

17
2el.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

PROFESOR ENCARGADO
DR. G. GARCIA

CORRELACION DE LOS POTENCIALES DE REPOSO,
FLOTACION Y RECUPERACION DE UN MINERAL
DE GALENA CON DIFERENTES LEYES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

PORFIRIO PEREZ GALVAN



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE	prof. Joan Genescá Llongueras.
VOCAL	prof. Antonio Huerta Cerdán.
SECRETARIO	prof. Francisco Javier Rodríguez Gómez.
1er. SUPLENTE	prof. Faustino Juárez Sánchez
2do SUPLENTE	prof. Carlos Rodríguez Rivera

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorio de Procesado de Minerales, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Química, Edificio "D", U.N.A.M., México D.F.

ASESOR DEL TEMA:



M en C Antonio Huerta Cerdán.

SUSTENTANTE:



Porfirio Pérez Galván.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:
POR HABERME BRINDADO LA
OPORTUNIDAD DE VIVIR , FORJAR
EN MI EL ESPÍRITU DE
SUPERACIÓN, POR APOYARME Y
TENER CONFIANZA EN CADA PASO
QUE DOY Y POR TODO AQUELLO
QUE ME ENSEÑARON. SOLO
PUEDO DECIR GRACIAS.

CON CARIÑO A :
MI TÍA HERMINIA PÉREZ GONZÁLEZ.
A MIS HERMANOS: JOSÉ LUIS, JOSÉ,
ROSALIO, ALEJANDRA, ROGELIO,
MARTHA Y ELENA, POR TENER SIEMPRE
UNA FRASE DE SUPERACIÓN.

AGRADECIMIENTOS.

DEBO AGRADECER EN PRIMER LUGAR AL M.C. ANTONIO HUERTA CERDÁN, POR HABERME PRESENTADO LA IDEA ORIGINAL DE ESTE TRABAJO, POR SU AMISTAD INCONDICIONAL Y POR SER COMO ES.

A TODOS MIS MAESTROS QUE EN SU MOMENTO SUPIERON BRINDARME SU AMISTAD Y CONSEJOS, A TODOS ELLOS GRACIAS.

INDICE

RESUMEN.	3
CAPÍTULO I.	
1.1.- INTRODUCCIÓN.	5
OBJETIVOS.	7
CAPÍTULO II.	
2.1.- FUNDAMENTACION TEÓRICA	8
2.2.- FLOTACIÓN POR ESPUMA	8
2.2.1.- PARÁMETROS DE FLOTACIÓN	10
2.3.- ÁNGULO DE CONTACTO.	10
2.4.-TAMAÑO DE PARTÍCULA.	12
2.5.-POTENCIAL ELÉCTRICO. DOBLE CAPA ELÉCTRICA.	13
2.5.1.- ORIGEN DE LA CAPA SUPERFICIAL	13
2.6.- MODELOS DE HELMOLTZ Y GOUY - CHAPMAN	15
2.7.-MODELO DE STERN.	15
2.8.-FENÓMENOS ELECTROCINÉTICOS.	17
2.9.-REACTIVOS DE FLOTACIÓN.	18
2.9.1 LOS COLECTORES SE CLASIFICAN EN DOS GRUPOS	18
2.10 COLECTORES EMPLEADOS EN MINERALES SULFURADOS	19
2.11.-PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL XANTATO ETÍLICO DE POTASIO (COLECTOR).	21
2.11.1.-DEPRESORES	21
2.11.2.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL DICROMATO DE POTASIO (DEPRESOR).	21
2.12.-CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES SULFURADOS.	22
2.13.- DEPRESIÓN DEL MINERAL DE GALENA.	23
CAPÍTULO III	
3.1.-EXPERIMENTACIÓN.	25
3.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL ELECTRODO DE GALENA	26

3.2.-DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REPOSO EN SOLUCIÓN BUFFER Y CON REACTIVOS.	28
3.3.-DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE FLOTACIÓN.	28
3.4.- Sistema Galena - KEX	30
3.5.- Sistema Galena - $K_2Cr_2O_7$	30
3.6.- Sistema Galena - KEX + $K_2Cr_2O_7$	30
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	32
4.1 EFECTO DEL COLECTOR (KEX) , 0.5% PbS.	33
4.2.-EFECTO DEL COLECTOR, 1.5% PbS.	34
4.3 EFECTO DEL COLECTOR (KEX) , 3% PbS.	36
4.4 EFECTO DEL DEPRESOR ($K_2Cr_2O_7$), 0.5 % PbS.	38
4.5 EFECTO DEL DEPRESOR ($K_2Cr_2O_7$), 1.5 % PbS.	39
4.6 EFECTO DEL DEPRESOR ($K_2Cr_2O_7$), 3% PbS.	41
4.7 EFECTO DE MEZCLA. 0.5% PbS	43
4.8 EFECTO DE MEZCLA. 1.5% PbS	44
4.9 EFECTO DE MEZCLA. 3% PbS	46
4.10 CORRELACIÓN DE POTENCIALES DE REPOSO,FLOTACIÓN, %Pb, Y % REC. AC. BASE % PbS EN CABEZAS.	48
4.11.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.	57
4.11.1.- MEDICIÓN DE POTENCIAL DE REPOSO	57
4.11.2.- MEDICIÓN DE POTENCIAL DE FLOTACIÓN	58
4.11.3.- POTENCIALES PROMEDIO.	59
CAPÍTULO V	
5.0 CONCLUSIONES	63
APENDICE A	64
APENDICE B	73
APENDICE C	76
BIBLIOGRAFÍA.	78

RESUMEN.

El proceso de concentración de minerales por flotación se basa en las interacciones fisicoquímicas que se realizan en la superficie e interfase mineral - solución, por tal motivo uno de los parámetros de gran importancia sujeto a estudio en este trabajo es la interacción eléctrica entre el mineral y los reactivos utilizados para este fin. México es un país el cual una parte de su economía se encuentra basada en la minería, participando entre los primeros lugares de producción de plomo, siendo la materia prima principal de operación el mineral de galena. Sin embargo, las condiciones de operación en el proceso de flotación no han sido lo suficientemente controladas debidas a la falta del conocimiento de dichas interacciones. Por ello para alcanzar los objetivos, en este trabajo se realizaron estudios de los efectos de la concentración de los reactivos KEX- $K_2Cr_2O_7$, y los efectos de diferentes leyes de Pb en la alimentación a un proceso de flotación sobre el mineral de galena. Así mismo, fueron correlacionados los potenciales eléctricos de reposo, de flotación, así como las leyes y recuperaciones obtenidas.

Las mediciones de potenciales se obtuvieron en el momento en que se realizó el proceso de flotación del mineral de PbS en presencia de xantato etílico de potasio (kex, colector) el cual es el causante de la modificación de la superficie del mineral transformándola en hidrofóbica (activa al mineral) y convirtiendo al potencial más negativo a medida que se incrementa la concentración.

Las condiciones más favorables de recuperación de mineral en este sistema PbS - KEX fueron:

Para 0.5, 1.5, 3% PbS en cabeza: pH= 9.1, KEX= 6×10^{-4} M, PR (potencial de reposo) = -102.1 mV, -103 mV, -148.7 mV, PF (potencial de flotación) = -100.6mV, -114.8 mv, -153.8mV con 60.82, 73.48, 75.72 %Pb y 72.74, 76.53, 95.91%Recuperación, respectivamente.

Al incrementar la concentración del kex sobre el mineral cuando éste es analizado en forma de cabeza constante se presentó un incremento de potencial en sentido catódico y proporcional a la concentración.

Con el estudio de dicromato de potasio (depresor), cuya función es el de deprimir al mineral se analizó el efecto de la concentración sobre los potenciales, observando que, un incremento en la concentración de dicromato de potasio los tornó mas positivos (acción contraria a la del colector).

Las condiciones más favorables para deprimir un mineral de galena fueron :

Para leyes de 0.5, 1.5, 3.0%PbS en cabeza: $\text{pH} = 9.1$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$, $\text{PR}(\text{potencial de reposo}) = -32.8 \text{ mV}$, $\text{PF}(\text{potencial de flotación}) = -38.8 \text{ mV}$.

Las condiciones bajo las cuales el mineral flota o es deprimido por la acción de la mezcla de colector y depresor fueron:

Las condiciones favorables para flotar el mineral:

Para 0.5, 1.5 y 3%PbS en cabeza : $\text{pH} = 9.1$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 1 \times 10^{-2} \text{ M}$ + $\text{KEX} = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$, $\text{PR}(\text{potencial de reposo}) = 76.52, 62.1, 75.46 \text{ mV}$, $\text{PF}(\text{potencial de flotación}) = 75.3, 72.27, 71.6 \text{ mV}$, con 64.88, 62.09, 76.66 % Pb y 58.137, 66.202, 89.42 % Recuperación respectivamente.

El comportamiento de los potenciales (reposo, flotación) y recuperación seguida en los sistemas individuales tiende a desaparecer en el sistema $\text{PbS} - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{KEX}$, debido a la acción limpiadora que ejerce el depresor sobre la superficie del mineral

Las condiciones favorables para deprimir el mineral:

Para 0.5, 1.5, 3.0% PbS en cabeza: $\text{pH} = 9.1$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$, $\text{PR}(\text{potencial de reposo}) = -37.5 \text{ mV}$, $\text{PF}(\text{potencial de flotación}) = -35.8 \text{ mV}$.

Con la información obtenida se logró seguir un criterio de correlación entre los potenciales experimentales y teóricos, observando si la diferencia que existe entre ellos es variable o es constante; y con base en ello se predice cuando un mineral puede ser concentrado, facilitando de esta forma su operación.

CAPÍTULO I.

1.1.- INTRODUCCIÓN.

La flotación ha permitido el beneficio de yacimientos de minerales complejos y de baja ley debido a que ésta presenta una alta selectividad en comparación con otros procesos de separación sólido - sólido. Las leyes de los minerales son variables dependiendo de las características de los yacimientos y de otros factores. La mayor parte del cobre, níquel, molibdeno, plomo y zinc de México y del mundo se obtienen a partir de minerales que se concentran primeramente por medio de flotación. La mayor parte de los fosfatos y potasa que se requieren para los fertilizantes se concentran también por este. Además, la flotación se utiliza comúnmente para recuperar carbón fino y para concentrar una gran cantidad de productos minerales como: fluoroespato, barita, óxido de hierro, pirita, mineral de manganeso, arcilla, feldespato, mica, etc. (1)

El método se basa en hacer flotar algunos constituyentes determinados de un mineral. A partir de este sencillo concepto se ha desarrollado una técnica refinada de gran importancia en sus aplicaciones y de gran sensibilidad para la separación. Sin embargo, a pesar de la gran importancia económica que ofrecen los procesos de flotación, no han despertado un interés científico que permita su mejoramiento y optimización, desconociéndose hasta hace poco tiempo, los fundamentos teóricos que lo rigen. Lo anterior es debido a que el proceso no ha sido una consecuencia de investigaciones básicas, sino que se ha desarrollado a través de los años de manera empírica. Por ejemplo, uno de los agentes más importantes que se utiliza en el proceso de flotación es la utilización de sustancias tensoactivas llamadas colectores; al principio se empleaban como colectores, el aceite de eucalipto. Durante la segunda mitad del siglo pasado se realizaron procedimientos rudimentarios de flotación y en 1905 aparece la primera patente del proceso. En 1919 C.L. (2) utilizó como colectores compuestos orgánicos poco solubles y relativamente fáciles de oxidar. En la última década ha ido creciendo la investigación encaminada a comprender más a fondo los fundamentos y mecanismos que se encuentran involucrados en el proceso de flotación por espuma como proceso de separación de minerales.

Así mismo, en la actualidad el mineral de galena se procesa por diferentes tipos de reactivos, normalmente orgánicos, que proporcionan el carácter hidrófobo a las partículas de sulfuro de plomo y a través del aire inyectado, la partícula de sulfuro se adhiere a la burbuja de aire, obteniéndose un concentrado de galena y algunos otros valores en menores proporciones tales como el Cu, Zn y Ag frecuente mente asociados a este mineral, separándose así de los materiales estériles tales como el cuarzo y feldespatos.

Los procesos de metalurgia extractiva se han desarrollado a través de la historia de la humanidad mediante modelos empíricos. La flotación es una operación industrial en la cual no se ha logrado tener un buen control en la optimización del proceso debido principalmente a que no existe un conocimiento amplio de las interacciones que ocurren en la interfase mineral-reactivos. En consecuencia es de gran interés conocer cuantificar y correlacionar las interacciones eléctricas y electroquímicas que se llevan a cabo en la superficie del mineral, y a partir de estas variables poder controlar y optimizar dicho proceso ya que éstas son observables, y se pueden modificar, de ahí la importancia de este estudio.

En este trabajo se establece la hipótesis de que si se conocen los efectos de la concentración de los reactivos con respecto a los valores de los potenciales, las leyes y recuperaciones obtenidas, se podrá predecir el comportamiento del mineral así como las condiciones más adecuadas para flotar o deprimir a éste.

OBJETIVOS.

- **Estudiar la influencia de las concentraciones del Xantato etílico de potasio ($C_2H_5OCS_2K$), del Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y una mezcla de ambos reactivos en la recuperación o depresión de un mineral de galena con diferentes leyes en cabeza, a partir de estudios de potenciales de reposo, de flotación y de pruebas de flotación bajo condiciones de pH y concentraciones de colector y/o depresor próximas a las de flotación.**
- **En base a los estudios antes mencionados, obtener una correlación que permita predecir los valores de leyes y recuperaciones alcanzables en un proceso de flotación.**
- **Determinar las condiciones de máxima ley y recuperación obtenidas a partir de los estudios antes mencionados.**

CAPÍTULO II.

2.1.- FUNDAMENTACION TEÓRICA

La minería en México ha cobrado gran importancia y desarrollo en el presente siglo, destacando que nuestro país se encuentra entre los primeros lugares de producción de plomo.

El plomo es uno de los metales no ferrosos más importantes en la metalurgia a nivel industrial, ya que tiene una amplia gama de aplicaciones y usos, principalmente en forma metálica. Es constituyente de una extensa variedad de aleaciones de uso común, y en estado puro es utilizado para la fabricación de plomería, balas, recubrimientos, es de gran utilidad en el manejo de material radioactivo por su gran capacidad de absorber radiaciones de longitud de onda corta y alta energía, es además el material fundamental en la fabricación de acumuladores para transportes; siendo éstas algunas de un sin número de aplicaciones, es por ello la gran importancia de este mineral.

El plomo se encuentra en la naturaleza raramente en forma metálica, generalmente se encuentra combinado con otros elementos formando minerales, principalmente de azufre con el que forma sulfuro de plomo o galena (PbS), siendo este mineral en México la materia prima principal para la obtención del plomo. Debido a esto se requiere una serie de etapas para su separación y tratamiento para la obtención de plomo metálico. El proceso fisicoquímico más importante en el procesamiento del mineral para la obtención de sulfuro de plomo de alta calidad es por medio del beneficio por FLOTACIÓN POR ESPUMA.

2.2.- FLOTACIÓN POR ESPUMA

Este es un proceso físico químico que aprovecha las propiedades superficiales de las partículas; Se lleva a cabo en una celda de flotación, en donde en su interior se introducen partículas de minerales relativamente finas en una fase líquida, a esta sus pensión se incorporan

ciertos reactivos químicos, los cuales modifican la interacción superficial del mineral a concentrar volviéndolo hidrofóbico. La mezcla obtenida se agita vigorosamente mediante un impulsor el cual gira a gran velocidad. Al inyectar aire por la parte inferior de la cuba se producen burbujas, las cuales llevarán consigo a las partículas que se desean flotar, obteniéndose una espuma mineralizada con material concentrado. Las partículas que no se adhieren a las burbujas se hunden al fondo de la celda.

En el proceso de flotación de la galena los reactivos adicionados son aceites colectores del tipo xantato o ditiofosfato, los cuales se adsorben sobre la superficie del mineral, haciendo que aumente el ángulo de contacto desarrollado entre el mineral y la burbuja de aire. Se tiene la ventaja de que algunos otros compuestos presentes en la suspensión como el cuarzo y los feldespatos, no son susceptibles de flotar, pues los colectores de este tipo, no se adsorben en la misma magnitud de su superficie.(3).

Controlando adecuadamente el proceso, se puede conseguir la concentración selectiva de un mineral mixto, ya que es posible flotar simultáneamente de algunos componentes como el sulfuro ferroso y sulfuro de zinc con el mismo tipo de colector. Sin embargo, con la adecuada adición de reactivos depresores se obtendrá la obtención de valores desados en un concentrado. La figura 1 muestra un ejemplo típico del proceso convencional de flotación

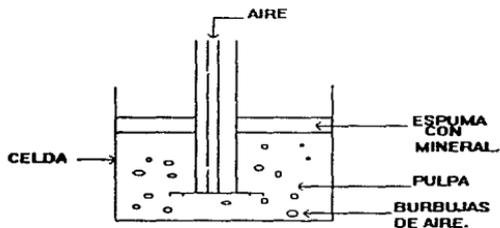


Figura 1. Flotación por espuma.

2.2.1 PARÁMETROS DE FLOTACIÓN.

Dentro de los procesos de flotación por espuma se tiene un gran número de variables que de una u otra manera influyen en el proceso de concentración. Dicho proceso es muy complejo y no se ha podido investigar a fondo el efecto de cada una de las variables. A continuación se mencionarán algunas de estas variables.

- a) Concentración de reactivos.
- b) Tipos de reactivos.
- c) Ángulo de contacto.
- d) Tamaño de partícula.
- e) Trabajo de cohesión y adhesión.
- f) pH.
- g) Fenómenos de adsorción.
- h) Tipo de mineral

2.3 ÁNGULO DE CONTACTO.

Cuando los colectores han sido agregados a la pulpa mineral, se obtiene una capa hidrofóbica. De esta manera la película está lista para flotarse adheriéndose a la burbuja de aire; la estabilidad existente entre el mineral-burbuja depende de las fuerzas que actúan en la superficie. Dichas fuerzas implican la formación de un ángulo de contacto entre las tres fases que son: sólido, líquido y gas. (fig. 2).

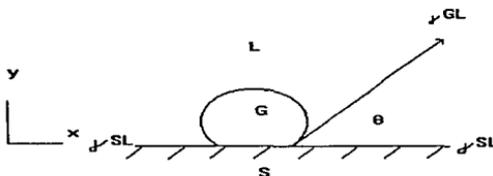


Figura 2. Tensiones superficiales en el sistema mineral-burbuja-agua y el ángulo de contacto desarrollado.

Haciendo un balance de tensiones en este sistema tenemos :

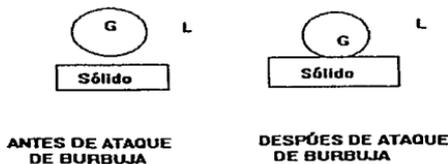
$$\gamma_{GS} = \gamma_{GL} + \text{componente en } x \text{ de } \gamma_{SL}$$

$$\text{En el equilibrio: } \gamma_{GS} = \gamma_{SL} + \gamma_{GL} \cos \theta \dots \dots \dots (1)$$

donde γ es la tensión superficial. Para que exista la flotabilidad debemos tener:

$$\gamma_{GS} > \gamma_{SL} + \gamma_{GL} \cos \theta$$

Si analizamos las energías libres de los sistemas, antes y después del ataque de la burbuja, tendremos:



$$1.- G_1 = \gamma_{GL} + \gamma_{SL} \qquad 2.- G_2 = \gamma_{SG}.$$

$$G_1 - G_2 = \gamma_{GL} + \gamma_{SL} - \gamma_{SG} \dots\dots\dots (2)$$

Sustituyendo ecuación (1) en ecuación (2)

$$G/\text{Área} = \gamma_{GL} + \gamma_{SL} - (\gamma_{SL} + \gamma_{GL} \cos\theta)$$

$$G/\text{Área} = \gamma_{GL} (1 - \cos\theta) \dots\dots\dots (3)$$

La ecuación 3 muestra que el cambio de energía libre es proporcional al ángulo de contacto. Por lo cual a un ángulo mayor, tendremos un mayor cambio de energía, implicando que el proceso es factible de llevar a cabo. Esto quiere decir que tendremos flotabilidad α .

Estudios realizados han encontrado que los ángulos óptimos están entre 50 y 70 grados.

2.4.-TAMAÑO DE PARTÍCULA.

Se ha establecido que en la mayoría de los casos, la separación por flotación es mas útil cuando los tamaños de partícula están en el intervalo de aproximadamente: 0.1 a 0.02 mm (100 a 20 μm); los límites de tamaño óptimo pueden variar ligeramente para casos individuales.

Para ciertos casos la flotabilidad de partículas grandes tienen las siguientes ventajas:

- a) Se incrementa la productividad en los sectores de molienda, espesamiento, filtración y secado.
- b) Los concentrados de partículas más grandes son apropiados para procesos posteriores.

También es importante evitar los efectos adversos de flotación de partículas finas junto con partículas gruesas ya que esto ocasiona que:

- a) Partículas muy pequeñas forman fácilmente lamas.
- b) Existan problemas en la selectividad de una mezcla de minerales.
- c) Alto consumo de reactivos

2.5.-POTENCIAL ELÉCTRICO. DOBLE CAPA ELÉCTRICA.

Una consecuencia del encuentro de dos fases es la aparición de una región interfacial. Entre la frontera de dos fases, en un límite generalmente se forma una doble capa eléctrica: este término se utiliza para describir el arreglo de cargas eléctricas y dipolos orientados que constituyen la región entre fases.

En cualquier interfase, siempre existe una distribución de cargas eléctricas entre las dos fases. Esta desigualdad en la distribución de cargas trae como resultado que un lado de la interfase adquiera una carga neta positiva y el otro lado adquiera carga neta negativa, ambas de igual magnitud, lo que hace que el sistema sea eléctricamente neutro. La separación de cargas en la interfase genera una diferencia de potencial a través de la interfase. La doble capa puede extenderse al interior de una o ambas fases del sistema. (5)

2.5.1 ORIGEN DE LA CAPA SUPERFICIAL.

Cuando se tiene la unión de dos fases ocurre un arreglo de sus componentes, Estableciendo un equilibrio por medio de un balance de efectos eléctricos y químicos, resultando un potencial electroquímico generado en el sistema que comprende la interfase.

El potencial eléctrico es un punto dado en el vacío es definido como la energía necesaria para traer una unidad de carga desde el infinito hasta un punto.

Considerando un caso mas real; donde α es cualquier medio excepto el vacío y un material tal como fase 0, la energía necesaria para traer la carga a través del medio depende de las interacciones del medio α y la fase 0. Para una especie α , esta energía recibe el nombre de potencial electroquímico μ_α^* y se define como:

$$\mu_\alpha^* = \mu^* + Z_\alpha e \varphi \dots\dots\dots(4)$$

Donde Z = número de valencia de la especie de α .

e = Cargas del electrón.

μ_α^* = Potencial químico.

φ = Potencial interno:

$Z_\alpha e$ = Carga llevada por la especie α .

El potencial interno es constante dentro de la fase 0 y señala el trabajo realizado al transportar una unidad de carga a través de la fase α . El potencial interno esta definido como:

$$\phi = \phi_e + \phi_s \dots\dots\dots (5)$$

Donde: ϕ_e = Potencial externo.

ϕ_s = Potencial superficial.

μ_s^* = potencial electroquímico.

Entonces, sustituyendo ecuación 2 en la ecuación 1 se tiene:

$$\mu_s^* = \phi + Z_a e (\phi_e + \phi_s) \dots\dots\dots (6)$$

El potencial externo señala el trabajo realizado para traer una unidad de carga desde el infinito a un punto justo fuera de la interfase α/θ , fig. 3 suavizada como contenido de una capa de cargas (q_m) y sus cargas contrarias (q_s) representando una capa de dipolos. El potencial superficial señala el trabajo requerido para cruzar la capa que forma (q_m) y (q_s).

Cuando un sólido es rodeado por un líquido las cargas de ambas fases tienden al equilibrio formándose la doble capa. fig. 4. La cual se forma debido al potencial químico y eléctrico por parte de cada una de las fases (6)

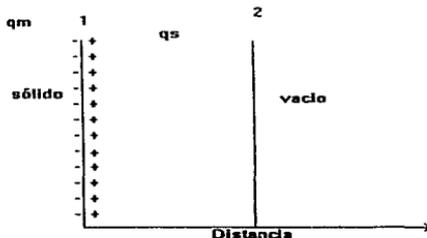


Figura 3. Representación de la capa superficial.

2.6 MODELOS DE HELMOLTZ Y GOUY - CHAPMAN.

El modelo de Gouy y Chapman, conocido como capa difusa, fue sugerida individualmente, como las cargas forman una difusión continua de iones en una estructura dialéctica. Ambos consideran que la concentración decrece progresivamente con la distancia, desde el sólido hacia el seno de la solución.

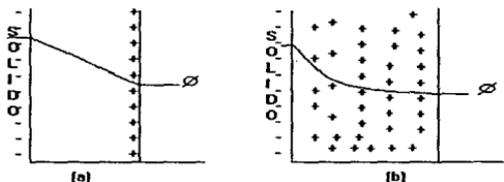


Figura 4. Representación de los modelos de a) Gouy y b) Chapman.

2.7.-MODELO DE STERN.

Stern modificó el modelo de la capa difusa, propone que no debe despreciarse el tamaño finito de los iones; además propone una capa inmóvil de iones, contrarios adsorbidos y una capa difusa la cual se obtiene de combinar los modelos de Helmholtz y Gouy - Chapman y se conoce como doble capa. fig. 5. Donde existen iones adsorbidos específicamente se le llamó plano de Stern el cual se considera situado a una distancia de la superficie aproximadamente igual a la del radio iónico hidratado. fig. 6.

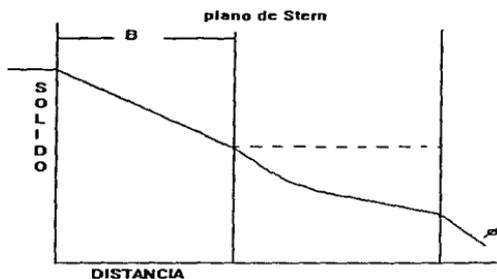


Figura 5. Representación del modelo de Stern.

La doble capa eléctrica está constituida por dos regiones: una interior, en donde se consideran los iones adsorbidos, y una región difusa en la que los iones se distribuyen dependiendo de la influencia de fuerzas eléctricas y movimientos térmicos.

Los iones adsorbidos son aquellos que están unidos a la superficie por fuerzas electrostáticas o de Van Der Waals lo suficientemente fuertes para superar la agitación térmica.

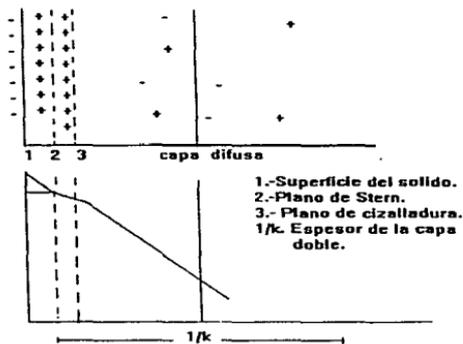


Figura 6. Representación de la doble capa eléctrica.

2.8.-FENÓMENOS ELECTROKINETICOS.

Los fenómenos electrocinéticos son aquellos que aparecen cuando se intenta arrancar de una superficie la parte móvil de la doble capa eléctrica. Los cuatro fenómenos más importantes son:

Electroforésis: Este fenómeno se caracteriza por el movimiento de las partículas cargadas respecto a un líquido estacionario cuando se aplica un gradiente de potencial, en otras palabras se aplica un campo eléctrico de forma que las partículas se desplacen en el campo en una dirección determinada por la carga de las partículas.

Electro - Osmosis: Este fenómeno se refiere al movimiento del líquido respecto a una superficie cargada inmóvil cuando se aplica un gradiente de potencial.

Potencial de flujo: Consiste en la creación de un gradiente de potencial cuando fluya en líquido a lo largo de una superficie estacionaria.

Potencial de sedimentación: La zona difusa de la doble capa con movimiento, presenta un signo opuesto y es atraída por el otro electrodo. Contrariamente, si se deja que las partículas sedimenten, éstas llevan la carga al fondo de la celda dejándola sobre la capa difusa, generando una diferencia de potencial entre la parte superior y el fondo de la celda.

La magnitud de los fenómenos electrocinéticos están sujetos a la fracción de carga eléctrica que se encuentra en la parte móvil de la doble capa.

2.9.-REACTIVOS DE FLOTACIÓN.

Cerca del 50% del costo de operación de una planta de beneficio por flotación por espuma, corresponde a los reactivos de flotación. La selectividad se consigue empleando varios tipos de reactivos químicos como pueden ser:

Colectores: Estos reactivos son compuestos orgánicos que se caracterizan por tener un grupo no polar que proporciona a la superficie del mineral características oleosas. La acción de un colector es promover el contacto y unión entre la partícula que se desea flotar y la burbuja de aire.

2.9.1 LOS COLECTORES SE CLASIFICAN EN DOS GRUPOS.

Aniónicos: En el colector aniónico, la molécula está cargada negativamente y forma una superficie repelente al agua sobre la partícula del mineral a flotar.

Catiónicos: En este tipo de colectores la molécula se encuentra cargada positivamente y forma una superficie repelente al agua.

Espumante: Es un compuesto orgánico que se caracteriza por presentar en la misma molécula un grupo polar con afinidad hacia el agua y un grupo no polar con afinidad hacia el aire, y que

inducen a la formación de burbujas con ciertas propiedades sobre las cuales los minerales son separados de la pulpa.

Modificadores: Son sustancias que favorecen la selectividad de los minerales aceptando o rechazando al colector sobre la partícula del mineral a flotar, también pueden ser clasificados en los siguientes tipos:

Depresores: Compuestos orgánicos e inorgánicos que estimulan a que la superficie del mineral a flotar se encuentre mojada.

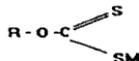
Promotores: Se caracterizan por ser sales de metales nobles que al tener contacto con la superficie del mineral facilita la deshidratación de la misma presentando una mayor actividad sobre el colector.

Reguladores de pH: Compuestos orgánicos e inorgánicos que permiten variar el pH dependiendo del pH adecuado para facilitar la selectividad.

2.10 COLECTORES EMPLEADOS EN MINERALES SULFURADOS

Los colectores químicos se clasifican en compuestos de tipo iónico y no iónico. Dentro de la categoría de los iónicos se presenta a la molécula que contiene a un grupo polar y otro no-polar. El grupo no-polar presenta una cadena de hidrocarburos, las cuales varían en longitud y en estructura con los diferentes reactivos.

En lo que respecta al grupo polar corresponde a un radical activo químicamente soluble al agua, y para tal fin contienen uno o dos átomos de azufre. Los colectores más comunes son los Xantatos y los Ditiوسفatos, cuyas estructuras se observan en la siguiente figura (6a)



R, representa la cadena de hidrocarburos y M puede ser el radical alquilo o un metal alcalinoterreo, ion de amonio o un ion hidrógeno. En lo que corresponde a los Xantatos M corresponde a un metal alcalino, el radical polar -SM constituye al grupo soluble, ionizándose en la solución con la formación de un catión M⁺ y los grandes iones respectivamente, que llevan las cadenas de hidrocarburos, quedando las siguientes estructuras:

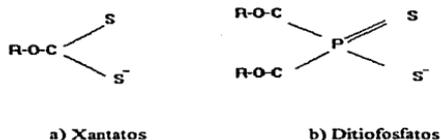
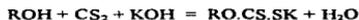


Figura 6a. Representación de las estructuras de los Xantatos y Ditiolfosfatos.

2.11.-PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL XANTATO ETÍLICO DE POTASIO (COLECTOR).

Los xantatos son los reactivos colectores más importantes para la flotación de los minerales sulfurados y se obtienen haciendo reaccionar un hidróxido alcalino, un alcohol disulfuro de carbono, como se muestra:



Donde R es el grupo hidrocarburo que normalmente contiene de uno hasta seis átomos de carbono. El xantato más utilizado es el etílico, posteriormente el isopropílico, amílico y hexílico. El xantato etílico de potasio (KEX) es el más utilizado y presenta la siguiente estructura. fig. 7

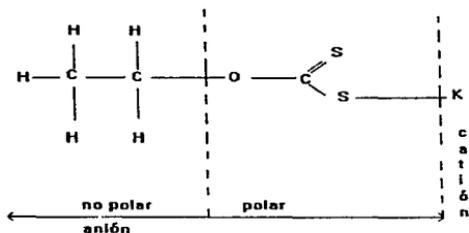


Figura 7. Estructura del Xantato etílico de potasio.

El anión consiste de un radical no- polar de hidrocarburo y un grupo polar conectado. El xantato es adsorbido sobre la superficie del mineral sulfurado debido a fuerzas químicas entre el grupo polar y la superficie, produciendo xantatos insolubles del metal fuertemente hidrofóbico; como es el xantato etílico de plomo. El xantato etílico de potasio presenta la siguiente fórmula química $\text{C}_2\text{H}_5\text{OCS}_2\text{K}$. con un peso molecular de 160 g/ mol.

2.11.1.-DEPRESORES.

La depresión de un mineral incrementa la selectividad de un concentrado en la flotación volviendo hidrofílico a ciertos minerales evitando su flotación. El depresor de mayor utilidad en los sulfuros es el dicromato de potasio, el cual sirve para deprimir, en este caso a la galena. Podemos mencionar este tipo de depresiones cuando se desea separar plomo de cobre.

2.11.2.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL DICROMATO DE POTASIO (DEPRESOR).

La acción depresiva que presenta el dicromato de potasio sobre un mineral, es atribuida a la hidratación del cromato adsorbido sobre la superficie, por lo que la hidrofobicidad de la capa

del colector es vencida. Lo que quiere decir, que este cromato es insoluble por lo que se incrementa la mojabilidad evitando su flotación. El dicromato de potasio presenta la siguiente fórmula química, $K_2Cr_2O_7$ con un peso molecular de 294.188 g/ mol.

2.12.-CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES SULFURADOS.

Sulfuros: Son aquellos minerales cuya composición es la combinación no oxigenada de metales y metaloides. Físicamente se caracterizan por su brillo metálico, peso específico elevado y opacidad. Económicamente son muy rentables, ya que en ellas se hayan las menas metálicas más importantes, como Calcosita (Ca_2S), esfalerita (ZnS), calcopirita ($FeCuS_2$), Galena (PbS), pirita (FeS_2), etc.

Galena: Este tipo de mineral cristaliza en el sistema rectangular con estructuras tipo cloruro de sodio, en cristales de buena conformación, implantados principalmente por el cubo y el octaedro, presenta una dureza de 2.5 mohs, su punto de fusión es de 1115 °C. De color gris de plomo claro, lustre metálico en la superficie de exfoliación, rayas negras grisácea, mate, el mineral es opaco e isótropo a la luz reflejada. Su composición química es constante, siempre se acompaña con una cantidad pequeña de plata.

Una propiedad eléctrica importante del sulfuro de plomo es que es un semiconductor, donde su resistividad eléctrica esta sujeta a la siguiente relación, según Frey (7)

$$RE = 0.00258 (1 + 0.00895 T + 0.00002 T) \text{ ohm cm.}$$

Donde: T es la temperatura en grados centígrados.

Otros investigadores (Reichenheim y Koeniberger) obtuvieron para el mismo mineral la siguiente relación.

$$RE = 0.00242 (1 + 0.00524 T) \text{ ohm cm.}$$

Las imperfecciones de la red cristalina de la galena, los defectos dentro del sólido, defectos superficiales y la variación de la estequiometría dan como resultado un comportamiento diferente de potencial químico sobre la superficie, posteriormente se encontró que esta irregularidad de potencial mediante el uso de un electrodo de microsonda, Plaksin y Shafer (8) encontraron que las fisuras, hoyos y huecos en la superficie presentan una tendencia a ser anódicos y los bordes unidos con las proyecciones tienden a ser catódicos.

2.13.- DEPRESIÓN DEL MINERAL DE GALENA.

La depresión de partículas de galena con sulfito ó ion cromato en la flotación con Xantato, ha sido investigado a partir de estudios de adsorción, difracción electrónica y por pruebas de flotación. En pruebas de flotación, la galena se deprime con ion sulfito utilizando galena oxidada: Con galena limpia, esto no ocurre. Algo similar sucede cuando se utiliza ion cromato para deprimir, con la excepción que el ion cromato deprime al mineral de galena al rededor de pH neutro. La depresión se logra con galena y cantidades apreciables de Xantato, esto indica que la depresión no es debida a la disminución de la adsorción de Xantato. En la superficie del mineral de galena se forma una película soluble bajo ciertas condiciones. Esta película fue identificada por difracción electrónica como sulfito de plomo y cromato de plomo en galena oxidada y como óxido de cromo en galena limpia. Estas observaciones en conjunto con la medida del ángulo de contacto, indican que la acción del depresor; sea sulfito ó ion cromato surge de la deposición de la película resultado de las reacciones entre el depresor y la superficie de la galena.

En otras fuentes, el mecanismo de depresión, la acción del cromato sobre la galena ha sido el propósito de varios investigadores, como son:

GAUDIN: Atribuye la depresión a la acción del cromato, a la formación de una película de cromato de plomo sobre la superficie de la galena, y que no es soluble en agua.

TAGGART: Nota que la cubierta de la galena con una multicapa de cromato de plomo es la responsable de la depresión del mineral de galena.

BOGDANOV: Reporta que la depresión de la galena por cromato no es por la disminución de la cantidad de colector pero si por la fuerte hidratación del ion cromato adsorbido sobre la superficie del mineral de galena, donde la hidrófobicidad del colector es vencida.

SUTHERLAND Y WARK: Presentan una visión crítica de flotación del cromato de plomo por xantato, y el ion de este dicromato actúa como pseudodepresante por xantato oxidado a dixantógeno.

Así, un claro entendimiento de los mecanismos de por que el mineral de galena es deprimida, todavía no están disponibles. En el presente estudio se emprenderá elucidar la acción del depresante (ion cromato de potasio) sobre el mineral de galena en pruebas de flotación en combinación con otras técnicas y proveer de información básica sobre la flotación de menas de sulfuros complejos (9), (10)

CAPÍTULO III

3.1.-EXPERIMENTACIÓN.

Con el objeto de obtener los efectos de la concentración de los reactivos colector y depresor, así como una mezcla de ambos en la recuperación o depresión del mineral de galena con diferentes leyes en cabeza a partir de estudios de potenciales de reposo, de flotación y de pruebas de flotación se presenta el tipo de estudio de pruebas de flotación bajo las siguientes tres etapas:

Primera etapa :	Galena KEX.
Segunda etapa :	Galena $K_2Cr_2O_7$.
Tercer etapa :	Galena KEX $K_2Cr_2O_7$

Condiciones generales de trabajo.

Caracterización y preparación del mineral de galena: Para realizar las pruebas de flotación y obtener las mediciones de potencial, fue necesario contar con un mineral de baja pureza y otro de alta , respectivamente.

El mineral de baja pureza fue caracterizado por análisis de absorción atómica, el cual presentó una ley promedio de 20% sólidos en peso. Con este mineral se prepararon muestras con tres leyes en cabeza las cuales fueron 0.5, 1.5 y 3% Pb, para su correspondiente uso en las pruebas por flotación.

Para las determinaciones de potenciales de reposo y de flotación, se utilizó el mineral de alta pureza el cual mostró un valor de 86.5% Pb

Preparación de soluciones: La solución reguladora que proporcionó el pH de flotación fue constituida por la mezcla de borato de sodio y ácido bórico, la cantidad de 2.896 y 0.615 g, respectivamente, aforando a 1000 ml con agua destilada, el valor de pH fue de 9.1 para todas las experimentaciones. El equipo de medición fue un pHmeter Corning modelo 125.

3.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL ELECTRODO DE GALENA

El electrodo de trabajo se construyó a partir del mineral de alta pureza antes mencionado, cortándolo con un disco de diamante. La conexión se logró por medio de alambre de cobre uniéndolo al mineral con pintura de grafito, facilitando de esta forma la conducción. Posteriormente el mineral fue colocado dentro de un molde, al cual se le agregó una resina no conductora de colada en frío, el área resultante y ha ser expuesta a los estudios fue de 1 cm^2 este sistema se muestra en la fig. 8.

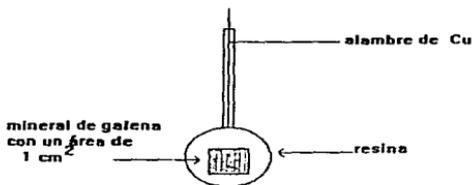


Figura 8. Electrodo de galena a utilizar.

Para obtener las mediciones de potenciales de reposo y de flotación se utilizó un electrodo de referencia de calomelanos saturado y un dispositivo adecuado para su operación dentro de la celda de flotación, como se observa en la fig. 9

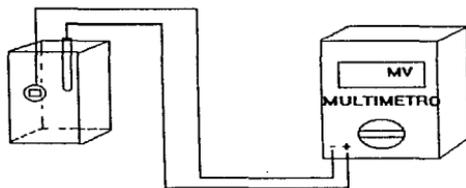


Figura 9. Dispositivo para medir potenciales.

Este dispositivo fue fabricado en el taller del Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Química, Edificio D de la U.N.A.M. El cual consta de una caja de acrílico con orificios en la parte inferior, por los cuales se introduce la solución que se encuentra en la celda de flotación, pero evitando que se introduzca el mineral que se encuentra en la pulpa, lo cual dañaría a los electrodos. En la parte superior se encuentran dos orificios por donde entran ambos electrodos, el de referencia y el de galena, adaptándose a la celda de flotación como lo indica la fig. 10.

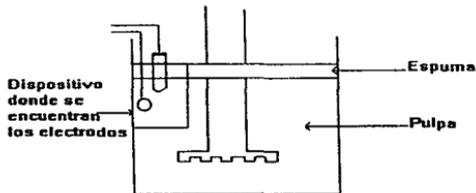


Figura 10. Dispositivo para medir el potencial de reposo y de flotación.

3.2.-DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REPOSO EN SOLUCIÓN BUFFER Y CON REACTIVOS.

Para medir el valor del potencial de reposo se procedió de la siguiente forma:

El electrodo de galena fue sumergido en la solución, la cual se encuentra en la celda de flotación con un volumen de 1200 ml , a su lado es colocado el electrodo de referencia y ambos electrodos son conectados eléctricamente a un multímetro el cual tendrá como función el de registrar los valores de potencial. Una vez determinado el potencial de reposo en el medio regulador, se procedió a adicionar el correspondiente reactivo sujeto a estudio. Posterior a esto, la solución era agitada durante un minuto con el inicio del registro de la medición..

3.3.-DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE FLOTACIÓN.

Para poder medir este potencial se utilizó el dispositivo que se muestra en la figura 9. Se efectuaba la adición del mineral dentro de la celda de flotación y se procedía a efectuar el acondicionamiento de éste con los reactivos en estudio. Con este diseño, como ya se mencionó, se evita la turbulencia y la fricción de las partículas con los electrodos. El electrodo simula el potencial de reposo que presentan las partículas de mineral de PbS dentro de la celda de flotación. El multímetro era conectado eléctricamente con las puntas de los electrodos y en el instante que se iniciaba la flotación, se registraban los valores de potencial de flotación.

Metodología para los estudios de medición de potenciales de reposo y flotación en los sistemas, Galena - KEX , Galena - $K_2Cr_2O_7$, Galena - KEX + $K_2Cr_2O_7$.

- a) Proveer a la celda de flotación Denver de todos los requerimientos. (Solución reguladora, Reactivos, Dispositivos eléctricos, etc.).
- b) Agregar la solución buffer al interior de la celda. (1200 ml).
- c) El electrodo de galena previamente lijado (con lija tamaño 600) y el electrodo de calomel se introducen al dispositivo, en donde se encuentra la solución buffer, se realiza las conexiones eléctricas entre los electrodos antes mencionados y el multímetro y se procede al registro de

potenciales de reposo. Estos registros son efectuados cuando los valores de potencial son constantes.

d) Se extraen los electrodos de la solución, se agrega el reactivo o reactivos en estudio previamente pesados en la balanza analítica.

e) La solución es agitada durante un minuto, con el objeto de homogenizar a la misma.

f) Ambos electrodos, previamente limpios, se introducen nuevamente a la celda (sin agitación) y se toma la lectura del potencial de reposo en la presencia del reactivo en estudio.

g) Se extraen los electrodos de trabajo y de referencia, se lija el electrodo de galena, y se incorporan al electrolito. Se agrega el mineral y se agita la pulpa durante 5 min (tiempo de acondicionamiento.).

h) Se incorporan a la pulpa 14 ml de espumante dejando la agitación durante un minuto más.

i) Se abre la válvula de aire y se procede a flotar el mineral con la correspondiente toma de muestras de concentrados a los tiempos de 20, 40, 60 y 480 seg., teniendo cuidado de mantener el nivel de espuma constante y realizando las lecturas de los potenciales en el tiempo preciso.

Condiciones Experimentales:

Todas las experimentaciones fueron llevadas a cabo con los siguientes parámetros base constantes (Tabla I). A continuación se presentan cada una de las condiciones de concentración de reactivos para cada sistema.

Tabla I Condiciones Base Operadas En Todos Los Estudios De Flotación

pH	9.1	9.1	9.1
Ley % Pb	0.5	1.5	3.0
Cantidad de mineral: gr.	300	300	300
Volumen de líquido: ml.	1200	1200	1200
Volumen de espumante: ml.	16	16	16
Velocidad de agitación: r.p.m.	1400	1400	1400
Tiempo de acondicionamiento con mineral: min.	5	5	5
Tiempo de acondicionamiento con espumante: min.	1	1	1.

3.4.-Sistema Galena - KEX.

Ley % Pb	0.5	1.5	3.0.
KEX (M.)	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}
KEX (M.)	6×10^{-4}	6×10^{-4}	6×10^{-4}
KEX (M.)	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}

3.5 Sistema Galena - $K_2Cr_2O_7$

Ley % Pb	0.5	1.5	3.0.
$K_2Cr_2O_7$ (M.)	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
$K_2Cr_2O_7$ (M.)	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}
$K_2Cr_2O_7$ (M.)	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}

3.6 Sistema Galena - KEX + $K_2Cr_2O_7$

Con los resultados obtenidos en las etapas anteriores, se realizó un examen minucioso de potenciales y de recuperación del mineral, para determinar cuáles son las concentraciones óptimas de reactivos utilizados para concentrar o deprimir al mineral.

Ley % Pb	0.5	1.5	3.0.
KEX + $K_2Cr_2O_7$ (M.)	$1 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-2}$
KEX + $K_2Cr_2O_7$ (M.)	$1 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-2}$
KEX + $K_2Cr_2O_7$ (M.)	$5 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-2}$

Reactivos Utilizados.

- KEX.
- $K_2Cr_2O_7$, reactivo analítico Baker.
- Ácido bórico, reactivo analítico, Baker.
- Borato de sodio, reactivo analítico, Baker.
- Agua destilada.
- Mineral de galena 20% sol wt. puro.
- Espumante HERCOMIN A - 030.

Equipo utilizado para medir potenciales de reposo y de flotación.

- pHmetro Corning modelo 125.
- Balanza analítica. Modelo Sartorius BP 310 P
- Pintura de grafito.
- Cortadora de disco de diamante.
- Resina no conductora.
- Vasos de precipitado de 250 ml.
- Electrodo de referencia de calomel.
- Multímetro. Modelo ME - 530.
- Probetas de 1000 y 100 ml.
- Celda de flotación de laboratorio, Denver modelo D - 12 Lab.

CAPÍTULO IV

4.0.- RESULTADOS

Y

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados de la acción del colector (KEX), depresor ($K_2Cr_2O_7$), y mezcla de ambos en la recuperación o depresión de PbS, se presentan de la siguiente forma:

A) POTENCIALES DE REPOSO Y FLOTACIÓN.

RECUPERACIÓN Y LEY DE MINERAL A TRAVÉS DEL BALANCE METALÚRGICO Y CINÉTICA DE FLOTACIÓN.

B)CORRELACIÓN DE POTENCIALES DE REPOSO, FLOTACIÓN, % Pb EN CONCENTRADOS , % REC. AC. EN BASE A %PbS EN CABEZA.

Donde:

CON20 = Concentrado a un tiempo de 20 seg.

CON40 = Concentrado a un tiempo de 40 seg.

CON60 = Concentrado a un tiempo de 60 seg.

CON480= Concentrado a un tiempo de 480 seg.

CONC.TOT. = Concentrado total

A) Potenciales de reposo y flotación.

Recuperación y ley de mineral a través del Balance metalúrgico y Cinética de flotación.

4.1 EFECTO DEL COLECTOR (KEX) , 0.5% PbS.

EFECTO DEL COLECTOR KEX		
LEY 0.5% Pb		
POTENCIALES DE REPOSO (PR) Y DE FLOTACIÓN (PF) en mV vs		
CONCENTRACION. (M.)	PR	PF
1×10^{-4}	-101,2	-100,6
6×10^{-4}	-150,7	-157,5
1×10^{-3}	-166,8	-164,4

Tabla 1. Potenciales de reposo y flotación, con base en la concentración del colector.

BALANCE METALÚRGICO						
PbS-KEX = $1E-4$						
0.5% PbS, pH= 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0.73	0.25	80.59	0.59	49.06	49.06
CONC40	0.09	0.03	68.47	0.06	5.06	54.12
CONC60	0.27	0.09	37.02	0.10	8.27	62.39
CONC480	0.35	0.12	35.79	0.12	10.35	72.74
COLAS	293.10	99.51	0.11	0.33	27.26	100
ALIMENT.	294.54	100	0.41	1.20	100	
CONC.TOT.	1.44	0.49	60.82	0.88	72.74	

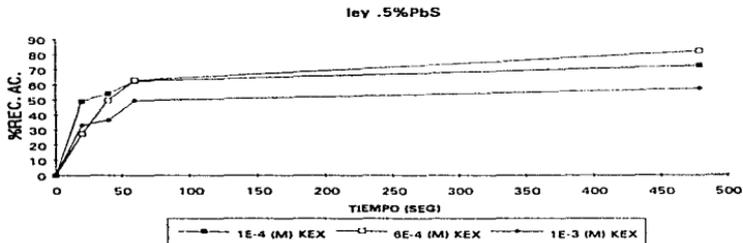
Tabla 2. Balance metalúrgico de 0.5% PbS-KEX 1×10^{-4} M.

PbS-KEX = 6×10^{-4}						
0.5% PbS, pH= 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	0.83	0.28	39.22	0.33	27.52	27.52
CONC40	0.39	0.13	67.46	0.26	22.27	49.79
CONC60	0.25	0.09	62.65	0.16	13.26	63.05
CONC480	0.44	0.15	51.77	0.23	19.33	82.38
COLAS	289.1	99.34	0.07	0.21	17.62	100
ALIMENT.	291.01	100	0.41	1.18	100	
CONC.TOT.	1.91	0.66	50.95	0.97	82.38	

Tabla 3. Balance metalúrgico de 0.5% PbS-KEX 6×10^{-4} M.

PbS-KEX= 1×10^{-11}						
0.5% PbS, pH = 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0.96	0.32	41.33	0.40	33.19	33.19
CONC40	0.07	0.02	56.88	0.04	3.20	36.39
CONC60	0.39	0.13	40.64	0.16	13.25	49.64
CONC480	0.47	0.16	20.42	0.1	8.00	57.64
COLAS	293.76	99.36	0.17	0.51	42.36	100
ALIMENT.	295.64	100	0.40	1.19	100	
CONC.TOT	1.88	0.64	36.55	0.69	57.64	

Tabla 4. Balance metalúrgico de 0.5% PbS-KEX 1×10^{-11} M



Gráfica I. Cinética de flotación, % Rec. Ac. Vs Tiempo, con 1×10^{-4} , 6×10^{-4} , 1×10^{-3} de KEX y 0.5% PbS.

4.2.-EFECTO DEL COLECTOR, 1.5% PbS.

EFECTO DEL COLECTOR (KEX)		
%LEY 1.5% Pb		
POTENCIALES DE REPOSO(PR) Y DE FLOTACIÓN(PF) en mV vs SCE		
CONCENTRACION	PR	PF
1×10^{-4}	-103.8	-114.8
6×10^{-4}	-153.4	-159.1
1×10^{-3}	-155.7	-162.3

Tabla 5. Potenciales de reposo y flotación, con base a la concentración del colector

BALANCE METALÚRGICO						
KEX=1x10 ⁻⁴						
1.5% PbS. pH= 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	1.48	0.51	80.31	1.19	30.36	30.36
CONC40	0.51	0.17	62.03	0.31	8.00	38.36
CONC60	0.30	0.10	75.21	0.23	5.77	44.13
CONC480	1.80	0.62	70.76	1.27	32.40	76.53
COLAS	287.76	98.60	0.32	0.92	23.47	100
ALIMENT.	291.85	100	1.34	3.92	100	
CONC.TOT	4.09	1.40	73.48	3.00	76.53	

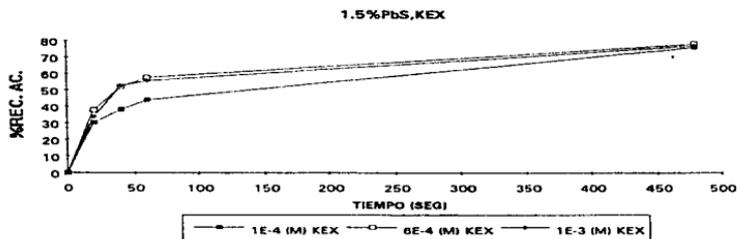
Tabla 6. Balance metalúrgico de 1.5% PbS-KEX 1x10⁻⁴ M.

KEX=6x10 ⁻⁴						
1.5% PbS. pH= 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	2.59	0.89	55.77	1.45	37.84	37.84
CONC40	0.77	0.27	70.71	0.55	14.28	52.12
CONC60	0.29	0.10	70.26	0.21	5.40	57.52
CONC480	1.19	0.41	67.21	0.80	20.90	78.43
COLAS	285.32	98.33	0.29	0.82	21.57	100
ALIMENT.	290.17	100	1.32	3.82	100	
CONC.TOT	4.85	1.67	61.83	3.00	78.43	

Tabla 7. Balance metalúrgico de 1.5% PbS-KEX 6x10⁻⁴ M.

KEX=1x10 ⁻³						
1.5% PbS. pH= 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	2.58	0.88	52.22	1.35	33.84	33.84
CONC40	1.00	0.34	75.23	0.75	18.89	52.73
CONC60	0.18	0.06	66.02	0.12	2.97	55.70
CONC480	1.29	0.44	67.01	0.86	21.70	77.40
COLAS	288.15	98.28	0.31	0.90	22.60	100
ALIMENT.	293.200	100	1.36	3.99	100	
CONC.TOT	5.04	1.72	61.04	3.08	77.40	

Tabla 8. Balance metalúrgico de 1.5% PbS-KEX 1x10⁻³ M.



Gráfica 2. Cinética de flotación, % Rec. Ac. Vs Tiempo, con 1×10^{-4} , 6×10^{-4} , 1×10^{-3} M de KEX, 1.5% PbS.

4.3 EFECTO DEL COLECTOR (KEX) , 3% PbS.

EFECTO DEL COLECTOR (KEX)			
%LEY 3% PbS			
POTENCIALES DE REPOSO(PR) Y DE FLOTACION(PF) en mV vs SCE...			
CONC.	PR	PF	
1×10^{-4}	-107.3	-110.7	
6×10^{-4}	-148.7	-153.8	
1×10^{-3}	-160.1	-165.6	

Tabla 9. Potenciales de reposo y flotación, con base en la concentración del colector.

BALANCES METALÚRGICOS.

KEX = 1×10^{-4}						
LEY 3%PbS, pH= 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	5.08	1.76	75.22	3.82	49.18	49.18
CONC40	0.60	0.21	81.76	0.49	6.33	55.55
CONC60	0.21	0.07	75.52	0.16	2.02	57.53
CONC480	2.84	0.98	70.68	2.01	25.81	83.34
COLAS	280.37	96.98	0.46	1.30	16.66	100
ALIMENT.	289.1	100	2.69	7.77	100	
CONC.TOT	8.73	3.02	74.20	6.48	83.34	

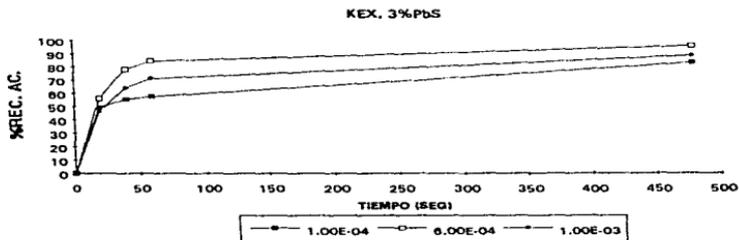
Tabla 10. Balance metalúrgico de 3% PbS-KEX 1×10^{-4} M.

KEX=6x10 ⁻⁴ 3% PbS, pH = 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	5.79	2.00	77.43	4.48	56.06	56.06
CONC40	2.38	0.82	74.27	1.76	22.07	78.13
CONC60	0.64	0.22	78.74	0.50	6.30	84.42
CONC480	1.32	0.46	69.40	0.92	11.48	95.91
COLAS	279.68	96.51	0.12	0.33	4.09	100
ALIMENT.	289.80	100	2.76	7.99	100	
CONC.TOT	10.12	3.49	75.72	7.66	95.91	

Tabla 11. Balance metalúrgico de 3% PbS-KEX 6x10⁻⁴ M.

KEX= 1x10 ⁻³ 3% PbS, pH = 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	5.10	1.76	73.06	3.73	46.35	46.35
CONC40	1.65	0.57	86.62	1.43	17.76	64.12
CONC60	0.74	0.26	77.62	0.58	7.19	71.30
CONC480	2.20	0.76	63.60	1.40	17.39	88.70
COLAS	279.52	96.65	0.33	0.91	11.30	100
ALIMENT.	289.21	100	2.78	8.04	100	
CONC.TOT	9.69	3.35	73.57	7.13	88.70	

Tabla 12. Balance metalúrgico de 3% PbS-KEX 1x10⁻³ M.



Gráfica 3. Cinética de flotación, % Rec. Ac. Vs Tiempo, con 1x10⁻⁴, 6x10⁻⁴, 1x10⁻³ (M) de KEX, 3% PbS.

4.4 EFECTO DEL DEPRESOR ($K_2Cr_2O_7$), 0.5 % PbS.

EFECTO DEL DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$) 0.5% PbS.		
POTENCIALES DE REPOSO (PR) Y DE FLOTACIÓN(PF) en mV vs SCE		
CONC.	PR	PF
1×10^{-2}	-43.3	-49.1
1×10^{-4}	-37.5	-35.8
1×10^{-3}	-29.8	-30.8

Tabla 13. Potenciales de reposo y flotación, con base en la concentración del depresor.

BALANCES METALÚRGICOS.

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1×10^{-3} 0.5% PbS, pH= 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0.05	0.02	6.06	0.00	0.21	0.21
CONC40	0	0	0	0	0	0.21
CONC60	0	0	0	0	0	0.21
CONC480	0	0	0	0	0	0.21
COLAS	294.61	99.98	0.52	1.54	99.79	100
ALIMENT	294.66	100	0.53	1.55	100	
CONC.TOT	0.05	0.02	6.06	0.00	0.21	

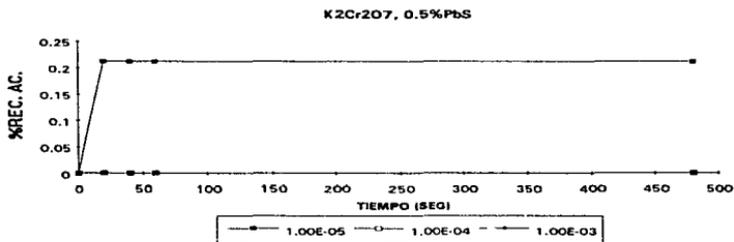
Tabla 14. Balance metalúrgico de 0.5% PbS en cabeza-K₂Cr₂O₇, 1×10^{-3} M

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1×10^{-4} 0.5% PbS, pH= 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0	0	0	0	0	0
CONC40	0	0	0	0	0	0
CONC60	0	0	0	0	0	0
CONC480	0	0	0	0	0	0
COLAS	297.81	100	0.37	1.10	100	100
ALIMENT	297.81	100	0.37	1.10	100	
CONC.TOT	0	0	0	0	0	

Tabla 15. Balance metalúrgico de 0.5% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, 1×10^{-4} M

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1x10 ⁻³ 0.5% PbS pH=9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	0	0	0	0	0	0
CONC40	0	0	0	0	0	0
CONC60	0	0	0	0	0	0
CONC480	0	0	0	0	0	0
COLAS	296.84	100	0.37	1.10	100	100
ALIMENT.	296.84	100	0.37	1.10	100	100
CONC.TOT.	0	0	0	0	0	0

Tabla 16. Balance metalúrgico de 0.5% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, 1x10⁻³ M



Gráfica 4. Cinética de flotación, %Rec. Ac. Vs Tiempo, con 1x10⁻⁵, 1x10⁻⁴, 1x10⁻³, de dicromato de potasio, 0.5% PbS en cabeza.

4.5 EFECTO DEL DEPRESOR (K₂Cr₂O₇), 1.5% PbS.

POTENCIALES DE REPOSO (PR) Y DE FLOTACIÓN (PF) en mV vs SCE 1.5% 1 _{cy} PbS		
EFECTO DEL DICROMATO (K ₂ Cr ₂ O ₇)		
CONC.	PR	PF
1.00E-05	-40.6	-51.8
1.00E-04	-30.2	-36.3
1.00E-03	-28.7	-30.1

Tabla 17. Potenciales de reposo y flotación, con base en la concentración del depresor.

BALANCES METALÚRGICOS.

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1x10 ⁻⁵ 1.5% PbS, pH=9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0.04	0.01	1.06	0.000	0.01	0.01
CONC40	0	0	0	0	0	0.01
CONC60	0	0	0	0	0	0.01
CONC480	0	0	0	0	0	0.01
COLAS	290.37	99.99	1.41	4.09	99.99	100
ALIMENT.	290.41	100	1.41	4.09	100	
CONC.TOT.	0.04	0.01	1.06	0.00	0.01	

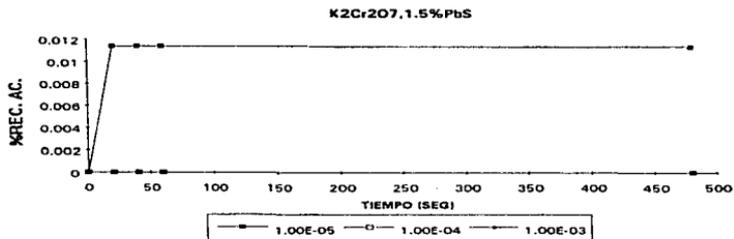
Tabla 18. Balance metalúrgico de 1.5% en cabeza PbS-K₂Cr₂O₇, 1x10⁻⁵ M.

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1x10 ⁻⁴ 1.5% PbS, PH=9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	0	0	0	0	0	0
CONC40	0	0	0	0	0	0
CONC60	0	0	0	0	0	0
CONC480	0	0	0	0	0	0
COLAS	287.2	100	1.53	4.38	100	100
ALIMENT.	287.2	100	1.53	4.38	100	
CONC.TOT	0	0	0	0	0	

Tabla 19. Balance metalúrgico de 1.5% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, 1x10⁻⁴ M.

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1x10 ⁻³ 1.5% PbS, pH=9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0	0	0	0	0	0
CONC40	0	0	0	0	0	0
CONC60	0	0	0	0	0	0
CONC480	0	0	0	0	0	0
COLAS	290.78	100	1.52	4.62	100	100
ALIMENT.	290.78	100	1.52	4.62	100	
CONC.TOT	0	0	0	0	0	

Tabla 20. Balance metalúrgico de 1.5% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, 1x10⁻³ M



Gráfica 5. Cinética de flotación, % Rec. Ac. Vs Tiempo, con 1×10^{-5} , 1×10^{-4} , 1×10^{-3} M de dicromato de potasio.

4.6 EFECTO DEL DEPRESOR (K₂Cr₂O₇), 3% PbS.

POTENCIALES DE REPOSO(PR) Y DE FLOTACIÓN(PF) en mV vs SCE		
LEY 3% PbS		
EFECTO DEL DICROMATO (K ₂ Cr ₂ O ₇)		
CONC	PR	PF
1×10^{-5}	-40.1	-49.2
1×10^{-4}	-32.8	-38.8
1×10^{-3}	-25.7	-28.7

Tabla 21. Potenciales de reposo y flotación, con base en la concentración del depresor.

BALANCE METALÚRGICO.

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1×10^{-5}						
3% PbS, pH = 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0.51	0.17	50.08	0.25	2.97	2.97
CONC40	0	0	0	0	0	2.97
CONC60	0	0	0	0	0	2.97
CONC80	0	0	0	0	0	2.97
COLAS	289.7	99.82	2.87	8.31	97.03	100
ALIMENT.	290.21	100	2.95	8.56	100	
CONC.TOT	0.51	0.17	50.08	0.25	2.97	

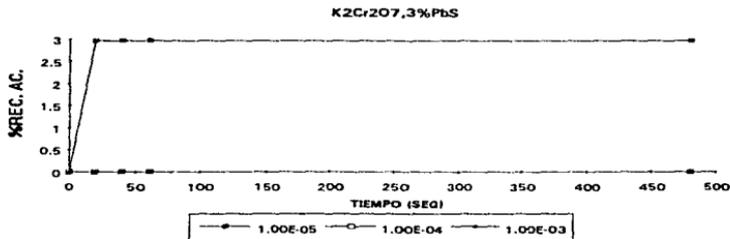
Tabla 22. Balance metalúrgico de 3% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, 1×10^{-5} M

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1x10 ⁻⁴ 3% PbS, pH = 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	0	0	0	0	0	0
CONC40	0	0	0	0	0	0
CONC60	0	0	0	0	0	0
CONC480	0	0	0	0	0	0
COLAS	291.61	100	3.18	9.27	100	100
ALIMENT.	291.61	100	3.18	9.27	100	100
CONC.TOT	0	0	0	0	0	0

Tabla 23. Balance metalúrgico de 3% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, 1x10⁻⁴ M.

K ₂ Cr ₂ O ₇ = 1x10 ⁻³ 3% PbS, pH = 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	0	0	0	0	0	0
CONC40	0	0	0	0	0	0
CONC60	0	0	0	0	0	0
CONC480	0	0	0	0	0	0
COLAS	290.15	100	3.21	9.32	100	100
ALIMENT.	290.15	100	3.21	9.32	100	100
CONC.TOT	0	0	0	0	0	0

Tabla 24. Balance metalúrgico de 3% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, 1x10⁻³ M.



Gráfica 6. Cinética de flotación, %Rec. Ac. Vs Tiempo, con 1x10⁻⁵, 1x10⁻⁴, 1x10⁻³ (M) de dicromato de potasio, 3% PbS en cabeza.

4.7 EFECTO DE MEZCLA, 0.5% PbS

POTENCIALES DE REPOSO(PR) Y DE FLOTACION(PF)		
0.5% PbS		
EFECTO DE KEX Y $K_2Cr_2O_7$		
CONC.	PR.	PF.
$K_2Cr_2O_7 + KEX$		
$1E-2+5E-5$	108.1	101.7
$1E-2+1E-4$	97.8	92.7
$1E-2+1E-3$	76.2	74.7

Tabla 25. Potenciales de reposo y flotación, con base en la concentración del depresor y colector.

BALANCES METALÚRGICOS.

$K_2Cr_2O_7 + KEX = 1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-5}$						
0.5% PbS, pH=9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	0	0	0	0	0	0
CONC40	0	0	0	0	0	0
CONC60	0	0	0	0	0	0
CONC480	0	0	0	0	0	0
COLAS	289.87	100	0.44	1.27	100	100
ALIMENT.	289.87	100	0.44	1.27	100	
CONC.TOT	0	0	0	0	0	

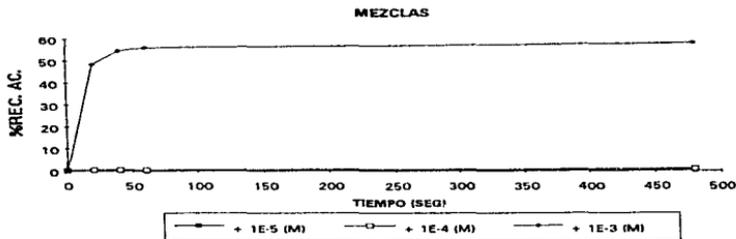
Tabla 26. Balance metalúrgico de 0.5% PbS en cabeza $-K_2Cr_2O_7$, $-KEX 1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-5} M$, respectivamente.

$K_2Cr_2O_7 + KEX = 1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$						
0.5% PbS, pH=9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0.10	0.04	6.43	0.01	0.39	0.39
CONC40	0.02	0.01	12.54	0.00	0.14	0.53
CONC60	0.01	0.00	10.63	0.00	0.06	0.58
CONC480	0.05	0.02	6.88	0.00	0.18	0.76
COLAS	290.45	99.94	0.58	1.70	99.24	100
ALIMENT.	290.63	100	0.59	1.71	100	
CONC.TOT	0.18	0.06	7.42	0.01	0.76	

Tabla 27. Balance metalúrgico de 0.5% PbS en cabeza $-K_2Cr_2O_7$, $-KEX 1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4} M$, respectivamente

K ₂ Cr ₂ O ₇ +KEX = 1x10 ⁻² +1x10 ⁻³ 0.5% PbS, pH=9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	1.17	0.40	68.73	0.81	48.32	48.32
CONC40	0.17	0.06	61.02	0.10	6.26	54.58
CONC60	0.05	0.02	58.82	0.03	1.59	56.17
CONC480	0.11	0.04	30.96	0.03	1.97	58.13
COLAS	289.60	99.49	0.24	0.70	41.87	100
ALIMENT.	291.10	100	0.57	1.67	100	
CONC.TOT	1.49	0.51	64.87	0.97	58.13	

Tabla 28. Balance metalúrgico de 0.5% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, -KEX 1x10⁻² + 1x10⁻³ M, respectivamente.



Gráfica 7. Cinética de flotación, % Rec. Ac. Vs Tiempo, con una mezcla de 1x10⁻² + 5x10⁻⁵, 1x10⁻² + 1x10⁻⁴, 1x10⁻² + 1x10⁻³, de dicromato y Xantato, respectivamente.

4.8 EFECTO DE MEZCLAS, 1.5% PbS.

POTENCIALES DE REPOSO(PR) Y DE FLOTACIÓN(PF) en mV vs SCE LEY 1.5%PbS, pH=9.1 EFECTO DEL COLECTOR Y DEPRESOR (KEX + K ₂ Cr ₂ O ₇)		
CONC.	PR	PF
K ₂ Cr ₂ O ₇ +KEX		
1x10 ⁻² +5x10 ⁻³	105.7	100.8
1x10 ⁻² +1x10 ⁻⁴	96.6	93.4
1x10 ⁻² +1x10 ⁻³	71.3	72.5.7

Tabla 29. Potenciales de reposo y flotación, con base en la concentración del depresor y colector.

BALANCE METALÚRGICO.

K ₂ Cr ₂ O ₇ +KEX = 1x10 ⁻² + 5x10 ⁻⁵						
LEY 1.5%PbS, pH= 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	0.22	0.08	13.14	0.02	0.67	0.67
CONC40	0.02	0.01	22.31	0.00	0.11	0.77
CONC60	0.01	0.00	5.46	0.00	0.01	0.78
CONC480	0.01	0.00	95.30	0.01	0.17	0.95
COLAS	290.68	99.91	1.51	4.38	99.05	100
ALIMENT.	290.94	100	1.52	4.42	100	
CONC.TOT	0.26	0.09	16.28	0.04	0.95	

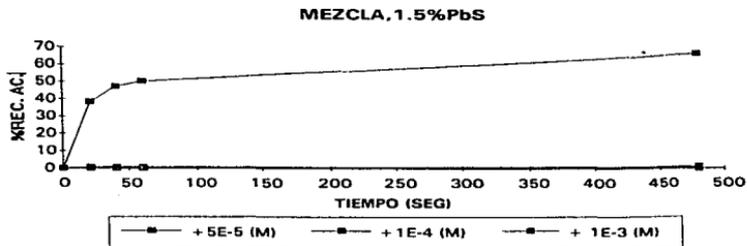
Tabla30. Balance metalúrgico de 1.5% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, -KEX 1x10⁻² + 5x10⁻⁵ M, respectivamente.

K ₂ Cr ₂ O ₇ + KEX = 1x10 ⁻² + 1x10 ⁻⁴						
1.5% PbS, pH= 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0.11	0.04	8.79	0.01	0.22	0.22
CONC40	0.02	0.01	9.09	0.00	0.04	0.25
CONC60	0.01	0.00	7.27	0.00	0.01	0.26
CONC480	0.22	0.07	0.84	0.00	0.04	0.31
COLAS	287.97	99.88	1.52	4.37	99.69	100
ALIMENT.	288.32	100	1.52	4.38	100	
CONC.TOT	0.35	0.12	3.85	0.01	0.31	

Tabla 31. Balance metalúrgico de 1.5% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, -KEX 1x10⁻² + 1x10⁻⁴ M, respectivamente.

PbS-K ₂ Cr ₂ O ₇ + KEX = 1x10 ⁻² + 1x10 ⁻³						
1.5% PbS, pH= 9.1						
PRODUCT	PESO	% PESO	%Pb	C.M	% REC.	% REC. AC.
CONC20	2.34	0.81	71.68	1.68	38.12	38.12
CONC40	0.56	0.19	71.03	0.40	9.06	47.17
CONC60	0.22	0.08	60.29	0.13	3.05	50.22
CONC480	1.57	0.54	44.84	0.70	15.98	66.20
COLAS	285.41	98.38	0.522	1.49	33.80	100
ALIMENT.	290.11	100	1.52	4.41	100	
CONC.TOT	4.7	1.62	62.09	2.92	66.20	

Tabla 32. Balance metalúrgico de 1.5% PbS en cabeza -K₂Cr₂O₇, -KEX 1x10⁻² + 1x10⁻³ M, respectivamente.



Gráfica 8. Cinética de flotación, % Rec. Ac. Vs Tiempo, con $1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-3}$, $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$, $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3}$ (M) de dicromato de potasio y Xantato, respectivamente, 1.5% PbS en cabeza.

4.9 EFECTO DE MEZCLAS, 3% PbS.

POTENCIALES DE REPOSO (PR) Y DE FLOTACIÓN (PF) en mV vs SCE		
3.0% Ley PbS		
EFECTO DEL COLECTOR Y DEPRESOR (KEX + $K_2Cr_2O_7$)		
CONC.	PR	PF
$K_2Cr_2O_7 + KEX$		
$1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-3}$	106.1	102.7
$1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$	98.2	92.3
$1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3}$	72.22	71.1

Tabla 33. Potenciales de reposo y flotación, con base en la concentración del depresor y colector.

$K_2Cr_2O_7 + KEX = 1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-5}$						
LEY 3% PbS, pH = 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	% Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	0.06	0.02	17.54	0.01	0.12	0.12
CONC40	0.19	0.07	30.33	0.06	0.64	0.77
CONC60	0	0	0	0	0	0.77
CONC480	0	0	0	0	0	0.77
COLAS	289.97	99.91	3.13	9.08	99.23	100
ALIMENT.	290.23	100	3.15	9.15	100	
CONC.TOT.	0.26	0.09	27.16	0.07	0.77	

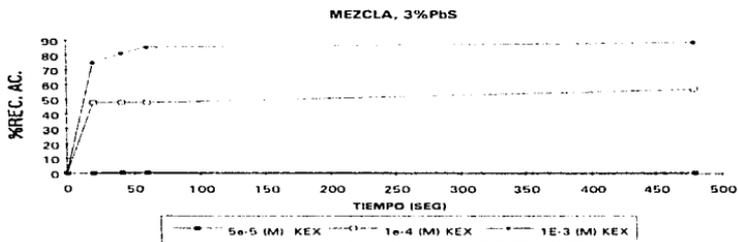
Tabla 34. Balance metalúrgico de 3% PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7$, -KEX $1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-5}$ M, respectivamente.

$K_2Cr_2O_7 + KEX = 1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$						
LEY 3% PbS, pH = 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	% Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	5.68	1.96	78.93	4.48	47.85	47.85
CONC40	1.16	0.40	2.71	0.03	0.33	48.19
CONC60	0.41	0.14	0.03	0.00	0.00	48.19
CONC480	1.65	0.57	52.43	0.87	9.26	57.45
COLAS	281.30	96.91	1.42	3.99	42.5	100
ALIMENT.	280.20	100	3.22	9.37	100	
CONC.TOT.	8.90	3.07	60.48	5.38	57.45	

Tabla 35. Balance metalúrgico de 3% PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7$, -KEX $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$ M, respectivamente.

$K_2Cr_2O_7 + KEX = 1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3}$						
LEY 3% PbS, pH = 9.1						
PRODUCTO	PESO	% PESO	% Pb	C.M	% REC.	% REC.
CONC20	7.75	2.66	81.54	6.32	74.70	74.70
CONC40	0.82	0.28	68.95	0.56	6.65	81.36
CONC60	0.46	0.16	76.64	0.35	4.15	85.51
CONC480	0.84	0.29	39.32	0.33	3.91	89.42
COLAS	281.30	96.61	0.32	0.89	10.58	100
ALIMENT.	291.16	100	2.90	8.46	100	
CONC.TOT.	9.86	3.39	76.67	7.56	89.42	

Tabla 36 Balance metalúrgico de 3% PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7$, -KEX $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3}$ M, respectivamente.



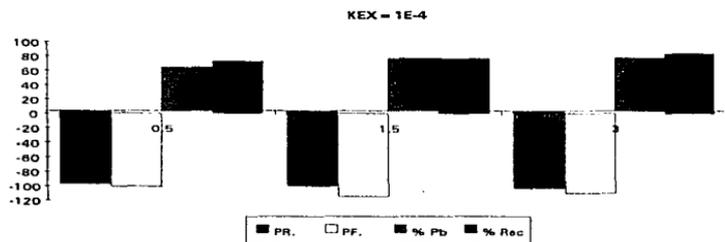
Gráfica 9. Cinética de flotación, %Rec. Ac. Vs Tiempo, con $1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-3}$, $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$, $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3}$, de dicromato de potasio y Xantato, respectivamente, 3% PbS en cabeza.

B)

4.10 CORRELACIÓN DE POTENCIALES DE REPOSO, FLOTACIÓN, %Pb, Y % REC. AC. BASE % PbS EN CABEZAS.

Colector KEX= 1×10^{-4} , pH= 9.1				
%LEY %PbS	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
0.5	-101.2	-100.6	60.82	72.74
1.5	-103.8	-114.8	73.48	76.53
3	-107.3	-110.7	74.20	83.34

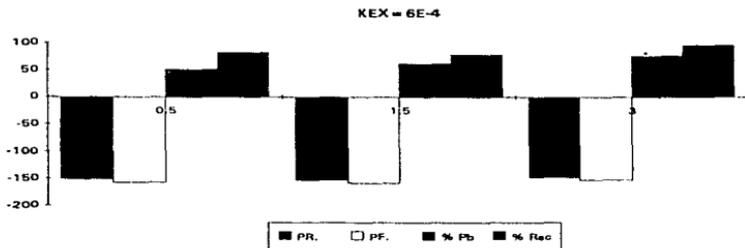
Tabla 37. Correlación de potenciales de reposo, flotación, %Pb, %Rec. Ac. con base al %PbS en cabeza- KEX= 1×10^{-4} M.



Gráfica 10. Efecto del colector en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac., con diferentes % PbS en cabeza, concentración 1×10^{-4} (M.)

KEX=6E-4, pH=9.1				
%LEY	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
0.5	-150.7	-157.5	50.95	82.38
1.5	-153.4	-159.1	61.83	78.4293253
3	-148.7	-153.8	75.72	95.91

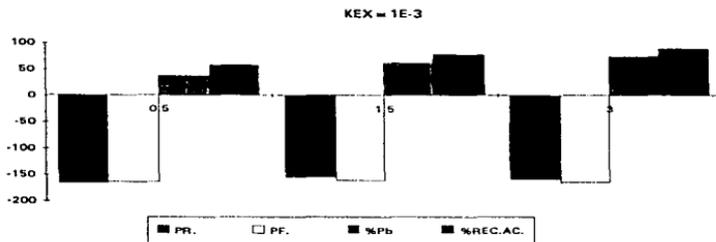
Tabla 38. Correlación de potenciales de reposo, flotación, %Pb,%Rec. Ac. con base al %PbS en cabeza - KEX= 6×10^{-4} M.



Gráfica 11. Efecto del colector en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac. A diferentes % PbS en cabeza ,concentración $6 \times 10^{-4} M$.

KEX = 1×10^{-3} , pH = 9.1				
%LEV	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
0.5	-166.8	-164.4	36.55	57.64
1.5	-155.7	-162.3	61.04	77.40
3	-160.1	-165.6	73.57	88.70

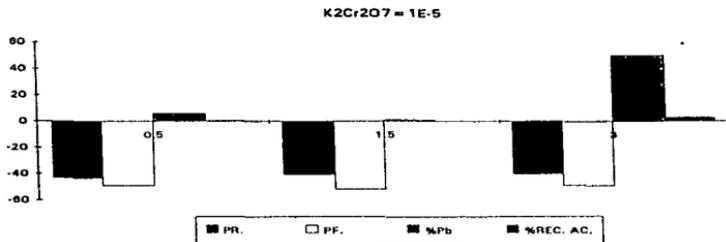
Tabla 39. Correlación de potenciales de reposo , flotación, %Pb,%Rec. Ac.con base al %PbS en cabeza - KEX = $1 \times 10^{-3} M$.



Gráfica 12. Efecto del colector en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac. A diferentes % PbS en cabeza, concentración $1 \times 10^{-3} M$.

Depresor $K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-3}$, pH = 9.1				
% LEY	PR	PF	% Pb	% REC. AC.
0.5	-43.3	-49.1	6.06	0.21
1.5	-40.6	-51.8	1.06	0.010
3	-40.1	-49.2	50.08	2.97

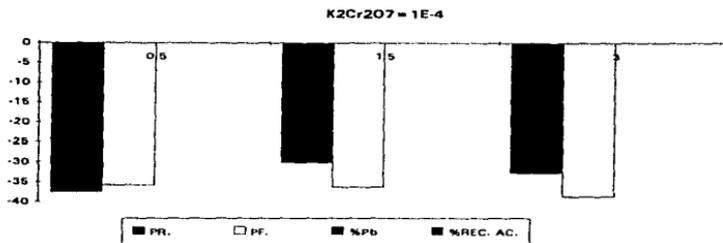
Tabla 40. Correlación de potenciales de reposo, flotación, %Pb, %Rec. Ac. con base al %PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-3} M$.



Gráfica 13. Efecto del depresor en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac. A diferentes % PbS en cabeza, concentración 1×10^{-5} M.

$K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-4}$, pH = 9.1				
%LEY	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
0.5	-37.5	-35.8	0	0
1.5	-30.2	-36.3	0	0
3	-32.8	-38.8	0	0

Tabla 41. Correlación de potenciales de reposo, flotación, %Pb, %Rec. Ac. co base al %PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-4}$ M.

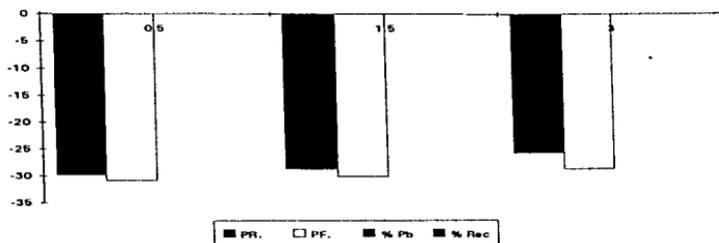


Gráfica 14. Efecto del depresor en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac. A diferentes % PbS en cabeza, concentración 1×10^{-4} (M).

$K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-3}$, pH = 9.1

%LEY	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
0.5	-29.8	-30.8	0	0
1.5	-28.7	-30.1	0	0
3	-25.7	-28.7	0	0

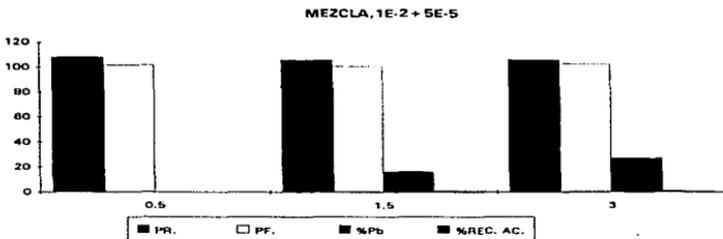
Tabla 42. Correlación de potenciales de reposo, flotación, %Pb, %Rec. Ac. con base al %PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-3}$ M.



Gráfica 15. Efecto del depresor en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac. A diferentes % PbS en cabeza, concentración 1×10^{-3} (M).

MEZCLA DEPRESOR + COLECTOR				
$K_2Cr_2O_7 + KEX$		$1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-5}$, pH= 9.1		
% LEY	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
0.5	108.1	101.7	0	0
1.5	105.7	100.8	16.28	0.95
3	106.1	102.7	27.16	0.77

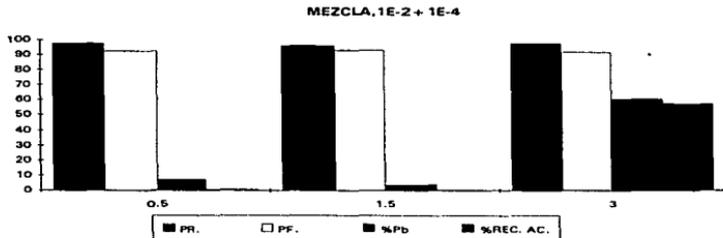
Tabla 43. Correlación de potenciales de reposo, flotación, %Pb, %Rec. Ac. con base al %PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-2}$ M + $KEX = 5 \times 10^{-5}$ M.



Gráfica 16. Efecto del mezcla en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac. A diferentes % PbS en cabeza, concentración $1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-5}$ (M).

$K_2Cr_2O_7 + KEX, pH = 9.1$				
$1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$				
%LEY	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
0.5	97.8	92.7	7.42	0.76
1.5	96.6	93.4	3.84	0.31
3	98.2	92.3	60.48	57.45

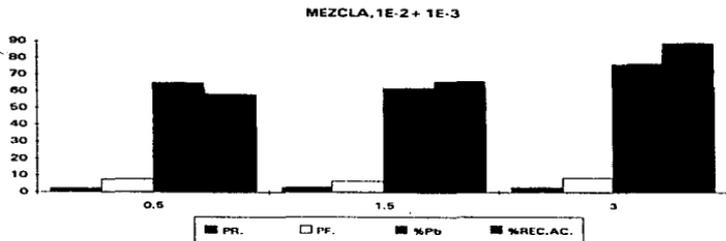
Tabla 44. Correlación de potenciales de reposo, flotación, %Pb, %Rec. Ac. con base al %PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-2}$ M + $KEX = 1 \times 10^{-4}$ M.



Gráfica 17. Efecto del mezcla en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac. A diferentes % PbS en cabeza, concentración $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$ (M).

$K_2Cr_2O_7 + KEX$				
$1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3}$				
%LEY	PR	PF	%Pb	%REC.AC.
0.5	76.2	74.7	64.87	58.13
1.5	71.3	72.5	62.09	66.20
3	72.2	71.1	76.67	89.42

Tabla 45. Correlación de potenciales de reposo, flotación, %Pb, %Rec. Ac. con base al %PbS en cabeza - $K_2Cr_2O_7 = 1 \times 10^{-2}$ M + $KEX = 1 \times 10^{-3}$ M.



Gráfica 18. Efecto del mezcla en el análisis de potenciales de reposo, flotación, % Pb, % Rec. Ac. A diferentes % PbS en cabeza, concentración $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3}$ (M).

4.11 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

• A) POTENCIALES DE REPOSO Y FLOTACIÓN.

RECUPERACIÓN Y LEY A TRAVÉS DEL BALANCE METALÚRGICO Y CINÉTICA DE REACCIÓN.

4.11.1 MEDICIÓN DE POTENCIAL DE REPOSO

Al adicionar y disolver el colector (KEX) en la solución, se observó que, el potencial de reposo se desplazó hacia valores negativos, cuando se incrementó la concentración de colector (KEX). El valor del potencial es proporcional a la concentración de reactivo, esto implica que a medida que se aumenta la concentración, el potencial es más negativo (las partículas de mineral se activan), esto es una consecuencia de la probable formación de multicapas formadas de xantato de plomo.⁽¹²⁾ La variación de potencial de reposo es baja teniendo valores

promedio de -104.1 mV para 1×10^{-4} (M), -150.9 mV, para 6×10^{-4} (M), y -160.8 mV para 1×10^{-3} (M).

Cuando se realizó la misma operación con el depresor ($K_2Cr_2O_7$), se observó una acción contraria a la del colector, esto es debido a la polarización (pasivación) que provoca el depresor en la superficie del mineral, adquiriendo una mayor humectación del sólido mineral. La variación de potencial de reposo es baja teniendo valores promedio de $K_2Cr_2O_7 = -41.3$ mV para 1×10^{-5} (M), -33.5 mV para 1×10^{-4} (M), y -28.1 mV para 1×10^{-3} (M).

Para el dicromato y xantato dentro del mismo sistema, el potencial depende en gran medida en la secuencia de la adición de los reactivos. En este caso en particular se adicionó primero el depresor el cual proporcionó una acción limpiadora en la superficie del mineral provocando una mayor adsorción de colector en la superficie del mineral y una mayor activación, sin embargo, el valor del potencial predominante en el sistema fue el del reactivo que se adicionó con mayor concentración..

4.11.2 MEDICIÓN DE POTENCIAL DE FLOTACIÓN

Las mediciones de potencial de flotación se registraron cada 20 segundos hasta un valor de 8 minutos, partiendo del punto cuando se abre la válvula de aire e inicia el proceso de flotación.

En este punto se tubo gran cuidado de que la cantidad de aire introducido a la celda fuera la misma para todas las pruebas, ya que un aumento de esta cantidad originaría una variación de magnitud considerable en el valor del potencial en cada prueba.

Al iniciar la parte experimental, se realizaron mediciones de potenciales de reposo y de flotación en solución Buffer a un valor de pH de 9.1, con el objeto de observar la variación cuando se tenían reactivos colector o depresor presentes. El valor promedio obtenido del potencial de reposo para el sistema PbS- solución reguladora fue de -47.35 mV. vs ECS. Con una desviación estándar de ± 3.2 mV.

El aire y la agitación presentes en el proceso, modifican considerablemente a los potenciales de flotación con respecto los obtenidos por la técnica de potenciales de reposo, con

variaciones del orden de 5 mV. Esto se debe a la presencia del oxígeno alimentado en forma de aire el cual fue posteriormente disuelto en fase acuosa. Estos valores siempre se encuentran con valores menores que los potenciales de reposo.

Como se puede observar en las tablas (37-41) de resultados, los potenciales de flotación de una misma concentración de reactivos no varían considerablemente para cada prueba con diferente ley en cabeza, como se muestran a continuación.

4.11.3 POTENCIALES PROMEDIO.

XANTATO ETÍLICO DE POTASIO- PbS.

Al analizar las diferentes concentraciones de este colector, ver tablas 1,5 y 9, sobre el mineral de PbS, se observó que los valores promedio de los potenciales de flotación fueron: -108.7 mV para 1×10^{-4} (M) con una desviación estándar de 7.3 , -156.8 mV para 6×10^{-4} (M), con desviación estándar de 2.7 y -164.1 mV para 1×10^{-3} (M) con desviación estándar de 1.8 observándose que al incrementar la concentración del colector, los valores de potencial de flotación tienden a ser más pequeños. Este fenómeno es análogo al observado por Tolun y Kitchener (11)

DICROMATO DE POTASIO-PbS.

Los valores promedio de los potenciales de flotación con dicromato de potasio como reactivo son: -50 mV para 1×10^{-5} (M) , con desviación estándar de 1.5, -36.9 mV para 1×10^{-4} (M) con desviación estándar de 1.6, y -29.8 mV para 1×10^{-3} (M) con desviación estándar de 1. Para estos casos, al incrementar la concentración del depresor, los valores de potencial de reposo tienden a ser menos negativos. Esto es atribuido a los puntos ya mencionados en el apartado de potenciales de reposo (tablas 13,17 y 21). (11)

MEZCLAS $K_2Cr_2O_7$ +KEX -PbS.

Los valores promedio de los valores de potenciales de flotación, con ambos reactivos (depresor + colector) respectivamente fueron: 101.7 para $1 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-3}$ (M) con desviación

estándar de 1.5, 97.53 mV para $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$ (M) con desviación estándar de 1.6 y 72.76 mV para 1×10^{-2} (M) + 1×10^{-3} (M) con desviación estándar de 1.8. Al incrementar la concentración del colector, permaneciendo constante la concentración del depresor se obtuvieron potenciales de flotación menos positivos, pero estando siempre estos por debajo de los valores de potencial de reposo. Este fenómeno es atribuido a la acción limpiadora del cromato de plomo, con la posterior formación del metal-xantato (ver tablas 25, 29 y 33).

A) RECUPERACIÓN DE MINERAL.

Sistema KEX - PbS

Analizando la variación de la concentración del colector con respecto a la ley en cabeza constante, se obtuvo para todos los casos estudiados un valor máximo de recuperación en la concentración intermedia de 6×10^{-4} M, para concentraciones mayores o menores a ésta, las recuperaciones son menores. Las leyes de Pb en concentrados tienden a disminuir considerablemente, como se observa en el apéndice A tablas 45, 48 y 51. Esto es debido a la posible formación en exceso de multicapas de xantato de plomo la cual proporcionan a la partícula de mineral una disminución del carácter hidrofóbico.

Al considerar una concentración constante de colector pero variando las leyes en cabeza se obtuvo que al incrementar la ley de cabeza, la calidad del concentrado se elevó, así como la recuperación de los mismos. Esto es debido a la mayor existencia de valores en cabeza. Como se observa en las tablas 37 - 39, y gráficas 10 - 12.

La ecuación obtenida para predecir el % de recuperación en función de la ley en cabeza y la concentración de colector es $Y = 69.5729906 - 2.1409757X_1 + 1.389333227X_1^2 + 40858.6726X_2 - .5125013975E8X_2^2 + 8188.5439X_1X_2$

Donde:

X_1 es el % en ley en cabeza de Pb

X_2 es la concentración (M.) de colector.

Ver apéndice C para la presentación de obtención de la ecuación.

Sistema $K_2Cr_2O_7$ - PbS

Analizando la variación de la concentración del depresor con respecto a la ley en cabeza constante, se obtuvo que a concentración de 1×10^{-4} M de reactivo, el mineral se encuentra totalmente deprimido debido a la formación de capas de cromato de plomo las cuales proporcionaron que el mineral precipite. Como se observa en el apéndice A tablas 46,49 y 52..

Al considerar una concentración constante de depresor pero variando las leyes en cabeza se obtuvo que incrementar la ley en cabeza el mineral permanece deprimido a esta misma concentración de reactivo.

Sistema $K_2Cr_2O_7$ + KEX + PbS.

Analizando la variación de la concentración del depresor más colector con respecto a la ley en cabeza constante, se obtuvo que al incrementar la concentración de colector se presenta una mejor calidad de recuperación, excepto para la concentración más baja de colector, debido al efecto dominante de concentración de depresor con la formación de cromato de plomo. Como se observa en el apéndice A tablas 47,50 y 53. Las leyes de Pb en concentrados tienden a incrementarse de manera considerable. Esto es debido a la acción limpiadora a baja concentración del dicromato de plomo., que facilita la función del colector, presentándose una mayor formación de xantato de plomo.

Al considerar una concentración constante de reactivos pero variando las leyes en cabeza , se obtuvo que al ser incrementada la ley en cabeza, el mineral empieza a ser recuperado a las concentraciones de 1×10^{-2} + 1×10^{-4} (M) de depresor y colector respectivamente. Las leyes en concentrado también muestran este incremento, como se observa en las tablas 44 -45.

B) CORRELACIÓN DE POTENCIALES Y RECUPERACIÓN DE MINERAL, EN BASE AL % PbS EN CABEZA.

Sistema KEX - PbS.

Al analizar la variación de la concentración del colector con respecto a la ley en cabeza constante, para poder correlacionar las mejores condiciones de recuperación, se obtuvo que al encontrarse el potencial de flotación en un intervalo de $-108 > PF > -164.1$ mV, en los casos estudiados, se obtiene un valor máximo de recuperación en la concentración intermedia de 6×10^{-4} M, mientras que la ley en Pb muestra un valor intermedio a las obtenidas con las concentraciones superior e inferior.

Mientras que al considerar una concentración constante de colector e incrementando las leyes en cabeza, se obtienen mejores recuperaciones así como la calidad de los concentrados.

Sistema $K_2Cr_2O_7$ - PbS.

Al analizar las variaciones de concentración de depresor con respecto a la ley en cabeza constante y poder correlacionar las mejores condiciones de depresión, se obtiene que el $PF > -37$ mV, el cual es obtenido a concentraciones de 1×10^{-4} M, donde el mineral se encuentra totalmente deprimido.

Sistema $K_2Cr_2O_7$ + KEX + PbS.

Al considerar concentraciones variable de reactivos depresor más colector a leyes en cabeza constante, y correlacionar las condiciones favorables de recuperación, se tuvo que la recuperación se inicia a las concentraciones de $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$ M depresor más colector respectivamente, incrementando la recuperación, así como la calidad de concentrado.

Al analizar una concentración constante de reactivos pero variando la ley en cabeza, se logró observar que el $PF < 92$ mV en concentraciones de $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$ M depresor más colector respectivamente, se obtuvieron mejores recuperaciones de mineral, así como las mayores calidades de concentrado.

CAPITULO V

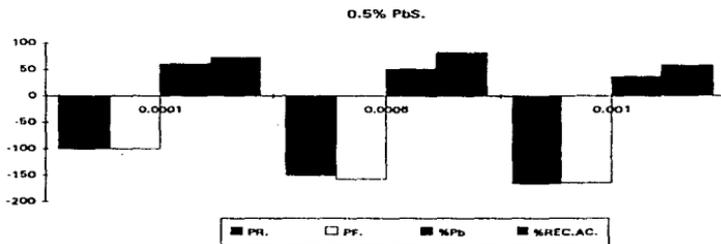
5.0 CONCLUSIONES

- 1.- Las interacciones existentes entre la superficie del mineral y los reactivos de flotación o depresión (KEX, $K_2Cr_2O_7$, respectivamente.) son de carácter electroquímico.
- 2.- Una inclinación a valores catódicos de potencial , es debido al aumento en la concentración de dicromato de potasio y la desviación de estos valores a una zona anódica es debido al aumento de la concentración de xantato etílico de potasio.
- 3.- El potencial de reposo y de flotación presentan una estrecha influencia en la recuperación del mineral, siendo variables fáciles de medir y de reproducir.
- 4.- Cuando se encuentran presentes ambos reactivos ($K_2Cr_2O_7$ y KEX) en la recuperación del mineral, se rompe la tendencia que presentaban los potenciales de reposo y flotación al interactuar con el mineral de forma individual.
- 5.- En el sistema mineral-mezcla, el dicromato de potasio es adsorbido en la superficie del mineral ejerciendo en ella una acción limpiadora, bajo las condiciones de $1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-4}$ M depresor y colector respectivamente con valores de potencial menores a 92.8 mV y de esta forma el colector será adsorbido con mayor facilidad, por lo tanto la recuperación del mineral será alta.
- 6.- El proceso de flotación selectivo puede ser controlado mediante el manejo de la concentración de reactivos colector, depresor y una forma directa el potencial de reposo o el de flotación que son desarrollados por las interacciones del reactivo con el mineral de galena.

APÉNDICE A
COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE POTENCIALES, %Pb, %REC. AC., EN BASE A SU CONCENTRACIÓN.

KEX, pH= 9.1					
%LEY 0.5%					
CONCENTRACIÓN.	PR.	PF.	%Pb	%REC. AC.	
1×10^{-4}	-101.2	-100.6	60.82	72.74	
6×10^{-4}	-150.7	-157.5	50.95	82.38	
1×10^{-3}	-166.8	-164.4	36.55	57.64	

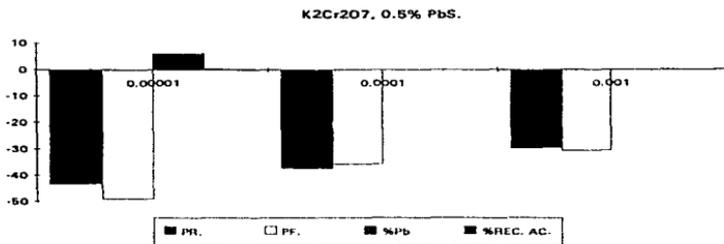
Tabla 45. Comparación de potenciales de reposo , flotación, %Pb,%Rec. Ac.en base a la concentración de reactivos, % 0.5PbS - KEX.



Gráfica 19.comparación de PR, PF, %Pb, % rec ac. 0.5% PbS. KEX.

K ₂ Cr ₂ O ₇ ,				
%LEY 0.5%PbS				
CONC.	PR.	PF.	%Pb	%REC. AC.
1x10 ⁻⁵	-43.3	-49.1	6.055	0.2113539
1x10 ⁻⁴	-37.5	-35.8	0	0
1x10 ⁻³	-29.8	-30.8	0	0

Tabla 46. Comparación de potenciales de reposo , flotación, %Pb,%Rec. Ac.con base a la concentración de reactivos, % 0.5PbS - K₂Cr₂O₇.

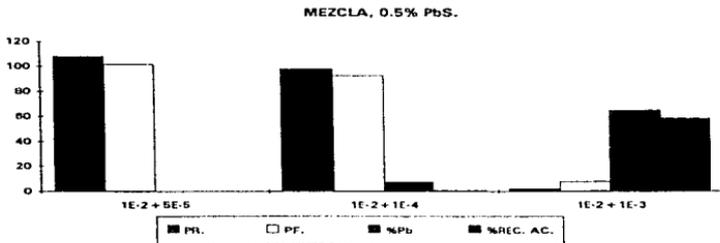


Gráfica 20. Comparación de PR, PF, %Pb, % Rec: ac. K₂Cr₂O₇, 0.5% PbS.

MEZCLAS.

%LEY 0.5%PbS, pH= 9.1				
CONC.	PR.	PF.	%Pb	%REC. AC.
K ₂ Cr ₂ O ₇ + KEX.				
1x10 ⁻² +5x10 ⁻⁵	108.1	101.7	0	0
1x10 ⁻² +1x10 ⁻⁴	97.8	92.7	7.42	0.76
1x10 ⁻² +1x10 ⁻³	2.4	7.7	64.88	58.13

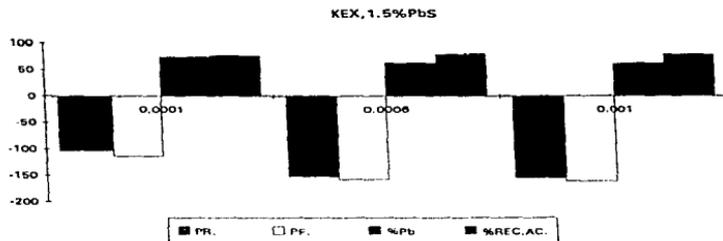
Tabla 47. Comparación de PR, PF, % Pb, % Rec. Ac.mezclas 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+5x10⁻⁵ (M) KEX, 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+1x10⁻⁴ (M) KEX, 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+1x10⁻³ (M) KEX con 0.5% PbS.



Gráfica 21. Comparación de PR, PF, % Pb, % Rec. Ac.mezclas 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+5x10⁻⁵ (M) KEX, 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+1x10⁻⁴ (M) KEX, 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+1x10⁻³ (M) KEX con 0.5% PbS

%LEY 1.5%PbS					
KEX, pH= 9.1					
CONCENTRACION.		PR	PF	%Pb	%REC. AC.
1x10 ⁻⁴		-103.8	-114.8	73.48	76.53
6x10 ⁻⁴		-153.4	-159.1	61.83	78.43
1x10 ⁻³		-155.7	-162.3	61.04	77.40

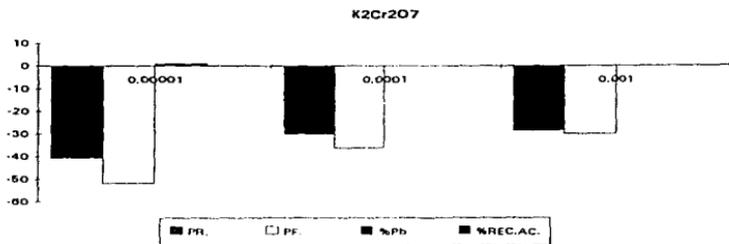
Tabla 48. Comparación de potenciales de reposo , flotación, %Pb,%Rec. Ac.con base a la concentración de reactivos, % 1.5PbS - KEX.



Gráfica 22. Comparación de PR, PF, % Pb, % Rec. Ac. KEX, 1.5% PbS.

%LEY 1.5%PbS, pH= 9.1				
K ₂ Cr ₂ O ₇				
CONC.	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
1×10 ⁻⁵	-40.6	-51.8	1.06	0.01
1×10 ⁻⁴	-30.2	-36.3	0	0
1×10 ⁻³	-28.7	-30.1	0	0

Tabla 49. Comparación de potenciales de reposo , flotación, %Pb,%Rec. Ac.con base a la concentración de reactivos, % 1.5PbS - K₂Cr₂O₇.

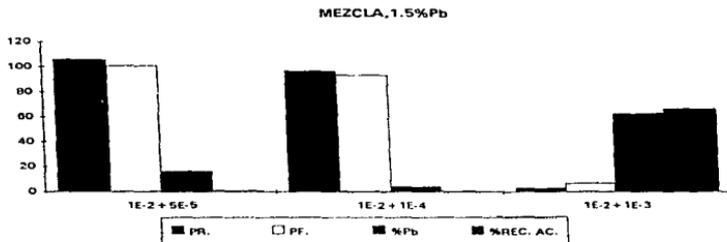


Gráfica 23. Comparación de PR, PF, %Pb, % Rec. Ac. K₂Cr₂O₇, 1.5% PbS.

MEZCLA.

%LEY 1.5%PbS, pH= 9.1				
CONC.	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
K ₂ Cr ₂ O ₇ +KEX.				
1x10 ⁻² +5x10 ⁻⁵	105.7	100.8	16.28	0.95
1x10 ⁻² +1x10 ⁻⁴	96.6	93.4	3.85	0.31
1x10 ⁻² +1x10 ⁻³	3.1	6.7	62.09	66.20

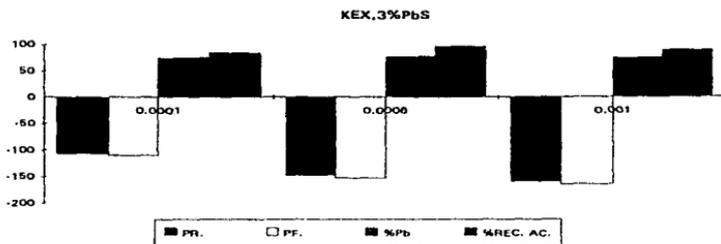
Tabla 50. Comparación de PR, PF, % Pb, % Rec. Ac. mezclas 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+5x10⁻⁵ (M) KEX, 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+1x10⁻⁴ (M) KEX, 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+1x10⁻³ (M) KEX con 1.5% PbS.



Gráfica 24. Comparación de PR, PF, % Pb, % Rec. Ac. mezclas 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+5x10⁻⁵ (M) KEX, 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+1x10⁻⁴ (M) KEX, 1x10⁻² (M) K₂Cr₂O₇+1x10⁻³ (M) KEX con 1.5% PbS.

KEX, pH= 9.1				
%LEY 3%PbS				
CONC.	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
1×10^{-4}	-107.3	-110.7	74.20	83.34
6×10^{-4}	-148.7	-153.8	75.72	95.91
1×10^{-3}	-160.1	-165.6	73.57	88.70

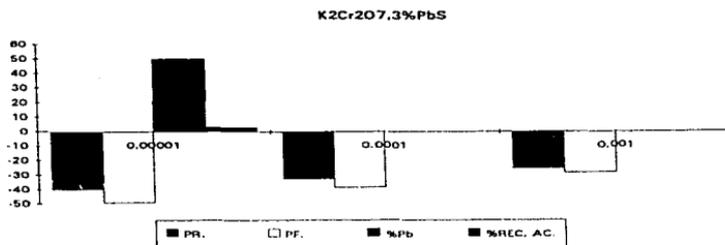
Tabla 51 Comparación de potenciales de reposo , flotación, %Pb,%Rec. Ac.con base a la concentración de reactivos, % 3PbS - KEX.



Gráfica 25. Comparación de PR, PF, %Pb, % Rec.Ac. KEX, 3% PbS.

%LEY 3%PbS, pH= 9.1				
K ₂ Cr ₂ O ₇				
CONC.	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
1x10 ⁻⁵	-40.1	-49.2	50.08	2.97
1x10 ⁻⁴	-32.8	-38.8	0	0
1x10 ⁻³	-25.7	-28.7	0	0

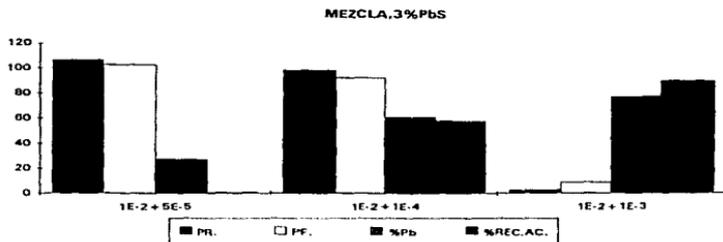
Tabla 52. Comparación de potenciales de reposo , flotación, %Pb,%Rec. Ac.con base a la concentración de reactivos, % 3PbS - K₂Cr₂O₇.



Gráfica 26. Comparación de PR, PF, % Pb, % Rec. Ac. K₂Cr₂O₇, 3% PbS.

MEZCLA				
%LEY 3%PbS				
CONC.	PR	PF	%Pb	%REC. AC.
K ₂ Cr ₂ O ₇ + KEX				
1E-2+5E-5	106.1	102.7	27.16	0.77
1E-2+1E-4	98.2	92.3	60.48	57.45
1E-2+1E-3	2.9	8.6	76.67	89.42

Tabla 53. Comparación de PR, PF, % Pb, % Rec. Ac. mezclas 1×10^{-2} (M) K₂Cr₂O₇ + 5×10^{-5} (M) KEX, 1×10^{-2} (M) K₂Cr₂O₇ + 1×10^{-4} (M) KEX, 1×10^{-2} (M) K₂Cr₂O₇ + 1×10^{-3} (M) KEX con 3% PbS.



Gráfica 27. Comparación de PR, PF, % Pb, % Rec. Ac. mezclas 1×10^{-2} (M) K₂Cr₂O₇ + 5×10^{-5} (M) KEX, 1×10^{-2} (M) K₂Cr₂O₇ + 1×10^{-4} (M) KEX, 1×10^{-2} (M) K₂Cr₂O₇ + 1×10^{-3} (M) KEX con 3% PbS.

APENDICE B

CRITERIO DE CORRELACIÓN DE POTENCIALES EXPERIMENTALES Y TEÓRICOS

En este apartado se menciona únicamente cuales son las especies que bajo fundamentación termodinámica se han obtenido en forma experimental y de acuerdo a lo establecido por Allison predecir cuando se obtiene la especie responsable de la flotación.

SISTEMA GALENA - XANTATO ETÍLICO DE POTASIO.

Reacción propuesta: (12) .



$$E = -0.124 - 0.059 \log (X^-) \quad (13)$$

$(X^-) = 1 \times 10^{-4} \text{ (M)}$	$(X^-) = 6 \times 10^{-4} \text{ (M)}$	$(X^-) = 1 \times 10^{-3} \text{ (M)}$
$E_{\text{eq}} = 0.053 \text{ v.}$	0.066089 v	0.112 mv.
$E_{\text{rev.ace}} = -0.191 \text{ v.}$	-0.17791 v	-0.132 mv.
$E_{\text{rev.ace}} = -191 \text{ mv.}$	-171.911 mv.	-132 mv.
$E_{\text{rep.ox}} = -104.1 \text{ mv.}$	-150.9 mv.	-160.8 mv.
$\Delta V = 30.2 \text{ mv.}$	27.011 mv.	27.9 mv.

Donde: E_{rep} es el potencial de reposo y E_{rev} es el potencial reversible.

La magnitud de la variación del potencial de reposo vs el potencial reversible para todas las concentraciones de colector estudiadas es pequeña del orden de 28.37 mV en promedio y disminuye muy ligeramente al incrementar la concentración del colector.

SISTEMA GALENA - DICROMATO DE POTASIO.

Reacción propuesta:



$$\Delta G = 9.187 \text{ kcal/mol.}$$

$$E = -0.0996 - 0.0295 \text{ pH} - 0.01475 \log (\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$$

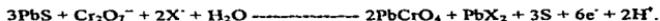
$(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 1 \times 10^{-3} \text{ (M)}$	$(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 1 \times 10^{-4} \text{ (M)}$	$(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 1 \times 10^{-5} \text{ (M)}$
$E_{\text{eq}} = -0.3238 \text{ v.}$	-0.30905 v	-0.2943 mv.
$E_{\text{repu}} = -0.5678 \text{ v.}$	-0.55305 v	-0.5383 mv.
$E_{\text{repuce}} = -567.8 \text{ mv.}$	-553.05 mv.	-538.3 mv.
$E_{\text{rep ex}} = -28.1 \text{ mv.}$	-33.5 mv.	-41.3 mv.
$\Delta V = 539.7 \text{ mv.}$	519.55 mv.	497 mv.

Donde: E_{rep} es el potencial de reposo y E_{rev} es el potencial reversible.

La magnitud de la variación del potencial de reposo vs el potencial reversible para todas las concentraciones de depresor estudiadas no es tan constante como en el caso del colector y tendieron a disminuir del orden de 42 mV por década de concentración.(13)

SISTEMA GALENA - DICROMATO DE POTASIO - COLECTOR.

Reacción propuesta.



$$\Delta G = 14.9058 \text{ kcal/mol.}$$

$$E^0 = - 0.1077 \text{ v}$$

$$E = -0.1077 - 0.019666 \text{ pH} - 0.009833 \log (\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) - 0.019666 \log (X') .$$

$(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7), 1 \times 10^{-2} \text{ (M)}$	$1 \times 10^{-2} \text{ (M)}$	$1 \times 10^{-2} \text{ (M)}$
(KEX), $1 \times 10^{-3} \text{ (M)}$	$1 \times 10^{-4} \text{ (M)}$	$5 \times 10^{-5} \text{ (M)}$
$E_{\text{esp}} = -0.208 \text{ v.}$	-0.18833 v	-0.18241 mv.
$E_{\text{espe}} = -0.452 \text{ v.}$	-0.432333 v	-0.426413 mv.
$E_{\text{espe}} = -452 \text{ mv.}$	-432.333 mv.	-426.413 mv.
$E_{\text{rep es}} = 79.3336 \text{ mv.}$	97.533 mv.	106.633 mv.
$\Delta V = 372.666 \text{ mv.}$	334.8 mv.	319.77967 mv.

Donde: E_{rep} es el potencial de reposo y E_{rev} es el potencial reversible.

La magnitud de la variación del potencial de reposo vs el potencial reversible para todas las concentraciones de depresor estudiadas fue menor que las obtenidas en el sistema depresor-mineral, pero mayor que en el sistema colector-mineral no es tan constante como en el caso del colector y tendieron a disminuir del orden de 42 mV por década de concentración. Esta información nos proporcionó las variaciones entre potenciales de reposo y reversibles a las cuales se puede predecir cuando un mineral en presencia de mezclas de reactivos, flotará o no. (

11)

APENDICE C

MODELO ESTADÍSTICO OBTENIDO PARA LA PREDICCIÓN TEÓRICA DE % DE RECUPERACIÓN DE Pb EN FUNCIÓN DEL % DE Pb EN CABEZA Y CONCENTRACIÓN (M.) DE REACTIVO COLECTOR.

El modelo propuesto para determinar dicha recuperación fue del tipo polinomial de segundo grado múltiple.

La matriz obtenida está en función de sistema de ecuaciones a resolver:

$$a_0 + a_1 \Sigma x_1 + a_2 \Sigma x_1^2 + a_3 \Sigma x_2 + a_4 \Sigma x_2^2 + a_5 \Sigma x_1 x_2 = \Sigma y$$

$$a_0 \Sigma x_1 + a_1 \Sigma x_1^2 + a_2 \Sigma x_1^3 + a_3 \Sigma x_1 x_2 + a_4 \Sigma x_1 x_2^2 + a_5 \Sigma x_1^2 x_2 = \Sigma y x_1$$

$$a_0 \Sigma x_1^2 + a_1 \Sigma x_1^3 + a_2 \Sigma x_1^4 + a_3 \Sigma x_1^2 x_2 + a_4 \Sigma x_1^2 x_2^2 + a_5 \Sigma x_1^3 x_2 = \Sigma y x_1^2$$

$$a_0 \Sigma x_2 + a_1 \Sigma x_1 x_2 + a_2 \Sigma x_1^2 x_2 + a_3 \Sigma x_2^2 + a_4 \Sigma x_2^3 + a_5 \Sigma x_1 x_2^2 = \Sigma y x_2$$

$$a_0 \Sigma x_2^2 + a_1 \Sigma x_1 x_2^2 + a_2 \Sigma x_1^2 x_2^2 + a_3 \Sigma x_2^3 + a_4 \Sigma x_2^4 + a_5 \Sigma x_1 x_2^3 = \Sigma y x_2^2$$

$$a_0 \Sigma x_1 x_2 + a_1 \Sigma x_1^2 x_2 + a_2 \Sigma x_1^3 x_2 + a_3 \Sigma x_1 x_2^2 + a_4 \Sigma x_1 x_2^3 + a_5 \Sigma x_1^2 x_2^2 = \Sigma y x_1 x_2$$

Donde:

x_1 es el % en ley de Pb en la cabeza

x_2 es la concentración (M.) de xantato etílico de potasio

Resolviendo este sistema de seis ecuaciones con seis incógnitas se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y = 69.5729906 - 2.1409757X_1 + 1.389333227X_1^2 + 40858.6726X_2 - .5125013975E8X_2^2 + 8188.5439X_1X_2$$

Comparación de los valores experimentales con el modelo propuesto

% Ley Pb	KEX (M.)	% Recuperación Modelo	% Recuperación Experimental
0.5	1.00E-04	72.83	72.74
0.5	6.00E-04	77.37	82.38
0.5	1.00E-03	62.54	57.64
1.5	1.00E-04	74.28	72.74
1.5	6.00E-04	82.91	78.43
1.5	1.00E-03	71.36	77.41
3	1.00E-04	81.68	83.34
3	6.00E-04	96.44	95.90
3	1.00E-03	89.80	88.69

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- J.D Gilchrist, "Extractive Metallurgy", second Edition 1980.
- 2.- Jaimes Vera José, Tesis, "Comportamiento Electroquímico de la Galena en Ácido Sulfúrico", 1989, Fac. Química, U.N.A.M.
- 3.- B.A Wills. "Tecnología de Procesamiento de Minerales." Primera Edición 1970
- 4.-A.M. Gaudin, "Flotation ." American Institute of Maing, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. New York, 1976. Vol. 1.
- 5.- J.O' M. Bockris and A.K.N. Readdy,"Modern Electrochemistry", Vol. 2 Pag. 631, U.S.A 1970.
- 6.- Ann, N . Clarke, David J. Wilson. "Foam Flotation" Marcel Dekker, Inc. 1990., United States of America.
- 7.- Pérez Huerta Sergio A. Tesis, "Cinética de la Oxidación de Etil - Xantato Sobre Galena" 1993, Fac. Química, U.N.A.M.
- 8.- D.W Fuerstenau. "Flotation of Sulphide Minerals". 1985, Elsevier Science Publishing Company Inc. New York. Pag. 111 - 139. Vol. 6.
- 9.- Proceeding of the 2nd Latin America Congress. "Flotation ". Elsevier, The Netherlands, 1985, Pag. 271 - 288, Vol. 9.
- 10- Allison S.A Goold L.A Nicol M.J and Granville a: "Determination of the products reaction between various sulfide minerals and aqueous xanthate solution and a correlation of the

products with electrode rest potentials." Metallurgical Transactions, 1972, 2614, vol.3,2613 - 18.

11.- Huerta Cerdán Antonio. Tesis de Maestría," Estudios de la cinética de flotación en menas sulfuradas a partir de métodos electroquímicos", 1991, Fac. Química, U.N.A.M.

12.- Solís Gallardo A. Tesis, " Estudio del Sistema de PbS - XEK - $K_2Cr_2O_7$ Bajo condiciones de flotación.", 1996, Fac. Química, U.N.A.M.

13.- Alan Cottrell, " An Introduction to Metallurgy "Second Edition 1975,U.S.A, second Edition.

14.- R Woods, " The anodic oxidation of ethylxanthate on metal and galena electrodes." Manuscript received 15 June 1972.

BIBLIOGRAFÍA CON TEMAS A FINES

15- Atkins. " Fisicoquímica ." Eddison - Wesley, México. Pag. 308, 1987.

16.- Arturo J. Hernández, Tesis. " Estudio Electroquímico en el Sistema Galena - Xantato - Dicromato." 1992, Fac. Química, U.N.A.M.

17.- Magdaleno Pérez E.J. Tesis. " Evaluación Cinético Metalúrgico de promotores y colectores Sobre Galena y Pirita.", 1987, Fac. Química, U.N.A.M.

18.- Beltran Mejía Livia. Tesis, " Oxidación de la Galena en las Condiciones de Flotación." 1993, Fac. Química, U.N.A.M.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

19.- Hernández Álvarez H.A. Tesis, " Estudio Electrocinético Aplicado al Proceso de Flotación en el Sistema Galena - Xantato Etilico de Potasio - Dicromato de Potasio." 1994, Fac. Química, U.N.A.M.