



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ANALISIS DIELECTRICO APLICADO A LA FLOTACION SELECTIVA DE GALENA EN PRESENCIA DE XANTATO ETILICO DE POTASIO, DEXTRINA Y MEZCLA DE ESTOS, A PARTIR DE LA TECNICA DE IMPEDANCIA A ALTAS FRECUENCIAS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

CARLOS ALBERTO GONZALEZ RODRIGUEZ



MEXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

2001

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 signado:

Presidente: Prof. Antonio Huerta Cerdán.
Vocal: Prof. Joan Genescá Llongueras.
Secretario: Prof. Carlos Rodríguez Rivera.
1er Suplente: Prof. Tezozomoc Pérez López
2° Suplente: Prof. Faustino Juárez Sánchez.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

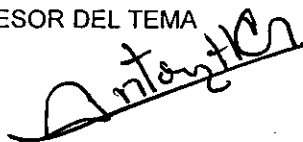
Universidad Nacional Autónoma de México.

Laboratorio de Procesos de Separación y Concentración

Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Química, Edificio "D",

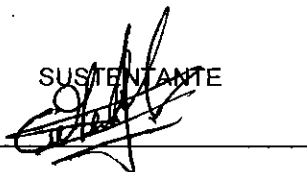
México D:F.

ASESOR DEL TEMA



M. en C. Antonio Huera Cerdán

SUSTENTANTE



Carlos Alberto González Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

**CON MUCHO CARÍÑO DEDICO ESTE TRABAJO
A MIS PADRES**

A mi madre.

M. de la Luz Rodríguez Carrillo
Con su necesidad de vida, con su
siempre renacer, con su saber
vivir, con su apoyo, con su
sonrisa, con su
saber mantenerse, con su amor y
por ser una magnífica mujer.

A mi padre.

Daniel González Balderas
Con su fuerza, con su trabajo, con
sus nervios, con su sentido de
responsabilidad, con su
confianza, con su continua lucha
contra la marea, con su
esperanza.

A mis hermanas

Liliana y Lorena González Rodríguez.

A ustedes, por ser parte fundamental
de mi vida, por tener siempre una frase de superación, por permitirme
disfrutar en conjunción todas las alegrías y
ratos amargos que han conformado cada uno de nuestros momentos
y por esa unión familiar
que siempre nos ha caracterizado.

EN ESPECIAL A MI HERMANA

A Ricarda Luz Daniela González Rodríguez (Tachi)

Aunque tu ya no estas aquí siempre estas en mi corazón.
Fuiste y seras la chispa siempre viva de
nuestra familia.

A MIS CUÑADOS

Misael y Antonio

Por su sencillez, su constante preocupación, gracias por su amistad

A MIS SOBRINOS

**Misael Jacobo, José de Jesús, Noemí Concepción,
Valente Ismael y Valeria Michell.**

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**
Institución a la que pertesco y
que siempre representare con mucho honor.

A mi Asesor de Tesis
M. en C. Antonio Huerta Cerdán
por permitirme contar con su amistad tan grande, gracias
por dedicarme su tiempo, apoyo, tenacidad y orientación
Virtudes que me permitieron culminar este trabajo.

A mi Jurado
Dr. Joan Genescá Loongueras
Ing. Carlos Rodríguez Rivera.
Por haber dedicado su valioso tiempo en la revisión
de este trabajo.

A mis Profesores
Dr Francisco Esparza
Dr Enrique Matinez Martinez.
Dr. Carlos González Rivera.
Dr. José Bernardo Hernández Morales.
Dr. José Alejandro García Hinojosa.
M en C. Sergio García Galán.
M. en C. Gerardo Aramburo Pérez.
M. en C. Oscar Jesus Rendon Gomez.
M.en C. Martín Rivera Toledo
M. en C. Ciro Eliseo Marquez Herrera.
M. en C. Jorge Ornelas Tabares.
Ing. Ignacio Beltrán Piña.
Ing. Adrián Amaro Villeda
Ing. Arturo Sanchez Santiago.
Ing Eusebio Candido Atlatenco Tlapanco.
Mic. Elect. Guillermina González Mancera.

Ellos que dedicaron desinteresadamente su esfuerzo
en pos de la excelencia.
Gracias por dar todo lo que tienen y por entregarsede esa manera
a su profesión.

A MIS COMPAÑEROS DE MAESTRÍA

Ing. José Luis García Villalobos.

Biol. Juan Manuel Romero Domínguez.

Gracias por sus palabras de aliento, por compartir sus experiencias
por creer en mí y por ser un ejemplo a seguir.

A MIS AMIGOS DE GENERACIÓN

Lázaro López, Jorge Mondragón,

J. Sergio Tellez, Luis Soto,

Marisela, Verónica Martínez,

Ofelia Barba, Roberto, Paola,

Ariane, Perla, Karla, Enrique.

En especial a dos grandes amigas

Rosalba García Pérez

Lizbeth Macías

A todos ellos y a los que me
faltaron (bastantes), por compartir
tan bellos momentos.

A MIS AMIGOS DE LA CARRERA

Son bastantes por mencionar, por
ello nada más les quiero
decir que gracias a todos ustedes
por hacer más agradable mi
estancia en la Universidad
siendo parte fundamental
de mi formación
profesional.

AL GRUPO DE CORROSIÓN

Que me ha permitido formarme profesionalmente, así como
la de crecer como ser humano
gracias

Dr. Juan Genescá Llongueras

Dr. Francisco Javier Rodríguez Gómez

Ing. Carlos Rodríguez Rivera.

Ing. José Luis García Villalobos

Ing. Miguel Anguel Vargas Hernández

Ing. Trinidad Pérez Quiroz.

Ing. Marco Antonio Talabera Rosales

AL PERSONAL DEL TALLER MECÁNICO.
Ing. José Enrique Hinojosa Patiño
Tec. Pedro Cabrera Juárez.
Gracias por permitirme contar con una amistad tan grande y
apoyarme en cada uno de mis proyectos
realizados en mi estancia en este departamento.

A Gabriel Nieto Reséndiz
Inseparable amigo que te entregas a tu profesión con
tanta dedicación y responsabilidad.

A la Sra Rosi y Marilú
Por proporcionarme su valiosa ayuda

Al personal que labora en la biblioteca
Que son grandes personas que siempre me ayudan
Sin ningún impedimento
gracias

**En fin a todos aquellos que han estado cerca de mi y que
juntos hemos hechos nuestras vidas.**

Un guerrero busca poder, y una de las avenidas al poder
es el de soñar.

La diferencia entre un cazador y un guerrero
es que el guerrero va camino al poder, mientras el
cazador no sabe nada de él, o muy poco.

Cuando uno se hace accesible al poder se tiene que abordar los sueños.
Un guerrero, siendo un hombre que busca poder,
no los llama sueños, los llama realidades.

Un guerrero es un cazador immaculado que anda a caza del poder;
No está borracho, ni loco, y no
tiene tiempo ni humor para fanfarronear,
ni para mentirse así mismo, ni para equivocarse en la jugada.

Para un guerrero la apuesta es demasiado alta, por ello pone en la mesa
su vida dura y ordenada, que tanto tiempo le llevó perfeccionar.

Para un guerrero no hay nada ofensivo en los actos de sus semejantes
mientras él mismo esté actuando dentro del ánimo
correcto.

El soñar es real para un guerrero porque allí puede actuar con
deliberación, puede escoger y rechazar; puede elegir, entre una variedad de
cosas, aquellas que llevan al poder, y luego pueden manejarlas y usarlas,
mientras que en un sueño común y corriente no puede actuar con
deliberación.

En el soñar tienes poder; puedes cambiar las cosas; puedes describir
incontables hechos ocultos; puedes controlar lo que quieras.

Cuando un guerrero arregla sus sueños,
significa tener un dominio conciso y pragmático de la situación
general de un sueño, comparable al dominio
que uno tiene en el desierto sobre cualquier decisión que uno haga,
como la de trepar a la cima de un cerro o quedarse en la sombra de una
cañada.

Un hombre que caza poder no tiene ningún límite en su soñar.

Carlos Castañeda.

ÍNDICE.

	Página
RESUMEN _____	(1)
OBJETIVOS _____	(4)
INTRODUCCIÓN _____	(6)

CAPITULO 1**Flotación.**

1.1 Proceso de flotación. _____	(10)
1.1.2 Acondicionamiento. _____	(10)
1.1.3 Colectores. _____	(10)
1.1.4 Espumantes _____	(13)
1.1.5 Modificadores. _____	(13)
1.1.6 Depresores. _____	(14)
1.2 Flotación por espuma _____	(15)
1.3 Interacción general mineral colector. _____	(15)

CAPITULO 2**Sistema (Galena–Colector–Depresor)**

2.1 Estudios de sulfuro de plomo. _____	(19)
2.2 Sistema galena – agua - oxígeno (dominio de estabilidad). _____	(20)
2.3 Sistema galena- xantato - etílico. _____	(22)
2.4 Sistema galena – xantato – oxígeno en condiciones de flotación. _____	(25)

2.5 Dextrina. _____ (28)

2.6 Interacción Galena-xantato-dextrina. _____ (31)

Capítulo 3

Impedancia-Capacitancia y Propiedades de los Dielectricos

3 Fundamentos de Impedancia a altas frecuencias _____ (33)

3.1 Impedancia. _____ (33)

3.2 Capacitancia. _____ (35)

3.2.1 Capacitor. _____ (36)

3.2.2 Funcionamiento de un capacitor. _____ (36)

3.3 Dielectrico. _____ (37)

Capítulo 4

Desarrollo experimental

4.1. Técnica Experimental _____ (42)

4.2. Condiciones Experimentales _____ (44)

4.3. Estudios Realizados _____ (45)

4.4. Reactivos y Equipo utilizados _____ (46)

Capítulo 5

Resultados

Resultados _____ (47)

Capítulo 6

Análisis de Resultados

Análisis de Resultados _____ (57)

Capítulo 7

Conclusiones

Conclusiones _____ (66)

Capítulo 8

Apéndice

Apéndice A

metodología del calculo de la constante

dieléctrica y conductividad eléctrica.....(70)

Apéndice B

programa de microsoft excel para calcular

la constante dieléctrica y conductividad dieléctrica.....(74)

Apéndice C

Tablas de resultados de Impedancia y flotación.....(77)

Capítulo 9

Bibliografía.....(82)

RESUMEN

Al estudiar las interacciones fisicoquímicas que se llevan a cabo en la superficie de los sistemas PbS – KEX - Dextrina (mineral - colector - depresor) y Pbs – dextrina (mineral – depresor) en condiciones cercanas a las utilizadas en los procesos de flotación, a partir de la técnica de impedancia a altas frecuencias (100 MHz), se detecto apropiadamente la modificación del mineral galena mediante reactivos depresor (dextrina) y colector (KEX).

Las constantes dieléctricas que resultaron del estudio del mineral PbS, cuando éste es acondicionado con el depresor dextrina y con un tiempo de acondicionamiento suficiente, se asegura que existe en este sistema una modificación del tipo de adsorción química superficial, ya que las constantes dieléctricas se incrementan ($\epsilon=560.81$), con respecto a la constante dieléctrica en ausencia de depresor ($\epsilon=452.74$). El dominio depresivo se atribuye a la formación de un producto organometálico sobre el mineral galena, lo que hace que la superficie del PbS sea hidrofílica, por consiguiente es deprimido.

En el sistema PbS – Dextrina – KEX, al incrementar la concentración del depresor las constantes dieléctricas registran incrementos del 14%, pero al aumentar el tiempo de acondicionamiento las constantes se aumentan 25%, respecto al mineral acondicionado únicamente con el colector KEX (5×10^{-4} M), de igual manera esto sucede al aumentar la concentración del colector (5×10^{-2} M), donde las constantes dieléctricas disminuyen, lo que implica un efecto de hidrofobicidad en la superficie del mineral.

Las pruebas de flotación se realizaron con el fin de aplicar y seleccionar las condiciones más adecuadas para la depresión de la galena, considerando las condiciones estudiadas con la técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.

Los resultados fueron muy significativos, demostrando que es muy factible llegar a tener información confiable con la TECNICA DE IMPEDANCIA A ALTAS FRECUENCIAS, con el propósito de predecir el comportamiento de la superficie del mineral galena, después de interactuar con algún reactivo ya sea depresor, colector o mezcla de estos, así mismo, determinar la concentración adecuada en donde el mineral galena tenga las mejores condiciones para ser deprimida.

OBJETIVOS

- Determinar las características de adsorción de un mineral de Galena en presencia de dextrina.
- Aportar información importante que ayude a comprender mejor las interacciones existentes en el sistema PbS-XEK-Dextrina, para contribuir como una herramienta de control más eficiente en el proceso de flotación industrial.
- Obtener el tiempo de acondicionamiento para el sistema galena-dextrina mediante la técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.
- Determinar si los mecanismos involucrados en la flotación pueden ser entendidos al estudiar la dielectricidad.
- Determinar el efecto de las concentraciones de los reactivos colector (Xantato etílico de potasio) y depresor (dextrina) en forma aislada y con mezcla de estos sobre el mineral galena en condiciones cercanas a la flotación, a partir de resultados obtenidos mediante la técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.



INTRODUCCIÓN



Para optimizar las plantas de procesamiento de minerales, lo cual es una tarea complicada, se debe tomar en cuenta las normas ambientales, la disminución de leyes de los minerales y los costos de operación, los cuales son factores que intervienen directamente en estos procesos.

El plomo sitúa a México entre los principales productores de este metal en el mundo ocupando el quinto lugar, siendo su mineral más importante el Sulfuro de Plomo (galena). con una producción de 175318 toneladas anuales promedio.

El proceso de flotación selectiva es el más utilizado para concentrar minerales sulfurados de grado comercial como sistemas Plomo-Zinc, Cobre-Zinc, en donde se obtienen concentrados de alta ley con una alta eficiencia de recuperación. La complejidad de estos procesos radica en tres rubros:

1. *Variables que afectan el proceso de concentración son:* el tamaño de partícula, pH, tiempo de acondicionamiento del mineral, velocidad de agitación, tipos y dosificación de reactivos, celdas de flotación, densidad de la pulpa, inyección de aire, etc.
2. *Diferentes tipos de menas asociadas a la mena principal a concentrar.* El sulfuro de plomo (PbS) es la mena más importante entre un conjunto de menas de sulfuros, la cual frecuentemente se asocia con esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂), calcopirita (CuFeS₂), tetraédrita (4CuS.Sb₂S₃), y minerales de ganga, tales como el cuarzo (SiO₂), Calcocita (CaCO₃), dolomita (CaMg(CO₃)₂), y fluorita (CaF₂).
3. *Las interacciones entre los reactivos y las diferentes menas del proceso.* Al entender los mecanismos que intervienen en el proceso de flotación, se

puede controlar y optimizar el mismo, por ello en el Area de Procesos de Separación y Concentración del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM, se realizan estudios para ver el comportamiento de estos, tales como los productos de adsorción y la naturaleza de la interacción en la superficie del mineral. De esta forma se podrán aplicar a los procesos industriales, promoviendo que exista un control real de la adición de reactivos que son consumidos excesivamente, evitando que esto repercuta en la economía de la planta. Asimismo, el uso de reactivos que de acuerdo a las normas ambientales son perjudiciales para el hombre, han conducido al estudio de reactivos menos contaminantes, más económicos, y con mayor eficiencia de recuperación, como es el caso de la dextrina que sustituye al dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) para deprimir al mineral de PbS durante el proceso de flotación.

Las técnicas electroquímicas como la de impedancia a altas frecuencias (dielectricidad), es una técnica novedosa y no destructiva; con ella se obtiene información de las interacciones que se generan en sistemas reactivo-mineral con características al proceso de flotación.

Al estudiar el comportamiento de la dielectricidad en el sistema Galena-Xantato-Dextrina es posible utilizar esta técnica para obtener información de los fenómenos químicos superficiales que ocurren en la intecara mineral-solución.

Con estos estudios se pretende obtener la concentración optima requerida en la flotación selectiva de galena cuando se trabaja en condiciones industriales.

CAPÍTULO 1.

FLOTACIÓN

1.1. PROCESO DE FLOTACIÓN.

En el procesamiento de minerales, las operaciones primarias son trituración y molienda, su finalidad es de reducir el tamaño de las partículas del mineral entre 10 y 100 micrones, el intervalo de trabajo dependerá de la liberación en su totalidad de las partículas con valor de la matriz estéril (ganga) del mineral. Es recomendable que el mineral no exceda el tamaño de liberación, evitando así el consumo de energía innecesaria en la molienda, obteniendo una recuperación más eficiente.

En las etapas de concentración, los minerales son separados en dos o mas productos debido a las diferencias de propiedades físicas y químicas existentes entre el mineral valioso y el mineral estéril (ganga).

La flotación es un proceso de concentración minero-metalúrgica mediante las partículas sólidas liberadas de minerales diferentes y contenidas dentro de una masa líquida (pulpa), son separadas por efecto de la acción química de reactivos específicos, en donde el mineral con valor desarrolla afección por el aire (aerofílicos) mientras que el mineral de ganga que en su mayoría son hidrofílicos (mojables), rechaza al aire. Esto da como resultado una separación de minerales valiosos transferidos en burbujas de aire, que forman una espuma flotante sobre la superficie de la pulpa ⁽¹⁾.

En general existen varios tipos de flotación por espuma: "flotación bulk" "flotación selectiva" y "flotación inversa".

En la flotación a granel o masiva se desea recuperar en un solo concentrado todas las especies flotables de un mineral.

La flotación selectiva se aplica para la recuperación de minerales específicos, y la flotación inversa que se utiliza en minerales que por sus características físicas principalmente su peso específico; cuando la especie flotable es la ganga esta característica física es menor y el concentrado del mineral con valor es recuperado en deslaves o colas del proceso⁽²⁾.

1.1.2. ACONDICIONAMIENTO

Para hacer flotar los minerales con valor debe de acondicionarse con reactivos denominados colectores, espumantes y modificadores, todos proporcionaran las condiciones de flotabilidad al minerales así como la correspondiente depresión de minerales estériles o minerales no deseados.

1.1.3. COLECTORES

Los colectores son reactivos de naturaleza orgánica, su destino principal es la hidrofobización selectiva de la superficie de las partículas de ciertos minerales en la pulpa de flotación, creando condiciones favorables de su adherencia en las burbujas de aire para ulterior extracción de concentrados⁽³⁾.

Estos compuestos contienen un grupo funcional inorgánico, unido con una cadena de hidrocarburos. En general el grupo inorgánico es la parte de la molécula del colector que es absorbida sobre la superficie mineral, mientras la cadena de hidrocarburo, siendo de naturaleza no-iónica, forma la superficie hidrófoba en el mineral, esto como resultado de la adsorción del colector figura 1⁽⁴⁾.

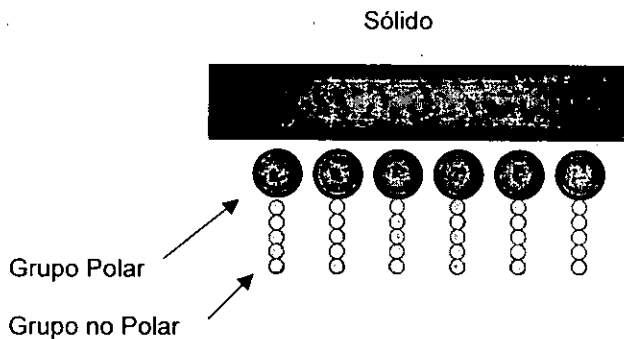


Figura 1.- Colectores

Los colectores se clasifican generalmente en iónicos que se disocian en iones y los no iónicos que actúan en forma molecular. Los colectores iónicos se subdividen en aniónicos y catiónicos.

Los colectores del tipo catiónicos tienen la característica de repeler el agua provocado por un catión, donde el grupo polar está basado en el nitrógeno pentavalente. Las aminas son los colectores catiónicos más utilizados en la industria y los colectores del tipo aniónico se clasifican según su grupo polar, en oxhidrilos y sulfhidrilos.

En general los colectores son usados en pequeñas cantidades, adecuadas para formar una capa monomolecular sobre la superficie de la partícula, porque al tener una concentración excesiva de colector se presentan efectos adversos sobre la recuperación de minerales valiosos, aparte de los costos tenderá a flotar otros minerales, reduciendo así la selectividad en un proceso de flotación.

1.1.4. Espumantes.

Los espumantes son reactivos orgánicos con una superficie activa que abaten la tensión del agua, provocando una espuma lo suficientemente estable durante el proceso de flotación impartiendo resistencia a la burbuja de aire a su vez favorece la adherencia de las partículas del mineral, facilitando el transporte desde la base de la celda hasta el labio de rebose. Los espumantes son adsorbidos en la interfase agua-aire reduciendo la tensión superficial provocando así la estabilización de la burbuja. Los espumantes son heteropolares, donde el grupo polar (OH) se encuentra inmerso en una solución acuosa (parte hidrofílica), mientras la parte no polar de la cadena de hidrocarburo, esta dirigido hacia la fase gaseosa.

La función de un espumante en la flotación es la de actuar como medio de separación para segregar y remover las partículas de ganga, proporcionando a su vez resistencia a las burbujas.

Entre los espumantes más usados son el aceite de pino ($C_{10}H_{17}OH$), Cresol ($CH_3C_6H_4OH$) y el carbinol isobutil metil (MIBC).

1.1.5. Modificadores.

Los modificadores son de gran utilidad en la flotación alterando la acción del colector haciéndolo más selectivo hacia ciertos minerales, se clasifican como activadores, depresores o modificadores de pH.

Los modificadores del pH que se usan regularmente en la flotación son la Cal (CaO), Carbonato de sodio (Ca_2CO_3), Sosa Cáustica ($NaOH$) y los ácidos

H₂SO₄ y HCl. A su vez los Modificadores de superficie pueden ser catiónicos como el Ba²⁺, Ca²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺, Ag²⁺, ó aniónicos como el SiO₃²⁻, PO₄²⁻ CO₃²⁻ y S²⁻, un grupo importante son los coloides orgánicos como son la Dextrina y el almidón. Los agentes precipitantes para sales solubles y dispersantes, pueden ser catiónicos (Na⁺, Ca²⁺, Ba²⁺) o aniónicos (CN⁻, CO₃²⁻, PO₄³⁻, SO₃²⁻).

1.1.6 Depresores.

Los reactivos depresores en un proceso de flotación de minerales incrementan la selectividad de un concentrado, volviendo a la partícula hidrofílica manteniendo en el fondo a la ganga y medios de baja ley, también se evita la flotación de uno o más minerales normalmente activables por determinado reactivo colector⁽⁵⁾.

Los métodos de depresión son variados y se agrupan de acuerdo a su propósito específico dentro del proceso de flotación:

- (1) Prevención de activación por sales solubles presentes en la pulpa.
- (2) Sellado de las superficies contra la reacción colectora.
- (3) Destrucción o nulificación de las partículas recubiertas de colector.
- (4) Provocan adsorción de agua.

Los reactivos depresores más importantes utilizados industrialmente para minerales sulfurados son los silicatos de sodio, cianuros y los almidones como el quebracho y la dextrina, en ocasiones se usa el dicromato pero este es muy contaminante por lo que se restringe su uso.

1.2. Flotación por espuma.

La flotación por espuma hoy en día ha permitido concentrar minerales diseminados de baja ley, minerales complejos y minerales con tamaño de partículas muy pequeñas, que por sus características dificultan la separación del mineral de ganga, lo que con otros procesos habrían sido incosteables.

La flotación en espuma⁽⁶⁾, es una de las más eficientes, más difundido y más complejo de todos los métodos de concentración, utiliza las diferencias en las propiedades superficiales de las partículas del mineral cuando esta es tratada con reactivos; el mineral contenido en la pulpa se manifiesta uniéndose a las burbujas de aire, estas son elevadas hasta la superficie del agua; una vez que las burbujas alcanzan la superficie, únicamente podrán continuar sosteniendo la partícula mineral si se forma una espuma estable que continuamente se estará derramando en el vertedor de la celda; de otro modo reventaran y la partícula mineral caerá de nuevo a la celda.

Este proceso se aplica a partículas relativamente finas ya que si son demasiado grandes, la adhesión entre las partículas y la burbuja será menor que el peso de la partícula.(Fig. 2)

1.3. Interacción general Mineral - Colector

Como cada mineral desarrolla una carga superficial al contacto con un medio acuoso y conociendo este fenómeno se podrá seleccionar en forma aproximada del tipo de reactivo que favorezca la fisisorción o químisorción sobre un determinado mineral.

En el proceso de flotación es importante tener conocimiento del tipo y forma que se adquiere la carga superficial de un mineral, para una adecuada selección del reactivo con el cual el mineral interaccionará favoreciendo el proceso de flotación.

La interacción entre el mineral y colector, se da por adsorción de colector en la superficie, bajo alguna de las siguientes formas⁽⁷⁾.

1) Adsorción física:

Ocurre por la interacción electrostática, esto sucede por la interacción de iones con cargas contrarias en la doble capa. La respuesta de la flotación con colectores es básicamente cuando la superficie del mineral está cargada positivamente; los colectores aniónicos son absorbidos más fácilmente pero cuando la superficie del mineral está cargada negativamente los colectores catiónicos tienden a ser absorbidos más fácilmente.

2) Interacción química:

Se pueden distinguir tres tipos de interacción química en sistemas de flotación de mineral-colector como se mencionan a continuación:

- Quimiadsorción.- Es la interacción del reactivo con la superficie, sin movimientos de átomos (iones) de sitio, en la red cristalina. Este tipo de adsorción se limita a monocapas.
- Reacción superficial.- Es la interacción de reactivos con la superficie del mineral, con movimientos de átomos metálicos de su sitio en la red cristalina, pudiendo tomar capas múltiples de productos de reacción.

- Precipitación en el seno de la solución.- La interacción de iones metálicos y reactivos, formada en el seno de la solución.

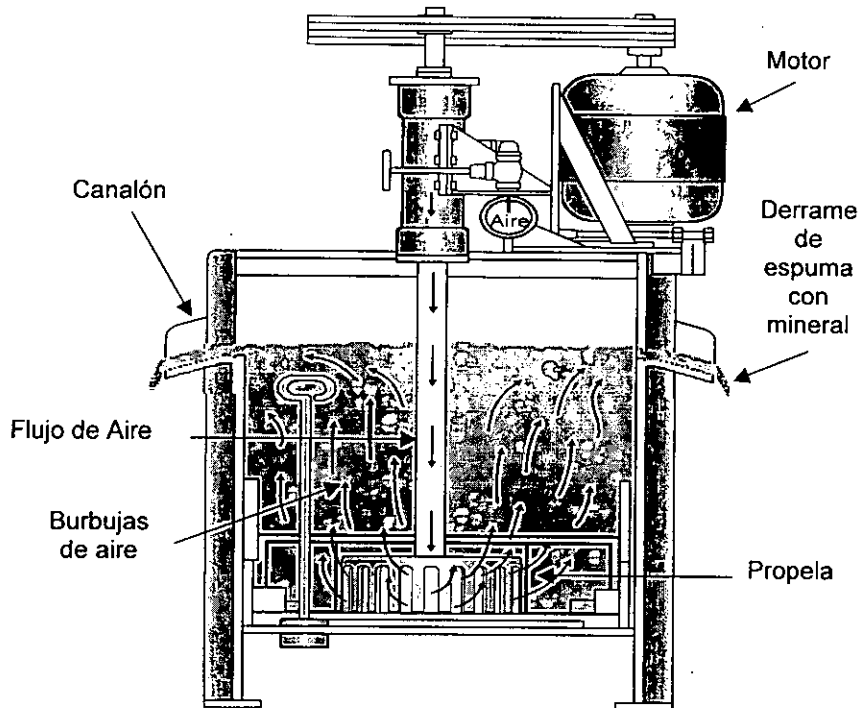


Figura 2. Celda de flotación.

CAPÍTULO 2.

GALENA-COLECTOR-DEPRESOR

2.1. Estudios del sulfuro de plomo (galena).

Las propiedades físicas y químicas del sulfuro de plomo (PbS) se mencionan a continuación:

En el sulfuro de plomo tiene un arreglo similar al sulfuro de sodio. Cada átomo de plomo tiene seis átomos de azufre vecinos a 2.9 \AA y doce átomos de plomo vecinos a 4.19 \AA .

El sulfuro de plomo tiene una forma cristalográfica cúbica con $a^0=5.92 \text{ \AA}$. y un total de 1.3 enlaces covalentes con el azufre, y 1.2 enlaces covalentes con el plomo. El sulfuro de plomo tiene un intervalo perceptible de estequiometría y se puede llegar a preparar ambas formas, ricas en plomo o ricas en azufre.

La galena está constituida principalmente de azufre = 13.4%, plomo = 86.6%, y ocasionalmente contiene en forma de sulfuros: plata, selenio, cadmio, antimonio, bismuto, cobre, y algunas veces plata y oro nativo. Los cristales de galena son relativamente puros aunque contienen impurezas en cantidades muy pequeñas. Bloem y Kroger ⁽⁸⁾ determinaron el diagrama de fases del sulfuro de plomo.

Frey⁽⁹⁾ midió la resistividad eléctrica de sulfuro de plomo sintético, y determinando que el sulfuro de plomo es un semiconductor, de su estudio derivó la siguiente relación:

$$\rho = 0.0258(1 + 0.00895T + 0.00002T^2) \rho_{hm} \cdot cm$$

donde ρ = Resistividad eléctrica

T= Temperatura en grados centígrados.

Más tarde Reichenheim y Koenniberger ⁽¹⁰⁾ obtuvieron para el sulfuro de plomo la relación siguiente:

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

Donde determinaron que conforme existe una variación de estequiometría tanto en plomo o en azufre, el sulfuro de plomo cambia de semiconductor de tipo-n a tipo-p. Bloem ⁽¹¹⁾ realizó otro estudio donde se encontró que la relación de PbS cuando cambia de semiconductor de tipo-n a uno de tipo-p con el tipo variando la cantidad de impurezas adicionales.

Las imperfecciones de la red cristalina, las variaciones en la estequiometría, los defectos de sólidos, dan como resultado una superficie con áreas de potencial electroquímico diferente. Szeglowki ⁽¹²⁾ demostró que esta heterogeneidad mediante el uso de un electrodo de microsonda. Plasnkín y Shafeev ⁽¹³⁾ mostraron que los que las fisuras, hoyos y huecos sobre la superficie de la galena tiende a ser regiones anódicas y los bordes y proyecciones a ser regiones catódicas.

2.2. Sistema Galena-Agua-Oxígeno (dominio de estabilidad).

Se han efectuado estudios para identificar las reacciones en los sistemas de flotación mediante el cálculo de condiciones termodinámicas, bajo las cuales varias especies se detectaron como estables.

Burkin y colaboradores ⁽¹⁴⁾ Toperi y Tolun ⁽¹⁵⁾ concluyeron que el sistema dado $\text{PbS-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ el sulfuro de plomo es inestable, siendo oxidado éste a PbSO_4 , PbO , HPbO_2 , excepto en condiciones fuertemente reductoras. Ellos consideraron,

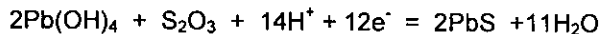
que si los agentes reductores están presentes, las reacciones de superficie deben de referirse a especies oxidadas y no a sulfuros de plomo. Los cálculos de Burkin fueron hechos de acuerdo que el sulfuro de plomo estaba oxidado, y se formaba el sulfuro estable.

Toperi y Tolum calcularon los potenciales de reducción que se requieren para asumir en la práctica que la oxidación procede mas allá del tiosulfato metaestable. Además concluyeron que el potencial de reposo de electrodo de galena y agua aereada en solución alcalina, esta formado por un potencial mixto entre el par oxígeno-peróxido para el cual se tiene:

$$E_{\text{mixto}} = 0.918 - 0.059\text{pH}$$

Donde E_{mixto} = potencial mixto.

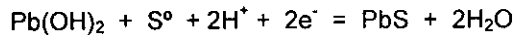
A una atmósfera de presión parcial de oxígeno, 10^{-8} M de peróxido de hidrógeno y el par sulfuro de plomo producto de oxidación. Por ejemplo, la reacción siguiente tiene el potencial más bajo a pH entre 7 y 10.



$$E_{\text{mixto}} = 0.632 - 0.737\text{pH} + 0.007\log(\text{S}_2\text{O}_3).$$

Aunque hay evidencia considerable de que el tiosulfato de plomo se encuentra como un producto de oxidación de sulfuro de plomo, y existe por lo menos el tiempo requerido para la flotación, el ión tiosulfato no fue detectado en solución como un producto de reacción del xantato con la galena que no había sido oxidado previamente. Finkelstein⁽¹⁶⁾ mencionó que las conclusiones de Toperi

y Tolum son válidas si el sulfuro fuera formado, ya que los potenciales de reducción del par sulfuro de plomo-tiosulfato. De otra manera es posible que la oxidación del sulfuro de plomo no proceda más allá de la formación inicial de azufre. Así, Sato⁽¹⁷⁾ concluyó que la reacción de formación del azufre es determinante del potencial. Esta reacción es la siguiente:



$$E_{\text{mixto}} = 0.755 - 0.059\text{pH}$$

a concentración del ion plúmbico de 1×10^{-4} M y para valores de pH hasta 10.3.

2.3. Sistema Galena-Xantato Etilico.

Para el establecimiento directo de la composición química de la superficie de galena en este sistema, Laajalehto y colaboradores(1990), realiza una investigación utilizando espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS), y espectroscopia infrarroja(IR).

Laajalehto y Col. emplearon para sus estudio dos monocristales de galena y dos muestras sintéticas en forma de película. Las películas de sulfuro de plomo (PbS), fueron depositadas sobre una superficie de carbono y un monocristal de germanio. El acondicionamiento del mineral con este colector se llevó acabo en equilibrio con aire y a un pH de 6.

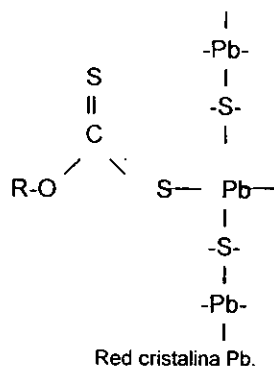


Figura 3. Representación esquemática de la adsorción de xantato en la superficie de galena, configuración uno a uno entre el átomo de plomo que se encuentra en la red cristalina de la galena con el ion xantato.

Cuando una molécula es adsorbida en una superficie, el espectro infrarrojo de la molécula, normalmente cambia. El Espectro obtenido por espectroscopia infrarroja para el sistema galena-xantato etílico, mostró un cambio significativo en la posición de las bandas del xantato. Este resultado fue interpretado por Grenler(1962), como una coordinación uno a uno entre el metal y el radical xantato (figura 3) ⁽¹⁸⁾ sin embargo, tal configuración explica la presencia de dos átomos no equivalentes de azufre en la molécula de xantato adsorbido, los cuales no son detectados en el espectro infrarrojo. Es decir, el espectro infrarrojo de este sistema no aporta evidencia clara de que la adsorción del xantato en la superficie de galena tenga una coordinación uno a uno.

Debido a los resultados obtenidos por espectroscopia infrarroja, Laajalehto y col⁽¹⁹⁾, realizó pruebas de espectroscopia fotoeléctrica de rayos X. El objetivo principal fue la de confirmar que la especie adsorbida en la superficie de la galena bajo las condiciones estudiadas es xantato de plomo.

Laajalehto encontró que la proporción molecular entre el plomo, azufre, oxígeno y carbón es de 1: 4.2: 2.75: 6.73 respectivamente. Esta proporción molecular concuerda razonablemente con la proporción para el xantato de plomo, el cual es: 1: 4: 2.6. Si el producto de adsorción es efectivamente xantato de plomo en forma molecular es necesario proponer una nueva configuración (figura 4).

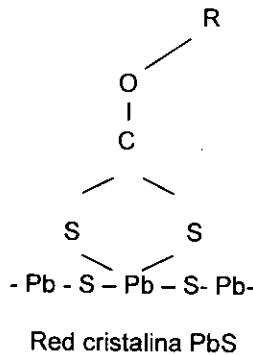


Figura 4. Coordinación dos a uno entre los átomos de azufre del ion xantato y el átomo de plomo de la red cristalina.

Según la configuración propuesta, en el proceso de adsorción, dos enlaces de plomo-azufre de la molécula de xantato de plomo se rompen y otros dos enlaces de adsorción entre átomos de xantato y átomos de plomo en la superficie se forman. Un enlace adicional se forma entre un átomo de plomo del xantato y un átomo de azufre de la superficie. Por lo tanto existen tres enlaces de adsorción para una molécula adsorbida, dando así un enlace fuerte de adsorción química. Estos resultados concuerdan con la reacción propuesta por Leppin y Rastas (1986) para la adsorción del xantato etílico en la superficie de galena bajo condiciones oxidantes.



Richardson y O'Dell⁽²⁰⁾(1985), realizaron un estudio de voltimetría cíclica en el sistema galena-xantato etílico para dar validez a la teoría propuesta por Plaskin y Shafeev(1960) referida a las características semiconductoras de los minerales de sulfuros.

La teoría de estos investigadores sugiere que la adsorción química del oxígeno convierte la superficie de galena tipo "n" a una superficie tipo "p", la cual favorece energéticamente a la oxidación de los iones xantato para producir las especies hidrofóbicas.

2.4. Sistema Galena-Xantato-Oxígeno en condiciones de flotación.

La importancia del oxígeno en la adsorción del colector en sulfuros ha sido de controversia, Investigadores como Targgart, Gaudin, Woods, encontraron que la presencia de oxígeno en la solución de xantato es fundamental para la adsorción de éste. Otro grupo de investigadores encontraron que el oxígeno presente en la monocapa inhibe la adsorción del xantato en la superficie del mineral.

Gaudin⁽²¹⁾ estudió la relación que existe entre la flotabilidad y la formación de la película causada por el colector, donde encontró evidencia de que las recuperaciones significativas en la flotación del mineral se obtienen cuando las películas formadas eran menores a la monocapa, cuando el recubrimiento es solamente de 5% al 15% de la misma:

A partir de sus estudios con relación al ángulo de contacto entre la superficie de la galena y la solución, observo que la adsorción del colector no es inmediata; un ángulo de contacto estable aparece varios minutos después de la

interacción con el mineral. Posteriormente en otra investigación propone que el xantato se oxida en la solución, formando una molécula llamada dixantógeno.

Por otro lado, se encontró que el potencial de reposo de un electrodo de galena, se desplaza a valores más negativos (catódicos) cuando se agrega xantato a la solución. Cuando la galena era lavada con un disolvente orgánico, después de haber sido tratada con este reactivo, se detectaba la presencia de xantato de plomo en los lavados.

El mecanismo de reacción propuestos por Leja y colaboradores⁽²²⁾, consiste en la formación del dixantógeno, tomando en consideración la necesidad de la presencia de oxígeno, concluyendo que el xantato se oxida a dixantógeno en la solución. Después se disocia al ser adsorbido sobre la superficie de la galena, y reacciona con el PbS para formar el xantato de plomo. Posteriormente se demostró que la reacción de xantato con galena no dependía de la formación del dixantógeno en la solución.

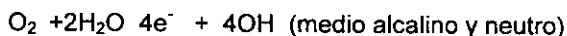
Finkelstei, propone un modelo electroquímico, el cual consiste en un mecanismo por dos etapas:

a) La primera consiste en el proceso anódico. la quimiadsorción del xantato con la formación subsecuente del xantato de plomo.



donde X es el ion xantato y PbX₂ es el xantato de plomo.

b) La segunda etapa consiste en un proceso catódico, el cual tratara la reducción del oxígeno:



Esta teoría electroquímica difiere con respecto a la propuesta por Leja, en el hecho de que la oxidación del xantato no ocurre en la zona de la solución, si no de la superficie del sólido.

Por otro lado, estudios realizados por Huerta ⁽²³⁾, mostrando el modelo electroquímico para la reacción catódica del oxígeno y la reacción anódica del xantato sobre un mineral de galena (Figura 5)

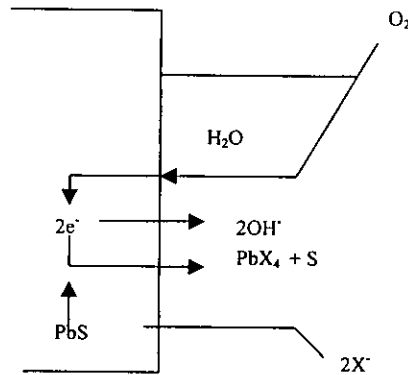


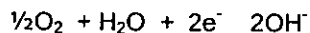
Figura 5. Modelo electroquímico propuesto por Huerta. Para la reducción del oxígeno y la oxidación del xantato sobre un mineral galena.

En la cual propone las siguientes reacciones que ocurren en el sistema xanato-oxígeno -galena en un proceso de flotación.

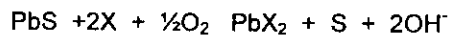
1) Para la reacción anódica:



2) Para la reacción catódica:



Sumando las dos reacciones se obtiene una reacción global:



También encontró que a mayor concentración de xantato adicionado, se incrementa el desplazamiento del potencial de reposo hacia valores más negativos. Esto es, al adicionar xantato etílico de potasio, el potencial de reposo de la galena tomo valores entre -85 y -100 mV vs SCE, 159 y además 144.5 mV E vs NHE, pero al adicionar el reactivo colector al sistema, el potencial de reposo se desplazaba en valores promedio de 80, 40 y 20 mV más negativos, para las concentraciones correspondientes de 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} M de xantato etílico de potasio. Dice también que una de las razones principales que se puede adjudicar a este comportamiento, es la generación de carga eléctrica superficial de la galena, a través de los iones determinantes de potencial mediante la interacción química específica entre la superficie de la galena y el colector denominada quimiadsorción.

2.5. Dextrina.

Cuando se trata almidón con una enzima en particular (la Amilasa de Bacillus) se generan una mezcla de dextrinas que son polisacáridos de peso molecular bajo.

Una dextrina consta de seis, siete, ocho o más unidades D-glucosa, mediante enlaces alfa-1,4 de modo que forman un anillo o brazaletes de cadena, en el que cada eslabón es hexágono piranósico. Estos anillos tienen forma de rosca, muy similar a la de los éteres corona, pero con varias diferencias importantes. La menor de ellas, α -ciclodextrina, tiene un diámetro

aproximadamente del doble que el de 18-corona-6, y su agujero (4.5 \AA de apertura) es más o menos el doble de ancho.

Este agujero es ligeramente cónico, de manera que la molécula adquiere la forma de un pequeño balde al que se ha arrancado el fondo (figura 6) ⁽²⁴⁾ sus lados los representan lazos de seis o más hexágonos, cada uno ubicado aproximadamente en el plano de los lados; la profundidad del balde es así el anillo piranósico. Por fuera el borde superior mayor, se hallan los -OH secundarios de C-2 y C-3; en torno al borde inferior, se hallan los -OH primarios de C-6, esto es, los grupos $-\text{CH}_2\text{OH}$. El interior de balde consta de tres bandas supuestas: dos unidades C-H y, en medio, una de unidades O glicosidas.

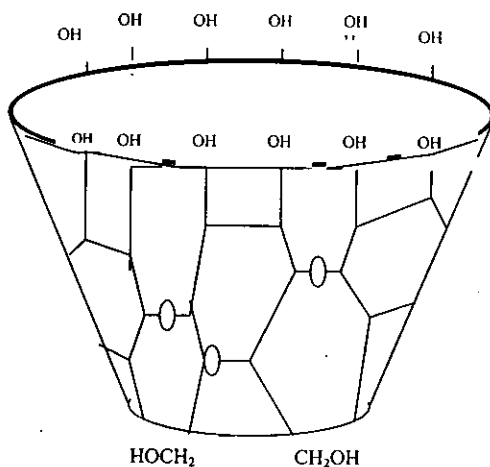


Figura .2.5.1 Representación esquemática de la dextrina

Al igual que un éter corona, una dextrina puede actuar como molécula anfitrión huésped. De hecho, fue en relación con esta propiedad de dextrina como se reconoció originalmente el fenómeno conocido ahora como la relación anfitrión-huésped. Sin embargo en contraposición con un éter corona, una dextrina tiene un exterior polar hidrófilo, mientras que su interior es lipófilo y relativamente no polar, lo que conduce de manera natural dos resultados importantes: (a) una dextrina admite en su interior lipófilo una molécula orgánica no polar como huésped, en vez de un ion; (b) su exterior hidrófilo confiere al complejo resultante solubilidad en agua. La bondad del acomodo de la molécula huésped depende de su tamaño y polaridad y del tamaño de la dextrina particular que se use.

Los efectos de la dextrina sobre reacciones químicas pueden manifestarse de varias maneras:

- a) Puede ocultar ciertas partes de una molécula huésped, y exponer otras.
- b) Modifica la conformidad del huésped.
- c) Su alineamiento lipofílico proporciona un medio no polar al huésped, pero dentro de un disolvente polar.
- d) Sus grupos OH⁻ pueden participar en la relación ya sea directamente como bases y nucleófilos ó como sitios para puentes de hidrógeno, o bien por medio de intermedios transitorios (ésteres), por ejemplo, generados por reacción con el anfitrión o con el reactivo atacante.

La utilidad particular de la dextrina como modelos de enzimas se debe al hecho de que ligan primero el sustrato y luego actúan sobre él, mediante grupos sustituyentes.

2.6. Interacción Galena-Xantato-Dextrina.

Liu y Laskowski ⁽²⁵⁾ estudiaron la interacción entre la dextrina y el hidróxido de plomo en solución acuosa y concluyeron que la dextrina tiene el propósito de deprimir a la galena en presencia de calcopirita y asumieron que la química de unión entre la macromolécula de dextrina y galena ocurre particularmente a $\text{pH}=10.8$ donde el hidróxido de plomo es estable.

Liu y Lakskowki concluyeron que las condiciones óptimas para la depresión del sulfuro de plomo (PbS) con dextrina, ocurre en el punto donde el pH del hidróxido de plomo es estable, particularmente a $\text{pH}=10.8$ como corresponde para el punto isoeléctrico del hidróxido metálico y sugieren la existencia de la unión química entre la dextrina y la superficie del mineral.

Diversos resultados muestran que la unión química de la dextrina con la galena se lleva a cabo con la presencia del xantato ya que la macromolécula de la dextrina es hidrofílica polar, no iónica y un fuerte donador de hidrógeno. Estos autores asumen que la adsorción de la dextrina sobre la galena ocurre cuando el hidróxido de plomo es muy estable y específicamente cuando los iones libres de Pb^{2+} son capaces de formar un complejo estable con la dextrina, aun en presencia del colector xantato.

CAPÍTULO 3.

IMPEDANCIA-CAPACITANCIA Y PROPIEDADES DE LOS DIELECTRICOS

3.-Fundamentos de Impedancia a Altas Frecuencias.

La técnica de Impedancia a Altas Frecuencias, es una técnica no destructiva, factible de obtener información acerca de los fenómenos químicos superficiales que ocurren en la interface mineral-solución, como es el caso de los concentrados vía flotación por espuma.

La aplicación y conocimiento de la técnica de Impedancia a Altas Frecuencias, es reciente en nuestro país, los estudios realizados por L. F. Martínez y A. Solís ^(26, 27), se describe los conceptos para entender esta técnica.

3.1.-Impedancia.

El término es utilizado para relacionar el voltaje y la corriente en un circuito eléctrico cuando éste es perturbado por el paso de corriente eléctrica alterna o bien en forma generalizada, es el concepto resistencia usando circuitos de corriente continua.

Haciendo analogía con la ley de ohm

$$Z = dE/dI$$

Se define como la diferencia de voltaje con respecto a la diferencial de corriente y se mide en unidades de resistencia (ohm).

La impedancia es un número complejo que no varía con respecto al tiempo.

Para cada valor de frecuencia corresponde un ángulo de fase y un valor absoluto de impedancia (magnitud del vector Impedancia), con los cuales se determina el vector impedancia en coordenadas polares.

En el plano complejo se representa de la forma:

$$Z = Z' + jZ'' \text{ (coordenadas cartesianas)}$$

Conociendo las expresiones Z' y Z''

$$Z' = |Z| \cos \phi \text{ Componente real.}$$

$$Z'' = |Z| \sin \phi \text{ Componente imaginario}$$

$$|Z| = \sqrt{|Z'|^2 + |Z''|^2}$$

$$\theta = \frac{Z'}{Z''}$$

La resistencia es la oposición que presentan los sistema al paso de voltaje generando una reactancia negativa, entonces el sistema tendrá características de un circuito capacitivo y cuando esta reactancia resulte positiva el sistema se comportará como un inductor.

A la parte real se le denomina Resistencia "R" y a la parte imaginaria se le llama reactancia y se expresa con la letra X por tanto tenemos que:

$$Z = R + jX$$

Donde

R es la oposición que tiene el sistema al paso de un voltaje.

X es el ángulo de fase entre el voltaje aplicada y la corriente resultante.

3.2- Capacitancia

La Capacitancia de un sistema dado de conductores depende de la geometría de los conductores (Tamaño, la forma y el espaciamiento de las placas) al igual que las propiedades del medio en que están dichos conductores (aire, vacío, materia aislante o dieléctrico).

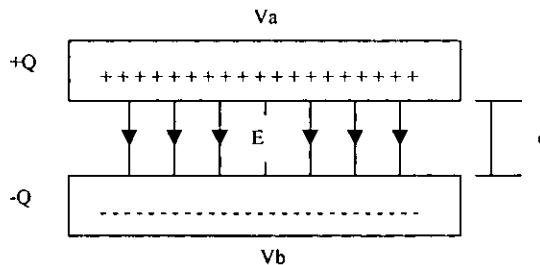


Figura 7. Capacitor de placas paralelas.

Si consideramos que las placas están en el vacío. la magnitud del campo eléctrico entre un par de laminas paralelas muy aproximadas es:

$$E = \sigma / \epsilon_0 = Q/\epsilon_0 A$$

σ = densidad superficial de carga en cada placa.

A = Area de una de las placas.

Q = Magnitud de la carga total de cada placa.

como el campo eléctrico (gradiente de potencial) es uniforme la diferencia de potencial entre las placas es:

$$V_{ab} = E d = (1/\epsilon_0) * (Qd/A)$$

$$\epsilon_0 = 8.854187818 \times 10^{-12} \text{ c}^2/\text{Nm}^2$$

A y d son constantes de un capacitor, C es una constante independiente de la carga del capacitor, y es directamente proporcional al área de las placas e inversamente proporcional a su separación.

3.2.1.- Capacitor.

Los capacitores son unos de los componentes más comunes en los circuitos eléctricos los cuales cumplen varias funciones. Puesto que no proporciona una trayectoria de conducción de electrones, se emplean para bloquear una corriente alterna que puede fluir a través del circuito.

Los capacitores se emplean con resistores e inductores para filtrar o suavizar una corriente continua variable. Los capacitores conjuntamente con los resistores, forman parte de circuitos cronizadores o temporizadores que a su vez controlan otros circuitos⁽²⁸⁾.

Un capacitor es un elementos de dos terminales que consta de dos placas conductoras separadas por un mineral aislante (dieléctrico) no conductor, en donde la carga eléctrica se almacena en las placas.

3.2.2.- Funcionamiento de un capacitor.

Cuando las placas se conectan a una fuente de voltaje, los electrones de la placa conectada a la terminal positiva se mueven hacia la fuente. Esto provoca que la placa quede cargada positivamente. Al mismo tiempo la terminal negativa de la fuente repele un número igual de electrones hacia la otra placa y queda cargada negativamente. En esta forma se produce un voltaje entre las placas.

Debido al dieléctrico que separa las placas, los electrones no se pueden mover directamente de una placa a otra. Los electrones sólo son llevados de una placa a otra, por medio del circuito que los conecta. Este flujo de electrones en los conductores que conectan el capacitor a la fuente, continúa, hasta que el voltaje entre las placas sea igual al voltaje de la fuente. Cuando esto sucede, el capacitor está cargado completamente. Un campo electrostático existe entre las placas de un capacitor cargado, y en ese campo se almacena energía.

Cuando la fuente se retira del circuito, las placas conservan sus cargas, y el voltaje permanece entre ellas. Si las placas se conectan entre si, se establecerá un flujo de electrones a lo largo del circuito en sentido opuesto de la placa negativa a la placa positiva. Cuando el voltaje entre las placas disminuye a cero, cesa el flujo de electrones y el capacitor se descarga.

3.2.3. Funcionamiento de un capacitor en un circuito de corriente alterna.

Cuando un capacitor se conecta a una fuente de voltaje de corriente alterna, la polaridad del voltaje aplicado cambia cada semiciclo. Como resultado alternativamente se carga, descarga y recarga, y cada semiciclo tiene polaridad opuesta. Aunque no existe flujo de corriente a través del dieléctrico que separa las placas.

3.2.3.1 Reactancia capacitiva

Un capacitor permite que fluya corriente alterna en un circuito, pero se opone a ella. La oposición de un capacitor al flujo de corriente alterna se

denomina reactancia capacitiva, X_c y su unidad medida es el ohm. la formula para calcular la reactancia capacitiva es:

$$X_c = 1 / (2\pi fC)$$

donde

f = frecuencia (Hz)

C = Capacitancia en faradios.

La reactancia capacitiva es inversamente proporcional tanto a la frecuencia como a la Capacitancia, es decir, cuando aumenta la Capacitancia o la frecuencia. Esta relación es de vital importancia porque los capacitores pueden determinar la frecuencia a la que puede operar el circuito.

3.3 Dieléctrico.

Es cualquier material que no tiene un número apreciable de cargas libres es decir cualquier conductor no aislante. En teoría un aislante no tiene carea neta, aun cuando el campo eléctrico varía mucho de punto apunto dentro de el mismo y se tiene interés solo sobre el campo promedio en regiones suficientemente grandes como para contener muchos átomos.

Este campo promedio es cero, ya que no existe una carga neta promedio en el dieléctrico.

La constante dieléctrica en el vacío = 1, en el aire es de 1.0006 en condiciones normales, en el vidrio ≈ 6 y en el agua vale 81.

Las constantes dieléctricas son obtenidas con frecuencia por medio de medidas de (Capacitancia) capacidad.

Si la separación entre las placas es d , la diferencia de potencial entre las placas será (de $V = De$).

$$V_v = (Q/ A\epsilon_0)*d \quad \text{Para un vacío.}$$

$$V_d = (Q/KA\epsilon_0)*d \quad \text{Para un dieléctrico.}$$

Entonces ya que $C = Q/V$ se obtiene:

$$C_v = (A\epsilon_0)/d \quad \text{Para el vacío}$$

$$C_d = K*(A\epsilon_0)/d \quad \text{Para el dieléctrico}$$

El efecto del dieléctrico ha sido el de incrementar la capacidad del capacitor por un factor igual a la cte dieléctrica.

Si se mida un capacitor sin ningún dieléctrico y se encuentra que su capacidad es C_v , si se repite la medición con un dieléctrico entre sus placas en el que se obtiene C_d entonces:

$$K = C_d/C_v$$

Constates dieléctricas de varias sustancias:

Material	K _(cte. Dieléctrica)
Vacio	1
Aire	1.006
Parafina	2.1
Aceite de petróleo	2.2
Benceno	2.26
Mica	6
Acetona	27
Alcohol metílico	27
Agua	38
Vidrio pirex 7070	4
Porcelana	7
Silicio Si	11.7
Azufre S	4
NaCl	6.12

CAPÍTULO 4.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Técnica Experimental

El desarrollo experimental que se realizó en esta tesis consta de tres etapas, primeramente se caracteriza y prepara el mineral sulfuro de plomo (galena), determinando la pureza del mineral por adsorción atómica de 86.4% de pureza, posteriormente se utiliza la técnica de Impedancia a Altas Frecuencias, con el objeto de analizar las interacciones que ocurren en el sistema mineral galena y los reactivos colector depresor (KEX-dextrina) así como mezcla de ambos sobre el mineral, con los resultados obtenidos se pretende aportar información sobre las interacciones existentes en el sistema PbS-XEK-Dextrina, a su vez con esta técnica, se pretende utilizarla como una herramienta de control más eficiente en el proceso de flotación industrial, y la tercera etapa es la realización de pruebas de flotación, estas se sugieren de acuerdo al estudio de los resultados obtenidos del sistema galena-colector-depresor utilizando la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.

El equipo que se utilizó fue el Vector Impedance Meter 4193A, Hewlett Packard. Este aparato proporciona el ángulo de fase y la magnitud del vector de impedancia para diferentes frecuencias (opera a un intervalo de frecuencias de 0.5 a 110 MHz), los valores que proporciona el equipo son susceptibles al error, debido al ruido interno del mismo, por lo se necesita corregir estos valores con el uso de expresiones que aparecen en el apéndice A. Así mismo, se muestra la celda de medición, la cual está construida de acero inoxidable con una capacidad de 5mL; tomando un papel muy importante en la veracidad de los resultados, ya que la capacitancia depende de la geometría del capacitor, y en este caso el sistema se comporta como un capacitor.

Tabla I. Tiempos de acondicionamiento del mineral Sulfuro de Plomo utilizando como reactivo depresor a la dextrina.

Intervalo de Frecuencias (MHz)	Concentración De dextrina (ppm)	Electrolito con mineral galena	Tiempo de Acondicionamiento (min.)
0.5-100	5,	x	1
	10,	x	5
	20,	x	10
	30	x	20

Tabla II. Condiciones experimentales para el reactivo depresor dextrina.

Intervalo de Frecuencias (MHz)	Concentración de Dextrina (ppm)	Electrolito sin Mineral galena	Electrolito con mineral galena	Tiempo de Acondicionamiento (min.)
0.5-100	5,	x	x	5
	10,	x	x	5
	20,	x	x	5,10
	30	x	x	5,10

Tabla III. Condiciones experimentales para la mezcla de reactivos depresor-colector (Dextrina-Xantato etílico de potasio) en presencia de mineral galena.

Intervalo de Frecuencias (MHz)	Concentración de KEX (M)	Concentración del reactivo (ppm)	Electrolito con mineral galena	Tiempo de Acondicionamiento (min.)
0.5-100	5×10^{-2} y 5×10^{-4}	5	x	5
		10	x	5
		20	x	5,10
		30	x	5,10

Las concentraciones de Xantato Etilico de Potasio (KEX) son las más utilizadas en la industria, por ello son usadas en la realización de este trabajo.

Se reduce el tamaño de partículas de mineral, para que todas las pruebas en un intervalo de tamaño de -200 a +400 micrones; para ello se utiliza un mortero y las cribas correspondientes para su clasificación.

4.2. Condiciones Experimentales.

Para producir las condiciones existentes en un proceso de flotación de galena y ser estudiadas, se utilizó una solución reguladora que proporcionó el pH adecuado de 9.1, esta solución se preparada a partir de la mezcla de borato de sodio 2.896 gramos y ácido bórico 0.615g, aforado a 1000ml con agua d estilada. El equipo de medición que se utilizo fue un pHmeter Corning modelo 125. toda experimentación se realiza al pH mencionado.

Una vez que se tiene la granulometría y la solución reguladora establecida, el siguiente paso es de preparar las soluciones de Xantato etílico de Potasio KEX y dextrina requeridas.

La pulpa se agrega al tubo de ensaye y se procede a acondicionar el mineral. Es muy importante mencionar que la pulpa debe presentar una agitación vigorosa, para favorecer la interacción entre el mineral y el reactivo. El cual se realiza utilizando el Rop Tap, con una base para fijar los tubos de ensaye, esto se realizo para obtener un equilibrio de fases en el sistema, después se procede a la realización de las pruebas en el Vector Impedance Meter 4193^a, Hewlett Packard, a frecuencias de 0.5,1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100Mhz, para obtener el ángulo de fase y la magnitud de la impedancia a cada frecuencia. Para facilitar el cálculo de todas las variables que se involucran en el desarrollo de esta tesis, sé realizó un programa en hoja de calculo Microsoft Excel (ver apéndice B)

Todas las pruebas de flotación realizadas fueron llevadas acabo con los siguientes parámetros en base al estudio previo de la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.

Ley % Pb	0.5	1.0	2.5
Cantidad de Mineral (gramos).	300	300	300
Volumen de líquido (ml).	1200	1200	1200
Velocidad de agitación (r.p.m).	1800	1800	1800
Tiempo de acondicionamiento con mineral (min).	5	5	5
Tiempo de acondicionamiento con mineral con espuma (min).	1	1	1

4.3. Estudios Realizados

- Estudio de constantes dieléctricas del reactivo depresor dextrina.
- Estudio de constantes dieléctricas, pérdidas dieléctricas y conductividad del sulfuro de plomo (galena) en presencia del reactivo dextrina.
- Estudio de constantes dieléctricas, pérdidas dieléctricas y conductividad del sulfuro de plomo (galena) en presencia de mezclas de reactivos colector-depresor (KEX-dextrina).
- Pruebas de flotación en base al estudio generado por la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.
- Análisis químico de las muestras obtenidas en el proceso de la celda de flotación utilizando la técnica de absorción atómica.

4.4. Reactivos y Equipo Utilizados.

- ⊗ Xantato Etilico de Potasio.
- ⊗ Soluciones de Dextrina.
- ⊗ Ácido Bórico, reactivo analítico, Baker.
- ⊗ Borato de Sodio, reactivo analítico, Baker.
- ⊗ Agua destilada.
- ⊗ Mineral galena 86.4% puro.
- ⊗ Espumante HERCOMIN A-030

Equipo Utilizado.

- ⊗ Vector Impedance Meter 4193^a, Hewlett Packard.
- ⊗ pHmeter Corning modelo 125.
- ⊗ Balanza analítica. Modelo Startorius BP310P.
- ⊗ Rop-Tap, sistema de agitación.
- ⊗ Celda de flotación de laboratorio, Denver modelo D-12Lab.
- ⊗ Espectro Fotómetro de Absorción Atómica, Perkin Elmer Modelo 3100.

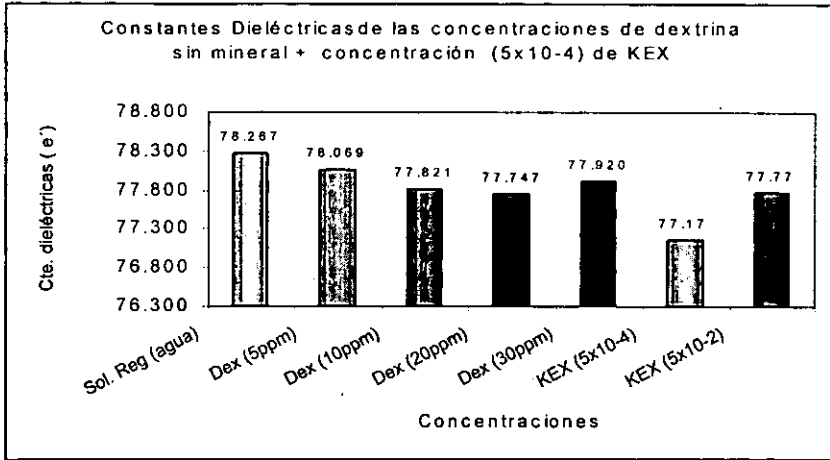


Figura 10. Constantes dieléctricas de las diferentes concentraciones de dextrina en presencia del reactivo KEX ($5 \times 10^{-2} M$) a 100 MHz.

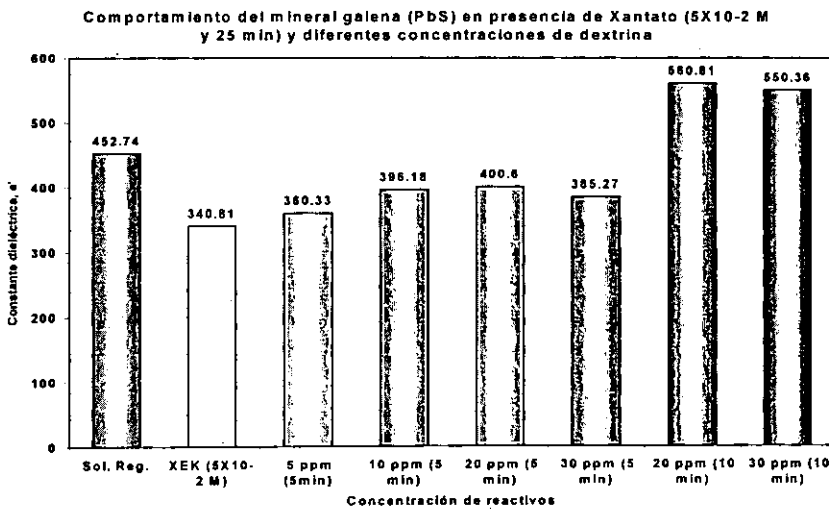


Figura 11. Comportamiento del mineral galena en presencia del reactivo KEX ($5 \times 10^{-2} M$) a diferentes concentraciones de dextrina a 100 MHz.

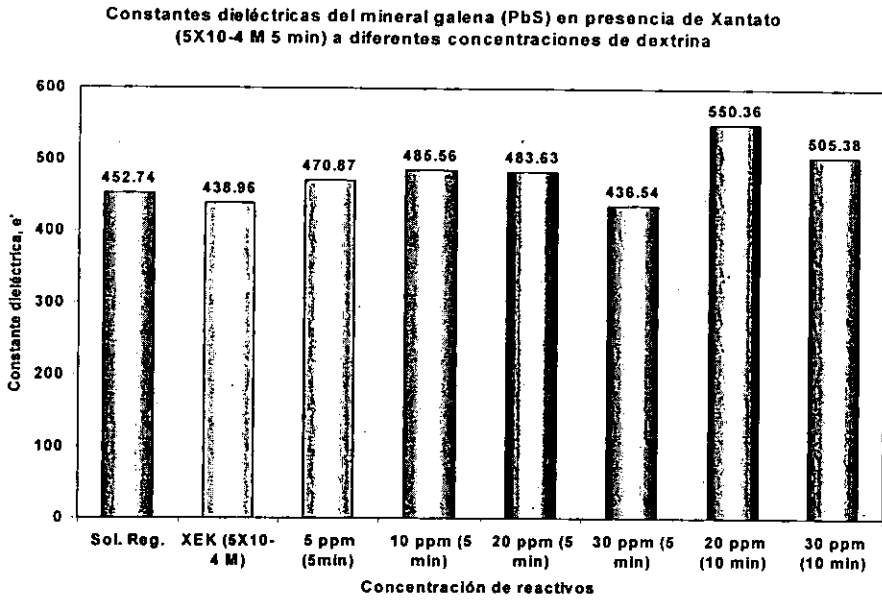
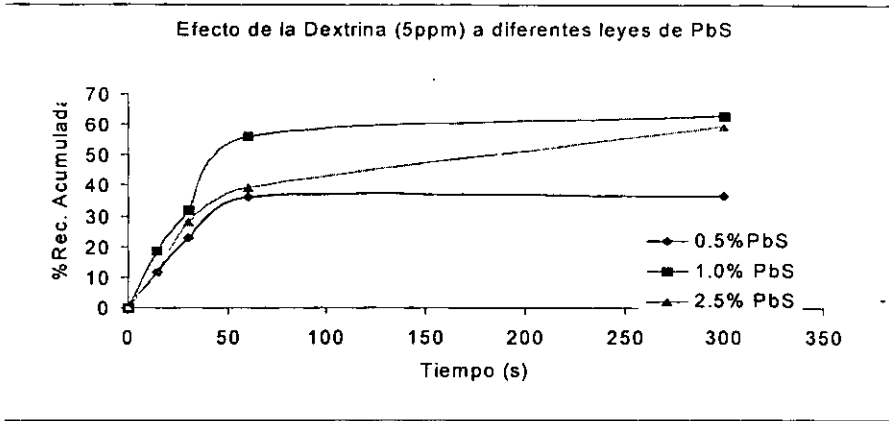
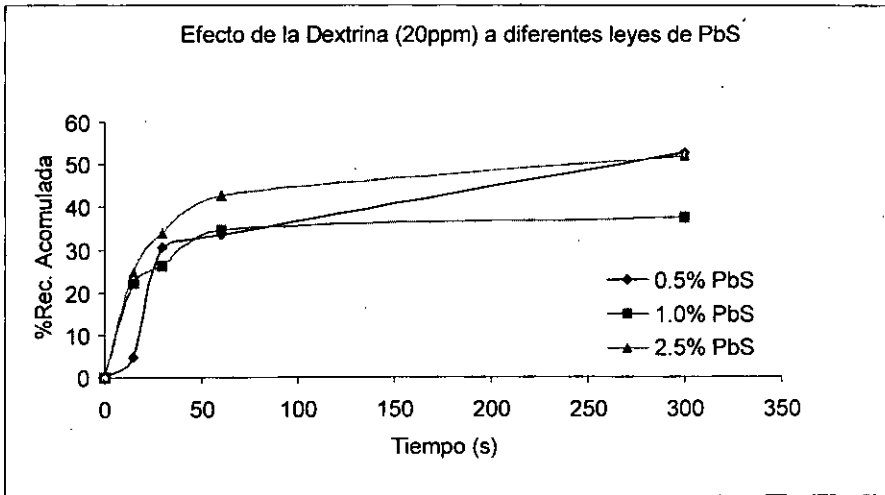


Figura 12 comportamiento del mineral galena en presencia del reactivo KEX (5×10^{-2} M) a diferentes concentraciones de dextrina a 100MHz.

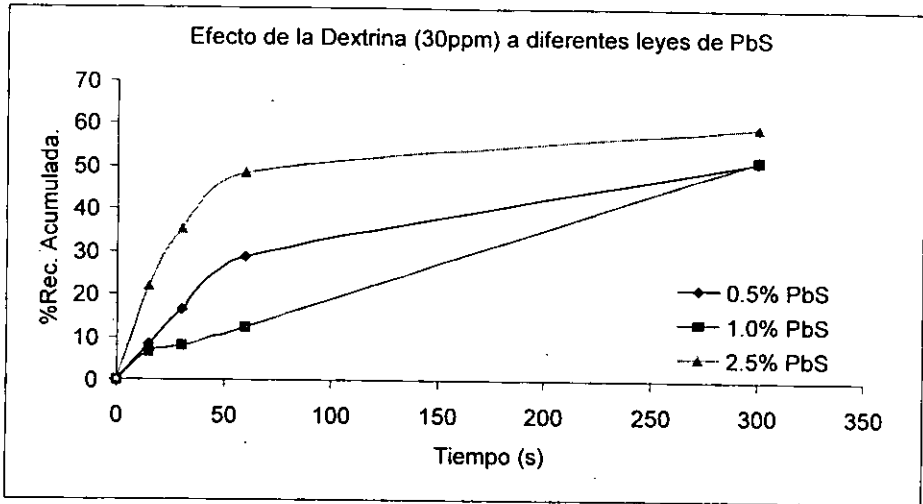
Gráficas de Flotación.



Gráfica 1 Efecto de la concentración de la Dextrina (5ppm) sobre un minerales a diferentes leyes de PbS acondicionado con Xantato Etilico de Potasio (KEX) $5 \times 10^{-4} M$.



Gráfica 2 Efecto de la concentración de la Dextrina (20ppm) sobre un minerales a diferentes leyes de PbS acondicionado con Xantato Etilico de Potasio (KEX) $5 \times 10^{-4} M$.



Gráfica 3 Efecto de la concentración de la Dextrina (30ppm) sobre un minerales a diferentes leyes de PbS acondicionado con Xantato Etilico de Potasio (KEX) $5 \times 10^{-4}M$.

Tabla 5.1. Resultados de flotación de distintas leyes de %Pb del mineral galena acondicionadas con reactivos depresor Dextrina(5ppm) y una concentración de colector Xantato Etilico de Potasio ($5 \times 10^{-4}M$), con pH de 9.1, el tiempo de acondicionamiento fue 5 minutos.

Ley de 0.5% Pb

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	0.30	0.10	54.93	0.16	11.73	11.73
C2	30	0.36	0.12	43.82	0.16	11.10	22.83
C3	60	0.52	0.18	36.20	0.19	13.45	36.28
C4	300	0.39	0.13	0.84	0.00	0.23	36.51
Colas	---	288.30	99.46	0.31	0.89	63.49	100.00
Alimen.		289.86	100.00	0.484	1.40	100.00	

Ley de 1.0% Pb

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	0.28	0.097	48.34	0.13	4.68	4.68
C2	30	1.87	0.64	39.88	0.74	25.7	30.41
C3	60	0.34	0.11	25.96	0.089	3.07	33.49
C4	300	0.57	0.19	98.55	0.56	19.28	52.77
Colas	---	286.2	98.93	0.479	1.3733	47.225	100
Alimen.		289.3	100	1.00	2.90	100	

Ley de 2.5% Pb

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	0.89	0.31	52.21	0.46	6.73	6.73
C2	30	0.17	.06	50.14	0.08	1.25	7.98
C3	60	0.87	0.3	34.48	0.3	4.37	12.36
C4	300	8.09	2.83	33.7	2.72	39.4	51.76
Colas	---	275.2	96.48	1.21	3.33	48.23	100
Alimen.		285.2	100	2.426	6.92	100	

Tabla 5.2. Resultados de flotación de distintas leyes de %Pb del mineral galena acondicionadas con reactivos depresor Dextrina(20ppm) y una concentración de colector Xantato Etilico de Potasio ($5 \times 10^{-4}M$), con pH de 9.1, el tiempo de acondicionamiento fue 5 minutos.

Ley de 0.5% Pb.

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	0.714	0.24	38.04	0.27	17.71	18.71
C2	30	0.612	0.21	31.81	0.19	13.41	32.13
C3	60	0.875	0.3	39.74	0.34	23.96	56.09
C4	300	1.347	0.46	7.7	0.11	7.15	63.25
Colas	---	286.1	98.77	0.18	0.53	36.74	100
Alimen.		289.648	100	0.5	1.45	100	

Ley de 1.0% Pb

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	1.403	0.48	41.74	0.58	22.10	22.1
C2	30	0.311	0.10	34.96	0.11	4.1	26.2
C3	60	0.612	0.21	36.14	0.22	8.35	34.55
C4	300	0.4	0.13	19.14	0.07	2.89	37.44
Colas	---	285.9	99.05	0.58	1.6573	62.55	100
Alimen.		288.623	100	0.917	2.6495	100	

Ley de 2.5% Pb

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	1.25	0.43	54.77	0.68	8.31	8.31
C2	30	1.145	0.40	58.97	0.67	8.2	16.52
C3	60	1.195	0.41	83.65	0.99	12.14	28.66
C4	300	2.917	1.02	63.92	1.86	22.65	51.31
Colas	—	278.3	97.71	1.44	4.00	48.68	100
Alimen.		284.737	100	2.89	8.23	100	

Tabla 5.3. Resultados de flotación de distintas leyes de %Pb del mineral galena acondicionadas con reactivos depresor Dextrina(30ppm) y una concentración de colector Xantato Etilico de Potasio ($5 \times 10^{-4} M$), con pH de 9.1, el tiempo de acondicionamiento fue 5 minutos.

Ley de 0.5.% Pb.

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	0.409	0.14	41.42	0.17	11.61	11.61
C2	30	0.485	0.169	49.93	0.24	16.6	28.22
C3	60	0.392	0.137	42.05	0.16	11.3	39.53
C4	300	1.098	0.38	26.89	0.29	20.25	59.78
Colas	---	283.56	99.16	0.20	0.58	40.21	100
Alimen.		285.944	100	0.5	1.45	100	

Ley de 1.0% Pb

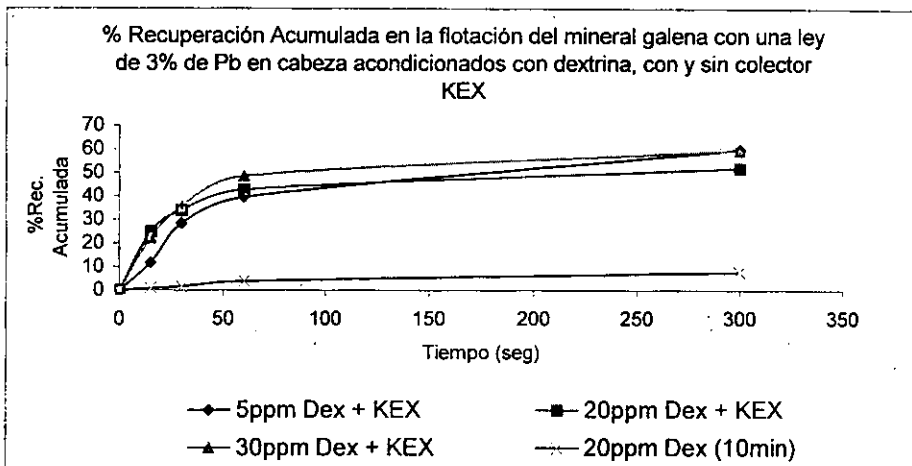
	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	1.353	0.47	53.17	0.71	24.81	24.81
C2	30	0.595	0.2	44	0.26	9.03	33.85
C3	60	0.578	0.2	45.01	0.26	8.97	42.82
C4	300	0.725	0.25	36.37	0.26	9.09	51.92
Colas	---	283.3	98.59	0.49	1.4	48.07	100
Alimen.		286.55	99.72	1.01	2.89	100	

Ley de 2.5% Pb

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	1.936	0.67	74.65	1.44	22.034	22.034
C2	30	1.321	0.45	66.84	0.88	13.46	35.49
C3	60	1.403	0.48	61.08	0.85	13	48.56
C4	300	1.392	0.48	51.41	0.71	10.91	59.47
Colas	---	281.25	97.89	0.94	2.65	40.52	100
Alimen.		287.302	100	2.28	6.56	100	

Tabla 5.4. Resultados de flotación del mineral galena 3.0 %Pb, acondicionado con reactivo depresor Dextrina (30ppm) a pH de 9.1, el tiempo de acondicionamiento fue 10 minutos.

	Tiempo (s)	Peso (g)	%Peso	%Ley del elemento	Contenido metálico (g)	%Recuperación	%Recuperación acumulada
C1	15	2.1343	0.71	3.4	0.072	0.847	0.847
C2	30	0.2074	0.069	24.34	0.05	0.589	1.43
C3	60	0.3877	0.13	52.46	0.2	2.37	3.81
C4	300	1.144	0.38	28.56	0.32	3.82	7.63
Colas	---	296.12	98.7	2.67	7.9	92.36	100
Alimen.		299.99	100	3	8.56	100	



Gráfica 4. Efecto de la concentración de la dextrina en ausencia y presencia del colector KEX., pH 9.1.

CAPÍTULO 6.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de los sistemas en estudio se presentan en tres etapas, en las dos primeras se analizan en función de los valores de las constantes dieléctricas a la frecuencia de 100 MHz, en última etapa se analizan los resultados de las pruebas de flotación, donde se compara con los resultados de la técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.

Etap 1. Pruebas experimentales del reactivo depresor dextrina a las concentraciones mencionadas en el apartado de condiciones experimentales, en ausencia y presencia del mineral galena (PbS).

Etap 2. Se reporta el comportamiento experimental del sistema de mezcla de reactivos depresor-colector (Dextrina + Xantato Etilico de Potasio) a concentraciones diluidas y concentradas en presencia y ausencia del mineral galena.

Etap 3. Análisis de pruebas de flotación, con la correspondiente comparación entre estos resultados y los que expide la técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.

Etap 1. Dextrina

En esta etapa se observó el efecto de la concentración del reactivo dextrina en ausencia del mineral galena.

En la figura 1 se muestran los valores de constantes dieléctricas del electrolito dextrina en ausencia de mineral, donde al incrementar las concentraciones del depresor no existió un aumento significativo en los valores de las constantes dieléctricas, el intervalo entre la máxima y mínima concentración

del depresor (5ppm-30ppm) con $\epsilon' = 77.45$ y $\epsilon' = 77.65$ respectivamente, estos valores son cercanos a los reportados para el agua ($\epsilon' = 81$). Esto sucedió aún cuando las concentraciones de dextrina son elevadas, permaneciendo sin cambios considerables en la constante.

En la figura 2 se observa el comportamiento que sufre el mineral galena (PbS) con el reactivo depresor dextrina a diferentes concentraciones y tiempos de acondicionamiento.

En esta figura podemos observar que al incrementar la concentración del depresor al tiempo de acondicionamiento de 5 minutos, existió una elevación de valores de la constante dieléctrica hasta un máximo de $\epsilon' = 560.81$, para la concentración de 20 ppm, esto es, un 20% mayor con respecto al valor de la constante en ausencia de dextrina, manifestándose así una interacción química considerable, no sucediendo así a la concentración de 30 ppm y menores a 20 ppm, en donde el valor de la constante dieléctrica disminuye hasta $\epsilon' = 436.09$.

Al incrementar el tiempo de acondicionamiento a 10 minutos se presentaron valores cercanos a los obtenidos en 5 minutos con la misma tendencia a disminuir a la concentración más elevada. Podemos decir entonces que la mayor adsorción química entre la dextrina en la galena se da a un tiempo de 5 minutos y 20ppm de depresor, $\epsilon' = 560.81$.

Se puede citar entonces que ha existido una interacción entre el reactivo depresor y el mineral galena, modificándose superficialmente, y que la adsorción que ha ocurrido es del tipo químico, ya que existe una diferencia muy elevada entre la constante dieléctrica que presenta el mineral en ausencia del reactivo

depresor ($\epsilon' = 452.74$) y la constante $\epsilon'' = 560.81$ a la concentración de 20ppm de dextrina.

Conviene suponer que el aumento de los valores de constante dieléctrica es atribuido a la formación de un organometálico que modifica a la superficie del mineral haciéndola hidrofílica, llevando así la depresión a la galena de acuerdo a la reacción:



este tipo de productos de reacción proporciona entonces valores de alta constante dieléctrica, además estas constantes son muy estables y reproducibles en un intervalo de 10 a 100 MHz (ver apéndice C).

De acuerdo a los resultados obtenidos en este sistema, donde se consideró el tiempo de acondicionamiento de 5 minutos, podemos proponer que el mineral galena puede ser deprimido con buenos resultados en un proceso de flotación a la concentración de 20ppm de dextrina.

Este postulado lo podemos soportar a partir de las pruebas experimentales efectuadas por J. De la Rosa⁽²⁹⁾, en la cual él estudio los productos de reacción entre el mineral galena y la dextrina a partir de la técnica de voltametría cíclica, donde determinó la formación del organometálico en la interacción de estos.

Etapa 2. Mezcla de Depresor-Colector.

Las constantes dieléctricas de las mezclas de los reactivos dextrina a distintas concentraciones (5ppm, 10ppm, 20ppm y 30ppm), en ausencia de mineral figura 3 y la adición de dos concentraciones de xantato etílico de potasio (5×10^{-2} y 5×10^{-4} M) no presentaron alguna variación significativa en los valores de las constantes dieléctricas, estas constantes se situaron en un intervalo de 77.77 y 77.17, por lo que el sistema en estudio, adquirió valores cercanos de las constantes dieléctricas ligeramente próximas al colector cuando se estudio en sistema sin mineral ($\epsilon' = 78.26$).

En la figura 4 y 5 se muestran los resultados experimentales que determinaron el comportamiento del mineral en presencia de la mezcla de los reactivos colector y depresor.

Efecto de depresor dextrina + colector KEX sobre el PbS

En este sistema se observó que al aumentar la concentración de dextrina (5ppm, 10ppm y, 20ppm y 30ppm) con las concentraciones del colector (5×10^{-2} M y 5×10^{-4} M), durante 5 minutos de acondicionamiento, las constantes dieléctricas registran un incremento máximo del 14%, respecto a la constante ($\epsilon' = 340.81$) obtenida cuando el mineral es acondicionado únicamente con el colector KEX (5×10^{-2} M), disminuyendo el valor de la constante ($\epsilon' = 360.33$) a la concentración más elevada. Este comportamiento es análogo al utilizar la mezcla de dextrina + KEX (5×10^{-4} M), la diferencia radica en que las constantes dieléctricas aumentan del orden de 7% a 10%, de igual manera sucede para la concentración de 30ppm de dextrina ya que esta constante disminuye por debajo del valor obtenido cuando

el mineral es acondicionado con únicamente el colector KEX (5×10^{-4} M) $\epsilon' = 438.96$, teniendo características propias de un agente colector.

Efecto de la concentración del colector en presencia de la dextrina con el mineral PbS.

En esta comparación se puede observar que los valores de las constantes dieléctricas disminuyen en un promedio de 60 unidades para casi todas las concentraciones de dextrina, al aumentar la concentración del KEX a (5×10^{-2} M). Este comportamiento implica que el efecto de modificación superficial de hidrofobicidad de la galena se ve disminuido, debido al dominio de valores altos de la constante dieléctrica, propios de la dextrina. Esto puede sustentarse de una forma sólida al obtener y comparar casi los mismos valores de constante dieléctrica para la dextrina en ausencia de colector.

Efecto del tiempo de acondicionamiento.

Al incrementar el tiempo de acondicionamiento a 10 minutos, del mineral PbS con la dextrina; las constantes dieléctricas de ambas concentraciones de colector aumentan en un orden del 40% con respecto al tiempo de 5 minutos y 64% respecto a la concentración 5×10^{-2} M en ausencia de dextrina. Así mismo se obtuvo un incremento del 14% para la mezcla dextrina + colector 5×10^{-4} M. También se puede observar el incremento del 25% con respecto a la concentración más baja del colector, lo cual implica que existe una mayor interacción del reactivo dextrina cuando se incrementa el tiempo de acondicionamiento.

Es entonces probable que al utilizar esta última condición en la flotación, tendremos problemas en la depresión del mineral, debido a que existe una

competencia de interacción de reactivos depresor y colector, por modificar superficialmente al mineral.

Por lo tanto, el tiempo de acondicionamiento permite una mejor adsorción entre la dextrina y el mineral galena volviéndola hidrofílica, aún cuando sea adicionado conjuntamente con el reactivo colector, que a su vez éste deja de operar con las funciones de flotador y predominando el efecto depresor de la dextrina.

Etapa 3. Pruebas de Flotación

En esta última etapa se realizaron pruebas de flotación, considerando las condiciones estudiadas por la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias, con el fin de aplicar y seleccionar las condiciones más adecuadas para la depresión de la galena.

Al analizar los resultados de flotación obtenidos en este trabajo para el mineral galena con tres distintas leyes en presencia del colector $KEX\ 5X10^{-4}\ M$ y la dextrina, manifiestan una tendencia similar a las constantes dieléctricas obtenidas con la técnica de impedancia a altas frecuencias.

Al ir incrementando la ley de Pb en cabeza de 0.5 a 2.5% en las pruebas de flotación, (ver tablas 5.1) para una concentración del depresor dextrina de 5ppm, el porcentaje de recuperación acumulada aumenta hasta 52.77% para leyes de Pb en cabeza de 2.5, sin embargo, a leyes de 0.5% de Pb en cabeza, el porcentaje de recuperación acumulada es del 37%, lo que indica que esta concentración de dextrina ha modificado superficialmente al mineral PbS en mayor grado para la ley más baja del mineral, no sucediendo así para leyes más altas. Por esta razón

pareciera que esta concentración de depresor no es suficiente para modificar a las leyes más altas. Podemos mencionar entonces que existe un dominio más elevado del colector ante la dextrina; este comportamiento puede observarse con mayor claridad en la gráfica 1, donde al incrementar la ley del mineral en cabeza el porcentaje de recuperación acumulada aumenta, tomando en consideración que el contenido metálico en un concentrado de plomo debe de ser bajo y de acuerdo con el estudio realizado por la técnica de Impedancia a Altas Frecuencias, las constantes dieléctricas aumentan reflejando una modificación superficial, llegando a deprimir parcialmente a la galena.

Al operar con una concentración de dextrina de 20ppm, gráfica2, se puede observar que hay un efecto mayor de depresión de este reactivo, al ser comparado con la gráfica 1. Los valores de recuperaciones acumuladas son más baja que al flotar con 5ppm de dextrina. Es importante mencionar que se obtuvo la recuperación más de 37.44% para la ley en cabeza de 1%Pb, (ver tabla 5.2), Podemos decir que a leyes bajas se observa el efecto de colector del xantato, mientras que a leyes más altas se presenta el efecto depresor aún cuando está presente el colector KEX. Al haberse estudiado las constantes dieléctricas de este sistema, se registraron, las condiciones de mayor modificación superficial del PbS, que al utilizar las concentraciones de 5ppm y 30ppm, por lo que podemos reforzar que en efecto hay una mayor probabilidad de deprimir con mejores resultados a los valores de Pb. El efecto de la concentración de la dextrina (30ppm) mostró recuperaciones de galena más elevadas que las pruebas anteriores hasta valores de 59.79%, (tabla 5.3), donde se puede observar un incremento del efecto colector

a altas leyes en cabeza, así como una cinética de flotación más lenta, gráfica 3, de tal manera no hay un efecto significativo de depresión en el sistema estudiado ya que al parecer no hubo interacción con el reactivo dextrina, lo que se pudo predecir mediante el estudio de dielectricidad al utilizar la técnica de impedancia a altas frecuencias.

Para demostrar que en efecto, el estudio de las constantes dieléctricas nos dan una indicación de lo que sucedería entre el mineral PbS y los reactivos utilizados para modificar superficialmente a este, se realizó una prueba de flotación en donde de acuerdo al estudio de sus constantes dieléctricas, se tendría una máxima depresión. La prueba efectuada fue llevada a cabo, en un sistema donde el mineral tenía una ley en cabeza del 3.0% y las concentración de depresor dextrina fue de 20ppm, con 10 minutos de acondicionamiento, en ausencia de xantato. Los resultados obtenidos (tabla 5.4) mostraron la máxima depresión de los valores de plomo, siendo su recuperación de 7.63%, este comportamiento se puede observar con más detalle en la gráfica 4.

A partir de los resultados obtenidos por la técnica de dielectricidad, se demuestra que es factible llegar a tener información confiable para predecir el comportamiento de la superficie del mineral galena después de haber interactuado con el reactivo depresor dextrina, así mismo determinar la concentración adecuada para que el mineral galena tenga las mejores condiciones para ser deprimida.

CAPÍTULO 7.

CONCLUSIONES

- A partir de las constantes dieléctricas, que resultan de la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias, es posible detectar las modificaciones del tipo adsorción química superficial, que sufre el mineral galena al ser acondicionadas con reactivos ya sea colector ó depresor.
- El estudio de las constantes dieléctricas de sistemas, donde se efectúan interacciones a bajas concentraciones de reactivos, permiten entender los mecanismos involucrados en el proceso de flotación selectiva del mineral galena.
- El efecto del depresor llega a manifestarse reproducible y significativamente en presencia de colector KEX($5 \times 10^{-4} \text{ M}$ y $5 \times 10^{-2} \text{ M}$) a concentraciones de dextrina iguales o mayores a 20ppm al ser acondicionadas durante 10 min, mejorando adsorción de este reactivo en el mineral galena.
- Al adicionar conjuntamente la dextrina con el reactivo colector KEX existe una competencia de estos reactivos por modificar la superficie del mineral, al incrementar el tiempo de acondicionamiento de 5 a 10 minutos, el efecto que predomina es el del reactivo depresor, favoreciendo la adsorción en mineral galena, aún en presencia del reactivo colector KEX, como resultado el mineral presenta una superficie hidrofílica.

- Al realizar las pruebas de flotación, considerando las condiciones estudiadas con la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias, los resultados fueron significativos, demostrando que es factible llegar a tener información confiable, con la cual se puede predecir, el comportamiento de la superficie al interactuar con algún reactivo, ya sea depresor, colector o mezcla de estos.

- Con la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias fue posible determinar la concentración más adecuada para que el mineral galena sea deprimido.

CAPÍTULO 8.

APÉNDICES

APENDICE A

METODOLOGIA DEL CALCULO.

En este apéndice se presenta la metodología de calculo para determinar la constante dieléctrica y conductividad eléctrica del sistema estudiado.

Primero se necesita saber que el equipo empleado durante la experimentación (vector Impedance Meter 4193^a, Hewlett Packard) cuenta con un par de expresiones que corrigen las resistencias internas del equipo y el ruido interno que se genera al hacer las pruebas, proporcionando un valor confiable de impedancia real, con base en su resistencia y su reactancia. Estas expresiones son:

$$R_x = \frac{(|Z_0| \cos \theta_m - |Z_m| \cos \theta_0) * |Z_m| * |Z_0|}{(|Z_0| \cos \theta_m - |Z_m| \cos \theta_0)^2 + (|Z_m| \sin \theta_0 - |Z_0| \cos \theta_m)^2} - |Z_0| \cos \theta$$

Para la parte imaginaria

$$X_x = \frac{(|Z_0| \sin \theta_m - |Z_m| \sin \theta_0) * |Z_m| * |Z_0|}{(|Z_0| \cos \theta_m - |Z_m| \cos \theta_0)^2 + (|Z_m| \sin \theta_0 - |Z_0| \cos \theta_m)^2} - |Z_0| \sin \theta$$

Cabe mencionar que estas ecuaciones son validas cuando $Z_0 \gg Z_s$.

Donde:

Z_m y θ_m son la magnitud de la impedancia y el ángulo de fase del sistema medido, respectivamente.

Z_0 y θ_0 son la magnitud de la impedancia y el ángulo de fase del circuito abierto, en este caso aire.

Z_s y θ_s son las magnitud

es de impedancia y el ángulo de fase de un circuito cerrado, en este caso mercurio. Una vez obtenida los componentes reales de impedancia, se procede a conocer la magnitud y el ángulo de fase real del vector impedancia, mediante las siguientes expresiones:

$$Z_x = \sqrt{R_x^2 + X_x^2}$$

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{X_x}{R_x}$$

En esta etapa cabe señalar, que para cada frecuencia es necesario tomar dichos valores de Z_o , θ_o , Z_s y θ_s para obtener los valores de impedancia reales.

En este trabajo las lecturas utilizadas de estos parámetros son:

frecuencia MHz	al re		Mer curio	
	θ_o	Z_o	θ_s	Z_s
0.5	-90	65000	10.9	0.5
1	-90	33000	14.4	0.5
2	-89.8	16413	23.3	0.5
5	-89.8	6593.3	44.3	0.7
10	-89.8	3300	62	1.1
20	-89.5	1657.3	74	2.1
30	-89.5	1244.1	77.5	3.05
40	-89.6	831	81	4
50	-89.6	691.3	82.2	4.95
60	-89.6	551.7	83.4	5.9
70	-89.6	481.5	84.1	6.9
80	-89.6	411.3	84.9	7.9
90	-89.4	368.8	85.4	8.5
100	-89.3	236.3	86	9.1

Tabla 8.1 valores obtenidos para los circuitos abierto y cerrado

Como paso a seguir se deben de calcular los valores de Rx y Cx, de igual forma para cada frecuencia mediante las siguientes ecuaciones

$$R_x = \frac{|Z_x|}{\cos \theta_x} = (\Omega)$$

$$C_x = -\frac{\text{sen } \theta_x}{\omega |Z_x|} * 1 \times 10^{-12} = (pF)$$

Donde:

Rx es la resistencia real, Cx es la capacitancia real, Zx es la magnitud de impedancia real θ_x es el ángulo de fase real, ω es la frecuencia angular = $2 * \pi * f(\text{Hz})$.

Una vez determinadas la resistencia y la capacitancia real, como paso a seguir es determinar la permitividad compleja ($e^* = e' + e''$ donde e' es la constante dieléctrica y e'' son las pérdidas de dielectricidad). Las ecuaciones que aquí se presentan son obtenidas a partir del trabajo de Gottman en 1984:

Constante dieléctrica:
$$e' = \frac{-C_a + \sqrt{C_a^2 + 4C_a K f^2 C_x}}{2C_a K f^2}$$

Pérdidas de dielectricidad:
$$e'' = \frac{1}{R_x \omega C_a (1 + 2e' K f^2)}$$

Donde C_a y K son las constantes de la celda, C_a esta dada en pF y K en MHz²;

f = Frecuencia en MHz.

C_x = Capacitancia del sistema.

R_x = Resistencia del sistema.

ω = Frecuencia angular (Hz).

Como se demuestra a continuación, dichos parámetros son adimensionales.

Para e' :

$$2C_a K f^2 = 2 * C_a(\text{pF}) * K(\text{MHz}^{-2}) * f^2(\text{MHz}^2) * C_x(\text{pF}) = (\text{pF})^{1/2} = \text{pF}$$

$$-C_a = \text{pF}$$

$$4C_a K f^2 C_x = 4 * C_a(\text{pF}) * k(\text{MHz}^2) * C_x(\text{pF}) = (\text{pF}^2)^{1/2} = \text{pF}$$

$$e' = (\text{pF} + \text{pF}) / \text{pF} = \text{pF} / \text{pF} = \text{adimensional}$$

Para e'' :

$$R_x \omega C_a = R_x(\Omega) * \omega(\text{Hz}) * C_a(\text{pF})$$

$$(1 + 2 e'' f^2) = 1 + (2 e'' K(\text{MHz}^2) * f(\text{MHz}))$$

$$e'' = 1 / (\Omega \text{Hz pF}) * (\text{o}) = \text{adimensional.}$$

Como se menciona antes, C_a y K son las constantes de la celda.

$$C_a = 0.1924657764$$

$$K = 7.268674106 \times 10^{-8} \text{ MHz.}$$

Y el paso final se calcula la conductividad eléctrica por medio de la siguiente expresión:

$$\sigma = \epsilon_0 \epsilon'' \omega = (\Omega^{-1} m^{-1})$$

El cual $\epsilon_0 = 8.854187818 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ Constante de permitividad o la constante dieléctrica del vacío).

APÉNDICE B

Este programa se realizó en Hoja de cálculo Microsoft Excel el cual tiene la siguiente forma:

Número de celdas																
fila	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	f	Z _m	θ _m	Z _o	θ _o	Z _s	θ _s	R	X	Z _x	θ _x	R _x	C _x	e'	e''	sig

Para el caso de la celda A1, se encuentra el valor de la frecuencia los cuales son: 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100.

En las celdas B1, C1, D1, E1, F1, G1, los valores a utilizar, son los que el aparato proporciona al momento de llevar a cabo las mediciones, el cual es conocido.

B1 = Impedancia del circuito abierto (aire)

C1 = Ángulo de fase del circuito abierto (aire).

D1 = Impedancia del circuito cerrado (mercurio).

E1 = Ángulo de fase del circuito cerrado (mercurio).

Celda H1

Se tiene la ecuación para R, la operación que se efectúa es la siguiente:

$$=(((D1 * \cos(C1/57.296) - B1 * \cos(E1/57.296)) * B1 * D1) / ((D1 * \cos(C1/57.296) - B1 * \cos(E1/57.296))^2 + ((B1 * \text{SENO}(E1/57.296) - D1 * \text{SENO}(C1/57.296))^2)) - (F1 * \cos(G1/57.296))$$

Celda I1

Obtención del valor de X con la siguiente fórmula:

$$=(((D1*SENO(C1/57.296)-B1*SENO(E1/57.296))*B1*D1)/((D1*COS(C1/57.296)-B1*COS(E1/57.296))^2+((B1*SENO(E1/57.296)-D1*SENO(C1/57.296))^2))- (F1*SENO(G1/57.296))$$

Celda J1

Continuando con el desarrollo se tiene el valor de Z_x , para la cual se tiene la siguiente expresión:

$$=RAIZ(H1^2+I1^2)$$

Celda K1

La fórmula que toma θ_x

$$=ATAN(I1/H1)*57.296$$

Celda L1

El paso a seguir es determinar el valor de la resistencia real R_x ,

$$=J1/COS(K1/57.296)$$

Celda M

El sistema C_x esta constituido de la siguiente manera:

$$=(-SENO(K1/57.296)/(2*3.1416*A1*10^6*J1))*1x10^12$$

Celda N1

Para el calculo de la constante dieléctrica

$$=(0.1924657764+RAIZ((0.1924657764)^2+(0.1924657764*0.00000007268674106*(A1)^2*M1)))/(2*0.1924657764*0.00000007268674106*(A1)^2)$$

Celda O1

Para el calculo de la perdida de dieléctricidad:

$$=(1/((L1*2*3.1416*A1*10^6*1.924657764E-13)*$$
$$(1+(N1*0.00000007268674106*(A1)^2))))$$

Celda P1

Como punto final se realiza el calculo de la conductividad eléctrica:

$$=8.854187818E-12*o1*2*3.1416*A1*10^6$$

APENDICE C
TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 8.1 Influencia de la concentración de la dextrina en el mineral galena (PbS)

Frecuencia	ϵ'	ϵ'	ϵ'	ϵ'	ϵ'	ϵ'	ϵ'
MHz	Dextrina 5ppm	Dextrina 10ppm	Dextrina 20ppm	Dextrina 30ppm	Solución reguladora	Dextrina 20ppm(10 min)	Dextrina 30ppm(10min)
0.5	7664.266581	8532.0239	10104.6287	6945.16826	6877.27929	9975.343666	7842.346796
1	3657.494781	4418.216682	5331.268817	3513.476153	3526.197036	5260.997896	4080.576727
2	2030.573941	2286.677179	2764.08884	1823.911534	1833.693376	2766.226993	2342.593099
5	953.1636238	1079.715097	1295.89969	889.1560511	900.3761101	1307.506492	1038.947092
10	667.3842412	738.2527026	897.9971874	640.310469	657.9581432	914.2091787	753.7696653
20	568.9360947	623.5825489	759.9228149	554.3892125	574.3822299	714.7915802	666.2002216
30	543.1323165	589.1992074	713.9485223	530.3080135	551.147009	729.5643713	627.5093991
40	522.1705328	567.8038203	685.3923919	511.4829632	531.5507436	698.4276855	604.5575505
50	507.5237147	550.171993	654.6231864	499.5996667	516.4578255	665.4840583	584.9393127
60	484.718426	527.1459453	629.9846182	479.5794166	498.2724066	641.1411825	559.9393127
70	473.2153041	510.8199008	606.1437209	464.7704215	482.3617865	617.328387	541.505402
80	458.3501159	493.4557348	582.3003932	449.7368267	466.3688984	591.9912695	522.0666345
90	450.8678177	486.0003361	569.0947319	441.4297453	459.5657023	579.2279686	511.5457533
100	444.396109	478.0262211	560.8059195	436.0866441	452.7428134	560.3666697	506.3787997

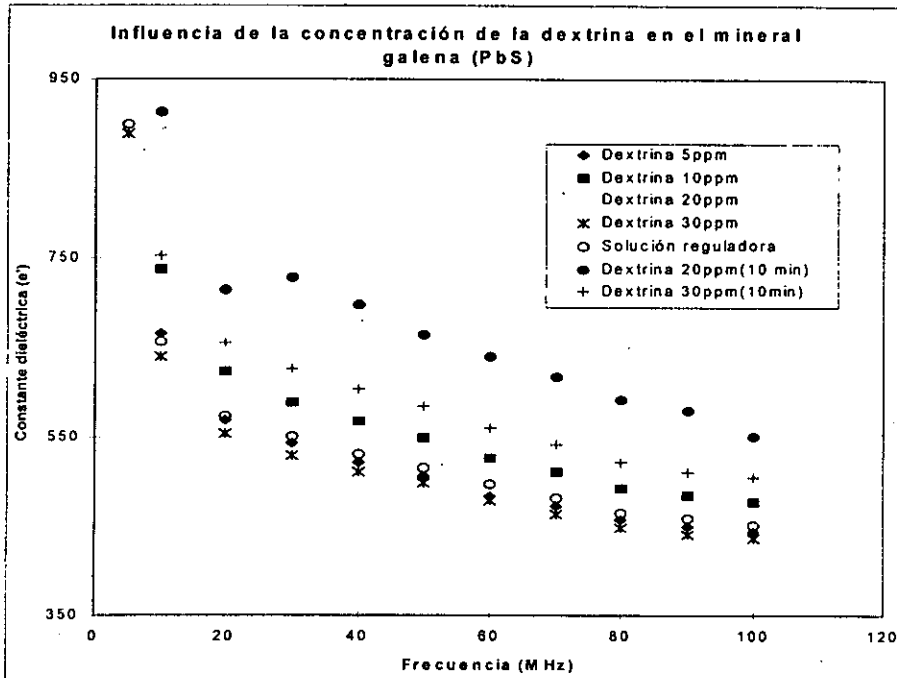


Tabla 8.2 Constantes Dieléctricas a diferentes frecuencia del sistema mineral galena acondicionada con Xantato ($5 \times 10^{-2} M$) a diferentes concentraciones de dextrina

Frecuencia (Mrz)	e'	e'	e'	e'
	Dex 5ppm	Dex 10ppm	Dex 20ppm	Dex 30ppm
0.5	13473.51313	15184.5321	13710.2017	13098.7217
1	7555.284912	8687.27823	7722.08668	7381.84671
2	3949.798975	4524.61798	4080.83371	3911.84389
5	1579.575579	1828.51286	1654.38948	1439.4203
10	839.651721	982.672323	907.319296	866.225765
20	547.8880905	661.464143	613.196553	575.960896
30	485.3675161	571.743968	537.871548	499.347446
40	449.1660044	525.138301	495.757986	459.974376
50	427.1380645	499.861593	475.504345	439.758547
60	404.4562464	468.847308	446.952123	414.283787
70	388.1421852	451.477194	429.615583	397.100102
80	375.2919049	437.130847	415.42145	384.653323
90	367.4889145	429.680631	410.30503	376.957041
100	366.4022713	428.243647	414.036482	378.221991

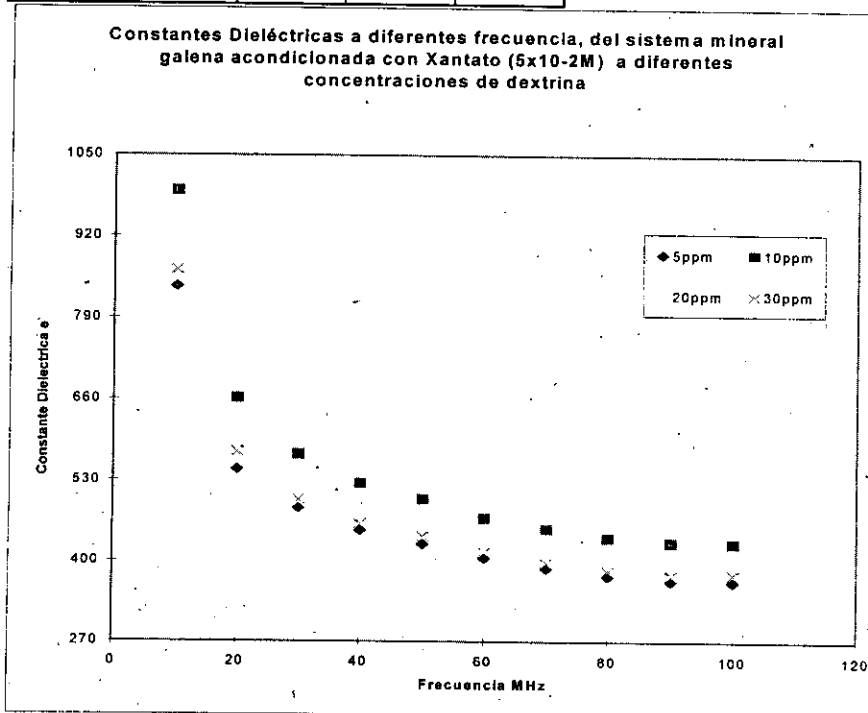


Tabla 8.3 Comportamiento del mineral galena acondicionado con Xantato (5×10^{-4}) durante 5 min a diferentes concentraciones de dextrina

Incurso	e'	e'	e'	e'	e'	e'	e'	e'
MHz	KEX(5×10^{-4})	Dextrina 5ppm	Dextrina 10ppm	Dextrina 20ppm	Dextrina 30ppm	Solución reguladora	Dextrina 20ppm(10 min)	Dextrina 30ppm(10 min)
0.5	5185.2265	4970.46	5593.4269	5295.844	4470.5316	6877.27529	9975.343666	7842.346796
1	2701.2029	2603.3082	2918.253	2713.854	2331.02	3626.197036	5260.997866	4080.576727
2	1460.2362	1432.1472	1576.7429	1466.2568	1259.8919	1833.893376	2765.225993	2342.990069
5	785.96391	805.99411	869.81957	819.70338	718.70927	900.3761101	1307.505492	1038.947032
10	613.46393	646.17178	510.00451	651.01013	602.21444	657.9581432	914.2091787	753.7666663
20	552.06626	591.46701	631.68972	606.71426	544.03298	574.3822299	714.7919802	666.2002216
30	533.3369	572.50191	608.53	586.47338	528.29807	551.147009	729.5543713	627.5096991
40	516.12012	554.91174	588.19225	569.71716	433.09662	531.5937436	688.4276666	604.5575606
50	501.36062	537.512	568.83996	441.37692	466.13615	516.4578265	665.4940683	594.9099127
60	486.10968	505.512	546.16968	532.73901	483.97436	488.2740066	641.1411625	569.9099127
70	467.27668	501.97026	526.1696	515.54408	466.40306	482.3617866	617.328997	541.505402
80	454.96947	486.26251	507.22666	497.03283	460.12666	466.968694	591.9912666	522.0666346
90	446.07093	477.56676	494.90918	480.45133	442.7709	469.5557023	579.2279666	511.5467633
100	438.95743	470.67339	486.56766	483.62942	436.53944	452.7428134	560.3666997	505.3767997

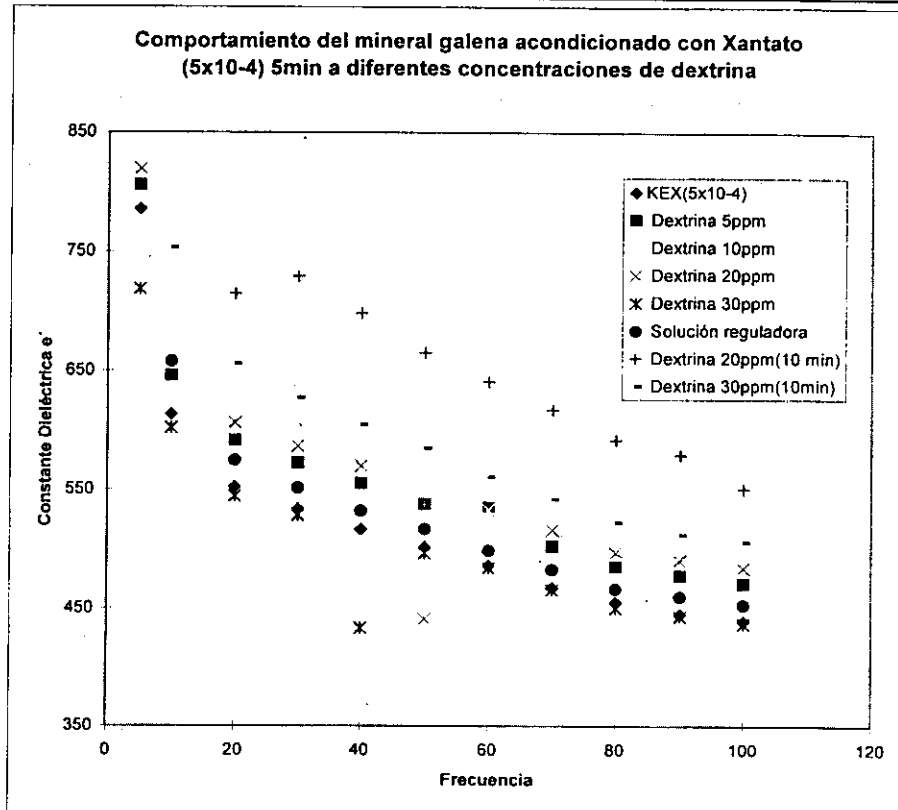
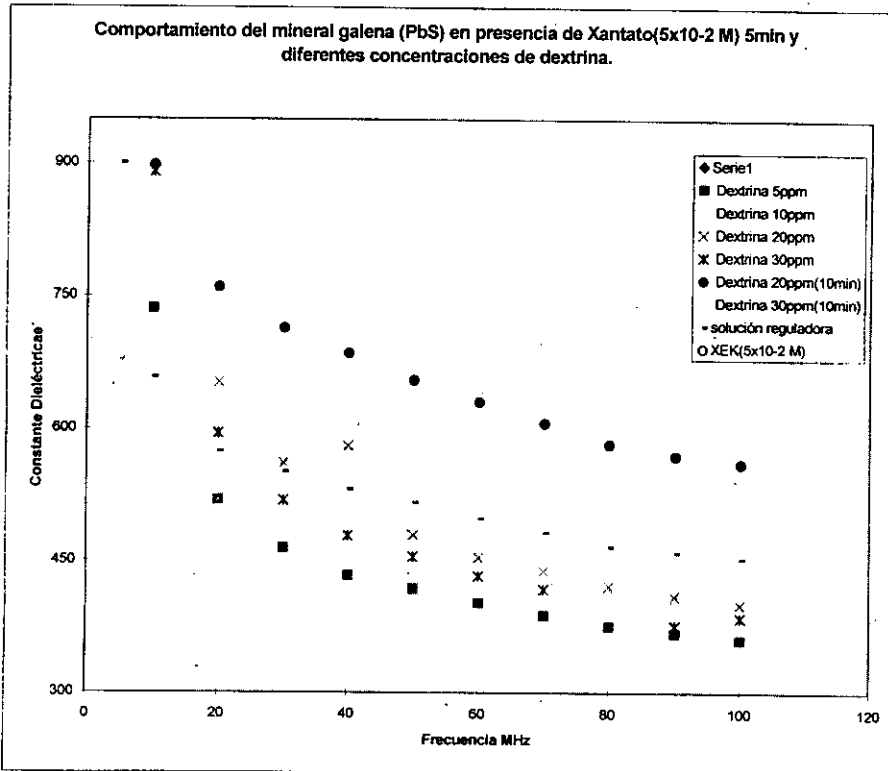


Tabla 8.4 Comportamiento del mineral galena (PbS) en presencia de Xantato(5x10⁻² M) durante 5min a diferentes concentraciones de dextrina.

Medida	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'
MHz	XEK(5x10 ⁻² M)	Dextrina 5ppm	Dextrina 10ppm	Dextrina 20ppm	Dextrina 30ppm	Dextrina 20ppm(10min)	Dextrina 30ppm(10min)	solución reguladora	
0.5	10104.6287	11510.48668	16467.81914	15511.44431	14917.50602	10104.6287	9975.34366	687.27929	
1	5331.269817	6265.704101	9448.879546	8848.379667	7768.940543	5331.269817	5260.997896	3526.197006	
2	2764.08984	3227.054151	5466.824539	4737.214643	4078.922432	2764.08984	2765.225863	1833.883376	
5	1295.89969	1312.678575	2064.005468	1930.171439	2477.90866	1295.89969	1307.506492	900.5761101	
10	897.9971874	735.7773688	1074.14386	1017.870023	890.3570489	897.9971874	914.2091787	667.9681432	
20	759.9228149	519.4598489	673.1019587	651.8150736	594.3173787	759.9228149	714.7915802	574.3822299	
30	713.9485223	464.8277879	599.6045666	580.6996653	518.8399821	713.9485223	723.5543713	551.147009	
40	685.3923919	433.1570946	513.7701329	580.2225948	478.7408654	685.3923919	688.4278665	531.5607436	
50	664.6231864	418.6127009	479.897111	480.2654975	454.836394	664.6231864	665.4840663	516.4578255	
60	629.9846182	402.7625786	455.508226	454.4600226	433.0488872	629.9846182	641.1411825	482.3578665	
70	606.1437209	387.9779325	440.1341321	439.1953737	417.8573091	606.1437209	617.328387	482.3578665	
80	582.3003932	375.6871301	422.7976238	421.2388039	278.0733187	582.3003932	591.9912666	466.3888984	
90	568.0947319	367.8996667	409.5484072	410.3148972	376.2978921	568.0947319	579.2279666	469.5657023	
100	560.8069195	360.3308912	396.1821001	400.6042129	365.2699232	560.8069195	560.3569697	452.7428134	



Resultados de flotación.

Tabla 8.5. Porcentaje de recuperación acumulada para distintas leyes en cabeza (0.5, 1.0 y 2.5%) de Pb en cabeza, utilizando reactivo colector KEX ($5 \times 10^{-4} \text{M}$) + Reactivo depresor dextrina (5ppm) a un pH de 9.1.

Muestra	tiempo	%rec 0.5%Pb	%rec acom 0.5%Pb	%rec 1.0%Pb	%rec acom 1.0%Pb	%rec 2.5%Pb	%rec acom 2.5%Pb
1	0	0	0	0	0	0	0
2	15	11.7296958	11.7296958	18.7177796	18.7177796	11.6179881	11.6179881
3	30	11.1038667	22.8335625	13.4165736	32.1343532	16.6088009	28.226789
4	60	13.4514145	36.284977	23.9628226	56.0971759	11.3064407	39.5332297
5	300	0.22929834	36.5142754	7.15618638	63.2533623	20.2509867	59.7842164
COLAS	---	63.4857246	100	36.7466377	100	40.2157836	100
CONC TOTAL	---	100		100		100	

Tabla 8.6. Porcentaje de recuperación acumulada para distintas leyes en cabeza (0.5, 1.0 y 2.5%) de Pb en cabeza, utilizando reactivo colector KEX ($5 \times 10^{-4} \text{M}$) + Reactivo depresor dextrina (20ppm) a un pH de 9.1.

Muestra	tiempo	%rec 0.5%Pb	%rec acom 0.5%Pb	%rec 1.0Pb	%rec acom 1.0%Pb	%rec 2.5%Pb	%rec acom 2.5%Pb
1	0	0	0	0	0	0	0
2	15	4.68867688	4.68867688	22.1071579	22.1071579	24.8189207	24.8189207
3	30	25.730108	30.4187849	4.10077944	26.2079373	9.03286631	33.851787
4	60	3.07144744	33.4902324	8.34869762	34.5566349	8.97646826	42.8282553
5	300	19.2847614	52.7749938	2.89100345	37.4476384	9.09815216	51.9264074
COLAS	---	47.2250062	100	62.5523616	100	48.0735926	100
CONC TOTAL	---	100		100		100	

Tabla 8.7. Porcentaje de recuperación acumulada para distintas leyes en cabeza (0.5, 1.0 y 2.5%) de Pb en cabeza, utilizando reactivo colector KEX ($5 \times 10^{-4} \text{M}$) + Reactivo depresor dextrina (30ppm) a un pH de 9.1.

Muestra	tiempo	%rec 0.5%Pb	%rec acom 0.5%Pb	%rec 1.0%Pb	%rec acom 1.0%Pb	%rec 2.5%Pb	%rec acom 2.5%Pb
1	0	0	0	0	0	0	0
2	15	8.31830465	8.31830465	6.73582342	6.73582342	22.0347624	22.0347624
3	30	8.20351152	16.5218162	1.25334953	7.98917296	13.4612335	35.4959959
4	60	12.1445185	28.6663347	4.374434	12.363607	13.0653446	48.5613405
5	300	22.6534351	51.3197697	39.402956	51.7665629	10.9114573	59.4727978
COLAS	---	48.6802303	100	48.2334371	100	40.5272022	100
CONC TOTAL	---	100		100		100	

CAPÍTULO 9.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Wills B.A "Mineral Processing Technology." Pergamon Press, 1992 p.p 1-27
- 2.- Taggart, F A. Handbook of Mineral Dressing Ores and Industrial Mineral N.Y USA. 1954 p.90.
- 3.- Fundamentos de la teoría Práctica de los empleos de los reactivos de flotación. S. V. Dudendon, LY shubov, LA, Glazunov p.p 65-79 271-287
- 4.- Leja Joan. Surface chemistry of Froth Flotation, Plenum Press USA 1982 p 356
- 5.- Fustenau M. C Miller S.D Kuhm M.C Chemistry of Flotation AIME 1980.
- 6.- Wills B.A "Mineral Processing Technology." Pergamon Press, 1992 p.p 457-544
- 7.- Fustenau D.W, Editor Adsorption of flotation Reagents of Minerals Surface.
- 8.- Bloem J. And Froger F. A The P-T-X phases Diagram of the Lead- Sulphur System
Z. Phys. Chem; 7, 1956 p 1-14.
- 9.- Frey G. Die Elektrische Leitfähigkeit des Kristallisierten Bleisulfides. Z Electrochem 36, 1930, 511-523.
- 10.- Koenigsberger J Über ein Temperaturgesetz der Elektrischen Leitfähigkeit Fester Einheitslicher Substanzen und Einige. Folgerungen daraus. Phys. Z., 7, 1906, 570-8
- 11.- Bloem J. Controlled Conductivity in Lead Sulphides Single Crystal. Phillips Res. Rep., 1956, 273-336.
- 12.- Szeplowski Z. Electric Potential of Local Galvanic Elements on Galena and Their Influence upon the of Potassium Xanthate. (Proc. 3rd Int. Congr. Surface Activity, Vol2) 1960, 110-11.

- 13.- Planskin I. N. And Shafeev R.Sh. A Study of Influence of some Surface Semi-conductivity Properties on the Interaction between Potassium Buytl-xantato and Sulphide Mineral. In Phisical interfaces, 1960,253-68.
- 14.- Sato M. Oxidation of Sulfide Ore Bodies. II. Oxidation Mechanism of Sulfide Minerals at 25° C. Econ. Geol., 55,1960, 1202-31.
- 15.- D. Troperi y R. Tolun. Electrochemical Study and Termodinamic Equilibra of The Galena-Oxygen Xanthate Flotation System. Institute of Mining and Metallurgy, 78, 1969, C191-7.
- 16.- Finkelstein N.P. Granville A. And Allison S.A. Review Reaction in Flotation System Galeana-Xanthate-Oxygen. Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. C: Mineral Process. Extr. Metall.),C1-29.
- 17.- Sato M. Oxidation of Sulfide Ore Bodies. II. Oxidation Mechanism Of Sulfide Minerals at 25° C. Econ. Geol., 55, 1960, 1202-31,32.
- 18.-Gaudin A.M. and Prellés G.S. Surface Areas of Flotación Concentrates and the Thickness of Collector Coatings. Trans. Am. Inst. Ingrs. 169,1946, Pag. 200-280.
- 19.- Laajalehto K. Y col. On The XPS Identification of the Products of Xanthate Sorption at the Surface of Galena. Internacional Journal of Mineral Processing, 1993. P.p. 123-147.
- 20.- Richarson P.E O'Dell C.S Semiconducting Characteristic of galena Electrodes Journal Electrochemical Society, 1985. P.p 1350-1356.
- 21.- Gaudin A.M. and Prellés G.S. Surface Areas of Flotation Concentrates and the Thickness of Collector Coatings. Trans. Am. Inst. Ingrs. 169,1946, Pag. 300-350.
- 22.-Valverde V impedancia Electroquímica de la galena en condiciones de flotación Tesis Lic. México 1992, Facultad de Química U.N.A.M. pag 35

- 23.- Leja Joan. Surface Chemistry of Froth Flotation, Plenum Press USA 1982 p 228-258
- 24.- Huerta C. A Estudios de cinetica de Flotación en menas sulfuradas a Partir de Modelos Electroquímicos Tesis de maestría México, 1991, Facultad de Química, U.N.A.M. pag 54-55,60-62,70-73.
- 25.- Liu And Laskowski
Dielectrical Analysis of Xantato Adsorption on galena in the presence of Dextrin, Else Science Publisher B. V Amsterdam 1983
- 26.-Martinez Castro L. Análisis dieléctrico de la galena en presencia de xantato etílico de potasio, dicromato de potasio y mezcla de estos, por medio de la técnica de impedancia a altas frecuencias. Tesis de Licenciatura UNAM.
- 27.- Solis Gallardo Armando. Estudio de dielectricidad del sistema PbS-KEX- $K_2Cr_2O_7$ bajo condiciones de flotación. Tesis de Licenciatura UNAM.
- 28.-Bueche Frederich J., Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería Tomo II editorial Mc GraW Hill, México 1990, pag 238-241.
- 29.-J de la Rosa Tesis de licenciatura 1998
- 30.- Francis W. Sears, Mark W. Zemansky, hugh D. Young., Física Universitaria, Editorial Addison – Wesley Iberoamericana, México D.F. 1986 pag 599-607.
- 31.-Halliday D and Resnick R. Física parte 2 C.E.C.S.A: México 1991 pag 18-35.