de sodio o la cal pueden actuar como depresor o activador según sea las condiciones, Ejemplos: NaOH (Hidróxido de sodio), Na_2CO_3 (Carbonato de Sodio), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Hidróxido de calcio), HCl (Acido clorhídrico).

6.8 Espumantes

La tendencia de un líquido es a contraerse a un área mínima, una esfera presenta el mínimo de área, para impedir la unión de burbujas de aire en el agua, se requiere de un espumante, el efecto del espumante es reducir ligeramente la energía superficial de la interface aire-agua, mientras más moléculas existan en la interface menos será la energía de superficie.

6.8.1 Espumantes comunes

6.8.1.1 Aceite de pino y ácido crecilico

Ambos llevan una carga polar de hidroxilo y un hidrocarburo cíclico del grupo no polar.

El aceite de pino consiste principalmente de trepineol con una pequeña proporción de cresoles, produce una espuma frágil con poco poder colector cuya espuma puede endurecerse con la adición de ácidos con más brea, los cuales son emulsionados y llevados a la suspensión por los cresoles y xilenoles.

6.8.1.2. Alcoholes alifáticos secundarios

Estos con 6-8 átomos de carbono o algunas veces alcoholes primarios y secundarios mezclados. Ejemplo: Carbinol Metil-isobutilico, aerofloat 7

7. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

7.1. Localización

El presente trabajo de investigación es parte de los proyectos que realiza el Ministerio de Energía y Minas en el laboratorio del Área de Procesamiento de Minerales, Dirección de Servicios Técnicos.

7.2. Equipo y materiales a emplear

7.2.1 Equipo

- Molino de bolas, marca eberhardt Denber.
- Quebrantadora de quijada LIH SHAN MACHINERY FACTORY Co. Ltd. De 3" a 1/4", 220 V.
- Celda de flotación DENVER modelo D-2, turbina de 420-1725 rpm, con Tacómetro.
- Tamices marca Taylor # 28, 35, 48, 65, 100, 150, 200, 325, mallas.
- Vibrador para tamices en serie marca Taylor, 11 Volts.
- Secador marca LIH SHAN MACHENERY Co. Ltda. IM-3
- Balanza de precisión 160 grs. , marca METTLER.
- Cronómetro 10/100 seg.
- Partidor de rifles (partidor de Jones), 2 recipientes y cucharón rectangular.
- Compresor marca American Top potencia 6 HP 110 Volts.
- Cubetas plásticas.
- Bandejas de acero inoxidable.
- Potenciometro.

7.2.2 Equipo de laboratorio

- Balones aforados 100, 200, 250 ml

- Beaker 50, 100, 200, 400, 500 ml.
- Erlenmeyers 50, 100, 250 ml.
- Pipetas volumétricas 0.5, 1, 2, 5, 10, 25, 50 ml.
- Pisetas 500 ml
- Vidrio de reloj.
- Espátulas.
- Gradillas.
- Embudos.
- Gendarmes.
- Varillas de vidrio.
- Pinzas de asbesto.

7.2.2 Materiales

Geológico

Material proveniente de la mina de Torno, ubicada en el departamento de Huehuetenango.

Reactivos de flotación

- Promotores Aerofloat 25, 31, 241, 242.
- Aceite de pino.
- Xantatos.
- Cianuro de sodio (NaCN)

Reactivos para análisis químico

- Ácido clorhídrico concentrado. (HCl)
- Ácido nítrico concentrado. (HNO₃)

-Acetato de amonio. ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{NH}_4$)

-Ácido acético. ($\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$)

-Xileno orange.

-EDTA.

8. MÉTODO EXPERIMENTAL

Diseño de tratamientos. Para evaluar El efecto que cada una de las variables seleccionadas (PH vs. Velocidad de agitación) produce sobre El porcentaje de recuperación de plomo en El proceso de flotación múltiple, se procedio a fijar la velocidad de agitación, así como El potencial de hidrógeno en cada tratamiento y al final se analizará El plomo recuperado.

Se realizaron nueve tratamientos con tres repeticiones cada uno, los cuales se describen en la siguiente tabla.

TABLA No. I

No.	Código de Tratamiento	Variables de Estudio	
		Velocidad agitación (R. P. M.)	Potencial Hidrógeno (PH)
1	W1 PH1	950	8.0
2	W1 PH2	950	8.5
3	W1 PH3	950	9.0
4	W2 PH1	1200	8.0
5	W2 PH2	1200	8.5
6	W2 PH3	1200	9.0
7	W3 PH1	1500	8.0
8	W3 PH2	1500	8.5
9	W3 PH3	1500	9.0

Tratamientos a realizar para la determinación de las condiciones óptimas de velocidad de agitación y potencial de hidrogeno en el proceso de flotación múltiple para la recuperación de plomo

8.1 Diseño experimental

Se utilizará una celda de flotación Denver D-2 de turbina 425-1725 rpm contactómetro.

8.2 Manejo del experimento

Preparación del material geológico.

- Trituración de la muestra.
- Molienda de la muestra a 80 mesh en el molino de cono.
- Clasificación del tamaño de partículas.
- Selección del tamaño de partículas.
- Preparar la muestra del material geológico con agua (3:1)
- Molienda de la muestra en húmedo utilizando un molino de bolas a tiempo constante de 8 minutos.

8.3 Procedimiento de flotación en etapas discontinuas

Primera Etapa.

- Introducir la muestra preparada en la celda de flotación, (tipo bach)
- Agitar la muestra a la velocidad de agitación establecida
- Verter los reactivos para flotación (espumantes, xantatos y aerofloath)
- Fijar un tiempo de estabilización de los reactivos.
- Abrir la válvula de admisión de aire.
- Proceder a separar la espuma formada en la superficie del líquido y depositarla en el recipiente colector de concentrado del plomo

Segunda Etapa.

- Repetir los incisos anteriores utilizando el concentrado de la etapa anterior.

Y Novena Etapa.

- Sé continua el circuito de flotación utilizando el concentrado de la etapa anterior y De la etapa anterior y se termina hasta lograr la máxima eliminación de impurezas.

8.4 Análisis químico del concentrado obtenido

- El concentrado de plomo obtenido se analiza por medio de espectrofotómetro de absorción atómica y vía húmeda.

8.5 Variable respuesta

- La variable respuesta es el porcentaje en peso de plomo obtenido por medio del procedimiento de flotación y obtenido de análisis químico por medio de nueve etapas con tres repeticiones. Con un intervalo de tiempo aproximado de cinco minutos.

9. RESULTADOS

Datos originales obtenidos del experimento. Donde se estudia el efecto de la velocidad de agitación y el potencial de hidrógeno en la celda de flotación para la concentración del mineral plomo. Se realizan 3 repeticiones por cada combinación de velocidad de agitación y potencial de hidrogeno. La información recolectada es la siguiente.

3 velocidades de agitación x 3 potenciales de hidrógeno x 3 repeticiones = 27 tratamientos

W₁₂₃ = Velocidad de Agitación; PH₁₂₃ = Potencial de hidrógeno; R₁₂₃ = Repeticiones

CODIGOS DE TRATAMIENTOS	VARIABLE DE TRATAMIENTOS	1er % DE PLOMO PRIMERA LIMPIA	1ra. COLA PRIMERA LIMPIA	2do. % DE PLOMO SEGUNDA LIMPIA	2da. COLA SEGUNDA LIMPIA
W1PH1R1	X ₁₁₁	85.03	3.00	20.34	0.92
W1PH2R1	X ₁₂₁	74.10	2.48	17.88	0.83
W1PH3R1	X ₁₃₁	70.93	2.21	18.91	0.75
W2PH1R1	X ₂₁₁	70.08	2.59	18.36	0.50
W2PH2R1	X ₂₂₁	72.47	2.35	17.97	0.44
W2PH3R1	X ₂₃₁	71.89	3.48	19.32	0.62
W3PH1R1	X ₃₁₁	70.30	2.70	16.43	0.35
W3PH2R1	X ₃₂₁	70.00	1.98	17.00	0.38
W3PH3R1	X ₃₃₁	71.04	2.69	16.55	0.57
W1PH1R2	X ₁₁₂	84.57	2.07	19.11	0.61
W1PH2R2	X ₁₂₂	72.60	2.77	17.62	0.66
W1PH3R2	X ₁₃₂	71.69	2.44	18.00	0.34
W2PH1R2	X ₂₁₂	70.00	1.79	15.98	0.34
W2PH2R2	X ₂₂₂	71.62	1.66	16.66	0.54
W2PH3R2	X ₂₃₂	70.21	2.00	17.15	0.43
W3PH1R2	X ₃₁₂	70.00	1.26	18.33	0.65
W3PH2R2	X ₃₂₂	70.42	2.10	17.44	0.55
W3PH3R2	X ₃₃₂	70.43	2.32	16.96	0.63
W1PH1R3	X ₁₁₃	83.40	2.96	20.13	0.35
W1PH2R3	X ₁₂₃	70.70	2.55	19.02	0.33
W1PH3R3	X ₁₃₃	70.50	2.08	18.35	0.43
W2PH1R3	X ₂₁₃	70.25	3.00	15.46	0.92
W2PH2R3	X ₂₂₃	71.22	2.79	15.59	0.86
W2PH3R3	X ₂₃₃	69.90	2.88	16.09	0.68
W3PH1R3	X ₃₁₃	69.85	2.21	18.00	0.35
W3PH2R3	X ₃₂₃	70.22	1.97	17.88	0.42
W3PH3R3	X ₃₃₃	70.34	1.66	17.59	0.47

10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DE ERROR

Se estudia el efecto de la velocidad de agitación y del potencial de hidrógeno en la celda de flotación para la concentración de mineral del plomo (% de Pb.), se realizan 3 repeticiones por cada combinación de velocidad de agitación y potencial de hidrógeno. La información experimental y tabulada es la siguiente.

TABLA No. II
% DE RECUPERACIÓN DE PLOMO CON DIFERENTES PH VRS. VEL. DE AGITACIÓN

	PH = 8.0	PH = 8.5	PH = 9.0
950 r.p.m	85.03	74.10	70.93
	84.57	72.60	71.69
	83.40	70.70	70.50
1,200 r.p.m.	70.08	72.47	71.89
	70.00	71.62	70.21
	70.25	71.22	69.90
1,500 r.p.m.	71.04	70.00	71.04
	70.00	70.42	70.43
	69.85	70.22	70.34

a) MODELO DEL EXPERIMENTO

$$X_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + Z_k(ij)$$

$i = 1,2,3$; factor A: velocidad de agitación - factor fijo con 3 niveles

$j = 1,2,3$; factor B: potencial de hidrógeno - factor fijo con 3 niveles

$k = 1,2,3$; (repeticiones)

X_{ijk} = Variable de respuesta (concentración final de plomo % de Pb.)

b) HIPÓTESIS POR SER EVALUADAS

$H_0: (\delta^2_A) = 0$ No hay efecto de velocidad de agitación sobre concentración de plomo.

$H_0: (\delta^2_B) = 0$ No hay efecto de potencial de hidrógeno sobre concentración de plomo.

$H_0: (\delta^2_{AB}) = 0$ No hay efecto de interacción velocidad de agitación-potencial de hidrógeno sobre concentración de plomo.

$\delta = 5\%$ (nivel de confianza para evaluar las hipótesis)

Todas las mediciones son aleatorias.

c) ESPERANZA DE CUADROS MEDIOS E, DE CM.

TABLA No. III

		3 (f) i	3 (f) j	3 (f) K	Esperanza De CM	Prueba F
$H_0: [\alpha^2_A] = 0$	Ai	0	3	3	$\alpha^2 + 9[\alpha^2]$	CM_A / CMR
$H_0: [\alpha^2_B] = 0$	Bi	3	0	3	$\alpha^2 + 9[\alpha^2_B]$	CM_B / CMR
$H_0: [\alpha^2_{AB}] = 0$	(AB)ij	0	0	3	$\alpha^2 + 9[\alpha^2_{AB}]$	$CM_{(AB)} / CMR$
	$Z_{K(ij)}$	1	1	1	α^2	

d) CUADRADOS MEDIOS, CM Y PRUEBA F OBSERVADA, F obs.

TABLA No. IV

FV	gl	SC	CM	Prueba Fobs
A	a - 1	SC_A	$CM_A = SC_A / a - 1$	$F_{obs} = CM_A / CMR$
B	b - 1	SC_B	$CM_B = SC_B / b - 1$	$F_{obs} = CM_B / CMR$
AB	(a-1)(b-1)	$SC_{(AB)}$	$CM_{(AB)} = SC_{(AB)} / (A-1)(B-1)$	$F_{obs} = CM_{(AB)} / CMR$
Residuo	ab(r-1)	SC_R	$CM_R = SC_R / ab(r-1)$	
total	Ab(r - 1)	SC_T		

FV = fuente de variación

gl = grados de libertad

SC = suma de cuadrados

SCT = suma de cuadrados total.

R = residuo

r = repeticiones.

$$SCA = 4,602,226.29/27 = 56.3442$$

$$SCB = 1,536,268.61/9 - 4,602,226.29/27 = 243.68$$

$$SC(AB) = 512,965.21/3 - 1,534,582.524/9 - 4,602,226.29/27 = 235.5474$$

$$SCR = 171,042.11 - 512,965.21/3 = 53.7125$$

$$SCT = 171,042.1158 - 4,602,226.29/27 = 589.2902$$

$$CMA = SCA / a-1 = 56.3442/2 = 28.1721$$

$$CMB = SCB / b-1 = 243.68 / 2 = 121.84$$

$$CM(AB) = SC(AB) / (a-1)(b-1) = 235.5474 / 4 = 58.8869$$

$$CMR = SCR / ab(r-1) = 53.7125 / 18 = 2.9840$$

$$F_{obs,A} = CMA / CMR = 28.1721 / 2.9840 = 9.4411$$

$$F_{obs,B} = CMB / CMR = 121.84 / 2.9840 = 40.8311$$

$$F_{obs, AB} = CM(AB) / CMR = 58.8869 / 2.9840 = 19.7342$$

TABLA No. V

FV	G1	SC	CM	F obs	F crítica	Decisión
A	2	56.3442	28.1721	9.4411	3.55(5%,2.18)	Rechazar Ho: $\delta^2A=0$
B	2	243.68	121.840	40.8311	3.55(5%,2.18)	Rechazar Ho: $\delta^2B=0$
(AB)	4	235.547	58.8869	19.7342	2.93(5%,4.18)	Rechazar Ho: $\delta^2AB=0$
Residuo	18	53.7111	2.9840			
Total	26	589.290				

e) COMPARACIONES MÚLTIPLES

Comparaciones entre los niveles de velocidad de agitación (A) para cada nivel de potencial de hidrógeno (B)

$$\Delta\delta = 5\% = 2.9840 * 2 * (1/3 + 1/3) * 3.55 = 3.7580$$

$$\Rightarrow \text{Para B1 (PH = 8), } X_{A1B1} = 85.6767, X_{A2B1} = 79.42, X_{A3B1} = 84.87$$

$$Ho^{\circ}: A1B1 = A2B1 = 6.2567 \therefore A1B1 \# A2B1$$

$$Ho^{''}: A1B1 = A3B1 = 0.8067 \therefore A1B1 = A3B1$$

$$Ho^{'''}: A2B1 = A3B1 = 5.45 \therefore A2B1 \# A3B1$$

⇒ Para B2 (PH = 8.5), $XA1B2 = 72.65$, $XA2B2 = 80.73$, $XA3B2 = 74.61$

Ho': $A1B2 = A2B2 = 8.08 \therefore A1B2 \# A2B2$

Ho'': $A1B2 = A3B2 = 1.96 \therefore A1B2 = A3B2$

Ho''': $A2B2 = A3B2 = 6.12 \therefore A2B2 \# A3B2$

⇒ Para B3 (PH = 9), $XA1B3 = 74.1067$, $XA2B3 = 82.53$, $XA3B3 = 80.5$

Ho': $A1B3 = A2B3 = 8.4233 \therefore A1B3 \# A2B3$

Ho'': $A1B3 = A3B3 = 6.3933 \therefore A1B3 \# A3B3$

Ho''': $A2B3 = A3B3 = 2.03 \therefore A2B3 = A3B3$

Comparaciones entre niveles de potencial de hidrógeno (B) para cada nivel de velocidad de agitación (A).

⇒ Para A1, (950 r.p.m.), $XB1A1 = 85.6767$, $XB2A1 = 72.65$, $XB3A1 = 74.1067$

Ho': $B1A1 = B2A1 = 13.0267 \therefore B1A1 \# B2A1$

Ho'': $B1A1 = B3A1 = 11.57 \therefore B1A1 \# B3A1$

Ho''': $B2A1 = B3A1 = 1.4567 \therefore B2A1 = B3A1$

⇒ Para A2 (1,200 r.p.m.), $XB1A2 = 79.42$ $XB2A2 = 80.73$ $XB3A2 = 82.53$

Ho': $B1A2 = B2A2 = 1.31 \therefore B1A2 = B2A2$

Ho'': $B1A2 = B3A2 = 3.11 \therefore B1A2 = B3A2$

Ho''': $B2A2 = B3A2 = 1.80 \therefore B2A2 = B3A2$

⇒ Para A3 (1,500 r.p.m.), $XB1A3 = 84.87$ $XB2A3 = 74.61$ $XB3A3 = 80.5$

Ho': $B1A3 = B2A3 = 10.26 \therefore B1A3 \# B2A3$

Ho'': $B1A3 = B3A3 = 4.37 \therefore B1A3 \# B3A3$

Ho''': $B2A3 = B3A3 = 5.89 \therefore B2A3 \# B3A3$

Simbología:

no igual

= igual.

⇒ Tanto la velocidad de agitación, el potencial de hidrógeno, como la interacción de ambos, afectan la concentración final del plomo.

11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se aplicaron pruebas preliminares a nivel de laboratorio para determinar la selección de reactivos del mineral en la celda de flotación.

Los análisis que se llevan a cabo dentro de las pruebas de laboratorio son importantes, debido a que el tamaño de la partícula del mineral se constituye en parte fundamental del procedimiento a emplear, siendo de gran ayuda el trabajo que realizó el Ing. Valladares para determinar el tipo de molienda y establecer el grado de liberación de los valores que posee la muestra y así poder determinar el tamaño óptimo de alimentación a la unidad. Ref. 7 pag. 51

Para la parte experimental del presente trabajo de investigación se realizaron 9 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, el cual se describe en el tabla No. I pag. 37

Para desarrollar un circuito de flotación de una mena específica se debe seguir los procedimientos adecuados para determinar la selección de los reactivos, tiempos de acondicionamientos, alcalinidad, molienda y que la muestra sea representativa, lo cual establece las condiciones óptimas con la que se trabaja, ya que cada mineral posee características diferentes.

El tiempo requerido en la práctica de flotación de un mineral puede ser determinado por la producción de concentrados en etapas, ya que los mismos son removidos hasta que la espuma este completamente agotadas, además la mezcla de la pulpa debe de estar húmeda, agregando previamente los xantatos y los aerofloat para que contenga un tiempo de acondicionamiento de 5 minutos para entrar al proceso de flotación.

Las pruebas que se llevaron a cabo en el experimento fueron en celdas de flotación por lotes (Ver Diagrama de Flujo pag. 60) Cuando se agrega la pulpa a la

celda de flotación esta recibe agitación mecánica y la velocidad del impulsor es variable, además la introducción de aire a la celda se hace en general a través del ducto que rodea a la flecha del impulsor, la acción del impulsor es halar el aire hacia abajo del ducto y el volumen se controla mediante una válvula y por la velocidad del impulsor. El cual divide la corriente de aire en burbujas finas, luego estas se levantan y se elevan a través de la pulpa hasta la superficie, donde cualquier partícula levantada se extrae en forma de espuma mineralizada, además la agitación de la pulpa debe de ser constante para que los sólidos se mantengan en suspensión y así poder subir el mineral que se esta flotando, la adición del espumante por etapas es necesaria para controlar el volumen de la espuma, ya que los reactivos que se utilizan son en cantidades pequeñas para pruebas de laboratorio.

En la mayor parte de las operaciones de flotación se incluye al menos una etapa de limpieza, en la cual la espuma se flota de nuevo para aumentar el porcentaje y frecuentemente las colas se reciclan a modo de obtener un porcentaje alto.

Para fines de estudio la flotación se divide en dos partes, primera limpia y su cola, segunda limpia y su cola tabla No. VII pag. 55. Además, el mineral que esta ingresando a la celda de flotación contiene un 17.47 % de plomo, y posee otros minerales que se observan en el tabla No. VI pag. 55 del análisis realizado por métodos de vía húmeda y por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.

Para la elaboración de la figura No. 3 y 4 los porcentajes de plomo se encuentran tabulados en el tabla No. VIII pag. 56. Las condiciones de trabajo fueron para las velocidades de agitación de 950, 1,200 y 1,500 r.p.m. con un potencial de hidrógeno constante, las mismas muestras se trabajaron con las revoluciones antes mencionadas pero con diferentes potenciales de hidrógeno de 8.0, 8.5, 9.0 (PH)

La primera limpia del concentrado como se le llamó en este proceso, tiene que ser aplicado a una pulpa que sea razonablemente espesa, pues una cantidad del mineral a flotar, tiende a subir lo que en este caso será el plomo y arrastra otra cantidad de

minerales que no se desea flotar llamada ganga, esto se debe a que la espuma sube inevitablemente y contamina el mineral flotado, en esta primera limpia se obtiene un concentrado de plomo promedio de 85.03 % a 950 r.p.m. a un potencial de hidrógeno constante de 8.0, como puede observarse en la figura No. 3 y 4 pags. 57 y 58, las mejores condiciones de flotación para el mineral plomo se encontraron en estos parámetros.

En la segunda limpia se vuelve a aplicar el mismo procedimiento, obteniendo un concentrado y una cola, que nos dan los siguientes valores promedios: segunda limpia concentrado de plomo 20.34 %, y cola 0.92 % sólo que en porcentajes menores y muy insignificativos, en la primera limpia o etapa se trata de recolectar todo el mineral que esta presente en la muestra.

Debe mencionarse que este mismo procedimiento se realizó para todas las muestras que se sometieron al proceso de flotación en las cuales todas se trabajaron de la misma forma y se obtuvieron resultados diferentes los cuales estan tabulados en la tabla No. VII pag. 55.

En las colas de la primera y segunda limpia se obtuvieron los siguientes resultado tabulados en la tabla No. VII pag. 55 donde nos damos cuenta que la primera limpia es la mejor, porque llegamos a concentrar al plomo hasta el 85.03 % y en la segunda únicamente hasta un 20.34 %, de valores promedio.

Dentro del análisis de error podemos observar que tanto a nivel estadístico como experimental se llega a conclusiones análogas. Estadísticamente los mejores resultados nos dan que a menor PH y menor Velocidad de Agitación mayor es la concentración de plomo. Lo mismo ocurre a nivel experimental.

Como puede observarse en la tabla No VIII pag. 56 donde se obtuvieron los análisis triplicados del % de concentración de plomo. En cada combinación según tratamientos descritos, el cual da como resultado % de plomo diferente para cada

muestra de repetición. Al utilizar las fórmulas de sumas de cuadrados y con un nivel de confianza de $\delta = 0.05$, se obtiene los resultados de análisis de varianza, que se encuentran tabulados en el tabla No. V pag. 43. En donde se comprobó las siguientes hipótesis.

1.- $H'_0 = \delta_1 = 1, \delta_2 = 2 = \dots = \delta_a = 0$

Se rechaza H'_0 donde los métodos del % de plomo implican resultados diferentes.

2.- $H''_0 = \beta_1 = 1, \beta_2 = 2 = \dots = \beta_b = 0$

3.- $H'''_0 = (\delta\beta_{11} = (\delta\beta_{12}) = (\delta\beta_{\infty}) = 0$ Se rechazan H'_0 . Y H''_0 .

Donde los resultados en ambas iteraciones es significativas, por el % de plomo existente en la muestra.

12. CONCLUSIONES

- 1.- Las condiciones óptimas de operación de la unidad de flotación en El rango de trabajo son: velocidad de agitación 950 r.p.m. y un potencial de hidrógeno igual a 8.0, obteniéndose El máximo porcentaje de plomo recuperado de 85.03 %
- 2.- En la etapa de flotación de la segunda limpia El porcentaje de plomo fue de 20.34 % y se obtuvo con una velocidad de agitación constante de 950 r.p.m. y con un potencia de hidrógeno de 8.0
- 3.- Las curvas observadas en las figuras de velocidad de agitación Vrs. Concentración de plomo, tienen El mismo comportamiento en los tres experimentos, a menor velocidad de agitación, mayor concentración de plomo figura No. 1 pag. 54
- 4.- Sí existen variaciones significativas en la recuperación de plomo a diferentes velocidades de agitación y a diferentes potenciales de hidrógeno
- 5.- Los valores obtenidos en las limpias 3 y 4, no tienen valores significativos de concentración de plomo por lo que su rango máximo en la limpia 3 es igual a 12.14 %, y para la limpia 4 su rango máximo es igual a 1.38 %

RECOMENDACIONES

- 1.- Estudiar la flotación de plomo para poder concentrar las colas finales que quedan en el mineral trabajado.
- 2.- Implementar este tipo de técnicas de flotación a los pequeños mineros que trabajan con el mineral plomo (área de la mina Torlón, Huehuetenango.)
- 3.- Debido a que el mineral trabajado (plomo) es altamente tóxico, se debe utilizar el equipo adecuado para disminuir la toxicidad del plomo, el cual es irreversible en el flujo sanguíneo del cuerpo humano
- 4.- Debido a que la técnica utilizada por los mineros es obsoleta, se debe utilizar este método de flotación, que da mejores rendimientos y menos trabajo empírico.
- 5.- El plomo es bastante nocivo para la salud y sus efectos son irreversibles por lo que es recomendable crear métodos de control, en áreas donde se trabaja, a nivel de laboratorio y a nivel industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ESPINOZA de León, Luis. **Teoría y prácticas de trituración y molienda.** Comisión de fomento minero, Laboratorio de investigación y experimentación metalúrgica. Secretaría de energía y minas paraestatal. México 1,987 pags. 23-78
2. KIRK Raymond E., Othmer Donald F. **Enciclopedia de la tecnología química,** Traducido: Julio Colón Manrique, Unión tipográfica Editorial Hispano-Americana. México, 1ra. Edición español, Tomo XII. Pp. 1,850-2050
3. PEREZ, Jorge. **Curso internacional de capacitación en procesamiento de minerales y tecnología analítica "flotación".** Comisión de fomento minero, Secretaría de energía y minas industrial paraestatal. México, 1,991 pags. 305-561
4. PERRY Robeth H., Chilton Cecil H., **Manual del ingeniero químico.** 5ta. Ed. México 1,982. Editorial McGraw-Hill. Pp. 3-23
5. SOLE Castellanos, Herve. **Consideraciones sobre la explotación de minerales de plomo, zinc y plata en Huehuetenango.** Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1,968. pags. 8-40
6. STOHMANN F., Kerl B., Bunte H., Neuman B., Binz A., Hayduck F., **Gran enciclopedia de química industrial, teoría, práctica y analítica.** Editorial Francisco Seix-Editor. Barcelona, España. 1ra. Edición en español, Tomo XI. Pp. 132-420.

7. VALLADARES Morales, Juan Fernando. Estudio preliminar a nivel de planta piloto para la separación y concentración de mineral de plomo, por el método de flotación, del mineral procedente de la mina de torlon en Huehuetenango. Tesis Ing. Químico, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1,991. Pp. 1-23.

8. WESTERMANN Verlag, George. **Métodos de la industria química.** Traducido: Dr. Rafael Usón. Editorial Reverté S. A. España. 1,978 pags. 456-960

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ESPINOZA de León, Luis. **Teoría y prácticas de trituración y molienda.** Comisión de fomento minero, Laboratorio de investigación y experimentación metalúrgica. Secretaría de energía y minas paraestatal. México 1.987

- 2.- KIRK Raymond E., Othmer Donald F. **Enciclopedia de la tecnología química,** Traducido: Julio Colón Manrique, Unión tipográfica, Editorial Hispano-Americana. México, 1ra. Edición español, Tomo XII

- 3.- PEREZ, Jorge. **Curso internacional de capacitación en precesamiento de minerales y tecnología analítica "flotación".** Comision de fomento minero, Secretaría de energía y minas industrial paraestatal. México 1,991

- 4.- PERRY Roberth H., Chilton Cecil H., **Manual del ingeniero químico.** 5ta. Ed. México 1,982 Editorial McGraw-Hill.

- 5.- SOLE Castellanos, Herve. **Consideraciones sobre la explotación de minerales de plomo, zinc y plata en Huehuetenango.** Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1,968

- 6.- STHMANN F., Kerl B., Bunte., Binz A., Hayduck F., **Gran enciclopedia de química industrial, teoría, práctica y analítica.** Editorial Francisco Seix-Editor. Barcelona, España 1ra. Edición en español, Tomo XI

- 7.- VALLADARES Morales, Juan Fernando. **Estudio preliminar a nivel de planta piloto para la separación y concentración del mineral de plomo, por el método de flotación, del mineral procedente de la mina de torlón en Huehuetenango.** Tesis Ing. Quimico, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1,991

- 8.- WESTERMANN Verlag, George. **Métodos de la industria química.** Traducido: Dr. Rafael Usón. Editorial Reverté S. A. España. 1,978

APÉNDICE

TABLA No VI
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MINERAL DE LA MUESTRA

% de Mineral	% Pb.	% S	% Zn	% Fe	% Cu
En la Muestra	17.47	1.13	4.4	23.44	N.D

Nota:

Los análisis se realizaron por vía húmeda y por la técnica de absorción atómica.

N. D = No detectable.

TABLA No. VII
DATOS OBTENIDOS DEL CONCENTRADO DE PLOMO
EN EL ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE FLUJO

r.p.m.	1ra. Limpia concent. De Pb	Cola de 1ra. Limpia de concent. Pb	2da. Limpia concentrado de Pb.	Cola de la 2da. Limpia de Pb.
950	85.03	3.00	20.34	0.92
1,200	71.77	2.35	17.97	0.61
1,500	70.60	2.69	16.55	0.35
	% de Pb.	% de Pb.	% de Pb.	% de Pb.

TABLA No. VIII

**DATOS OBTENIDOS DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO
EN LOS DIFERENTES CAMBIOS DE LA VELOCIDAD Y POTENCIALES DE
HIDRÓGENO**

PORCENTAJES DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO

POTENCIAL DE HIDROGENO	REVOLUCION POR MINUTO r.p.m.	% de plomo	% de plomo	% de plomo
8.0	950	85.03	84.57	83.40
8.5	1200	72.47	71.62	71.22
9.0	1500	71.04	70.42	70.34

FIGURA No. 3

PORCENTAJE DE CONCENTRACIÓN DE Pb.
VRS.
VELOCIDAD DE AGITACIÓN

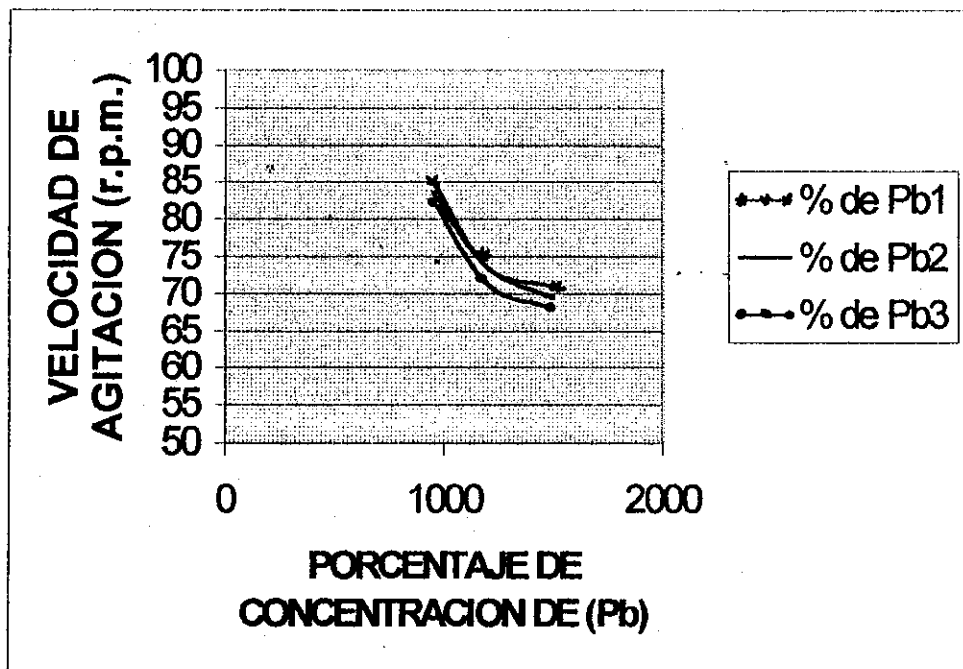
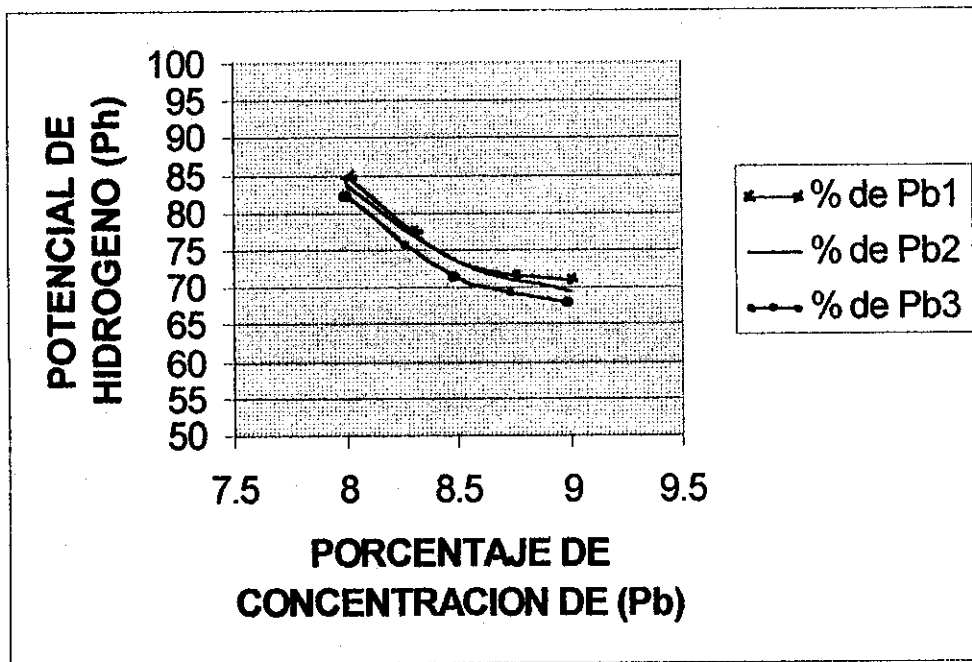


FIGURA No. 4

**PORCENTAJE DE CONCENTRACIÓN DE Pb.
VRS
POTENCIALES DE HIDRÓGENO PH**



**FIGURA No. 5
UBICACIÓN DE LA MINA
DE TORLÓN
HUEHUETENANGO, GUATEMALA**

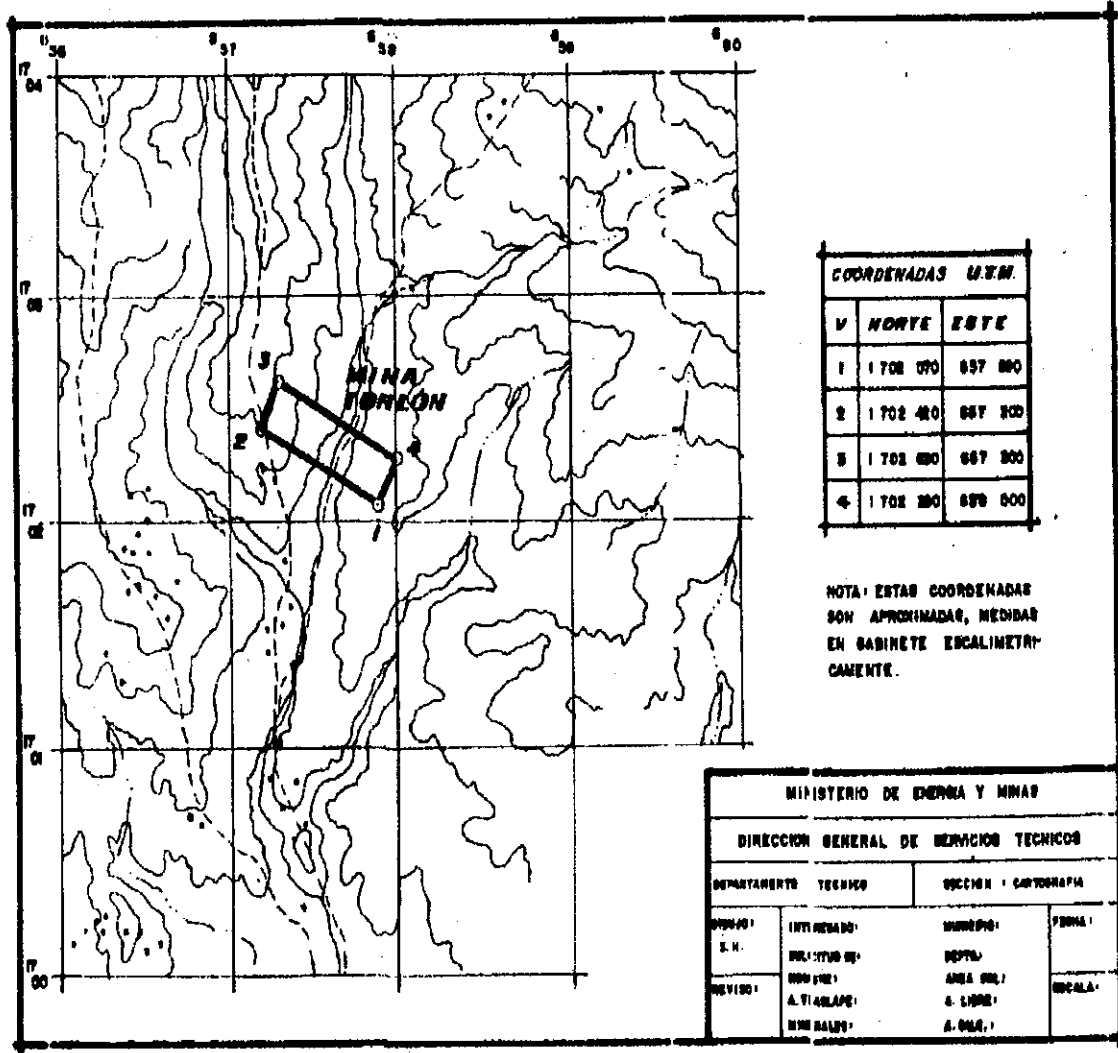


DIAGRAMA DE FLUJO PARA FLOTACIÓN DE PLOMO

FIGURA No. 6

