

10  
2ej.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

"ANALISIS DIELECTRICO DE LA GALENA EN  
PRESENCIA DE XANTATO ETILICO DE POTASIO.  
DICROMATO DE POTASIO Y MEZCLA DE ESTOS.  
POR MEDIO 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 :  
LEOBARDO FERNANDO MARTINEZ CASTRO



MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

264865 1998



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE  
VOCAL  
SECRETARIO  
1er. SUPLENTE  
2do. SUPLENTE

Prof. Joan Genescá Longueras  
Prof. Antonio Huerta Cerdán  
Prof. Francisco Javier Rodríguez Gómez  
Prof. Carlos Rodríguez Rivera  
Prof. Faustino Juárez Sánchez

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Laboratorio de Procesos de Separación y Concentración, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Química, Edificio "D", U.N.A.M., México D.F.

ASESOR DEL TEMA:



M. en C. Antonio Huerta Cerdán.

SUSTENTANTE:



Leobardo Fernando Martínez Castro

## AGRADECIMIENTOS

Te doy las Gracias **Dios** mío,  
por abrirme la luz del  
entendimiento y haberme permitido  
realizar un objetivo más en mi vida.

### A MIS PAPAS:

**Leobardo Martínez Vázquez**

**Antonia Castro Anota**

Por ese ejemplo que me han inculcado desde niño, de ser siempre un triunfador, y quiero agradecerles el apoyo y amor que me han brindado e inculcado los buenos mejores valores de la vida el cual me siento muy orgulloso.

### A MI ESPOSA E HIJA:

**Irma Romero Alvarado**

**Cintha Osiris Martínez Romero**

Les doy las gracias por haberme soportado tanto en esos momentos tan difíciles que algunas veces llegue a pensar en no poder continuar más.  
Sin embargo ustedes han sido mi ilusión la cual depende mi vida.

### A MIS HERMANOS

**Gustavo, Ricardo<sup>1</sup>, Antonia, Julieta,**

**Sergio, Argelia.**

A ustedes por formar parte fundamental en mi vida y por esa unión familiar que siempre nos ha caracterizado.

### A MIS PADRINOS

**Mario Olivares Rosas**

**Rosario Martínez Vázquez**

Por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

### A MIS TIOS

**Raymundo, Felipe, Juan Manuel, Cristina, Francisca, Juaquina, German, Carmela, Juana, Jacinta, Octaviano.**  
Por su gran amistad la cual siempre ha sido fundamental en mi formación

### A MIS CUÑADOS Y PRIMOS

**Oscar, Julio, Elsa, Paula, Georgina, Orlando, Concepción, Octavio, Mario, Jorge, Maricela, Laura, Lluvia, Luis**  
Gracias por su amistad.

### A MI COMPADRE Y AMIGO

**Gustavo Reyes**

**Gloria Figueroa**

Por la amistad la cual siempre ha sido sincera.

### A MIS AMIGOS DE LA INFANCIA

**Kaly, Toño, Poncho, Abde, Toñote, Mine.**  
Por los momentos los cuales hemos vivido juntos.

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO ESPECIALMENTE  
A LA FACULTAD DE QUÍMICA**  
La máxima casa de estudios, la cual siempre he pertenecido.

**A MI ASESOR DE TESIS**  
**M. en C. Antonio Huerta Cerdán**  
Le agradezco la paciencia que me tuvo.  
Además de los sabios consejos que en todo  
momento me brindo, los cuales fueron  
fundamentales para la realización de esta  
tesis. Gracias por trasmitirme sus  
enseñanzas.

**A MI JURADO**  
**Dr. Juan Genescá Llongueras**  
**Dr. Francisco Javier Rodríguez Gómez**  
Por haberme dedicado su valioso tiempo en  
la revisión de este documento.

**A GABRIEL NIETO RESENDIZ**  
Por su optimismo y grandes deseos de  
superación los cuales siempre me motivaron.  
Te doy la gracias por toda la ayuda que me  
brindaste.

**A MIS AMIGOS DE GENERACIÓN**  
**Adán, Alejandro Segura, Roberto T,**  
**Arturo L., Erick, Adrián, Alejandro S,**  
**Pablo, Fernando, Elias, Hugo, Arturo**  
**T., Carlos, Jaime, Roberto, Israel,**  
**Manuel, Edgar.**  
Por los momentos los cuales conviví con  
ellos.

**A MIS AMIGOS DE LA CARRERA**  
**Trini, Luis, Carlos, Jorge T., Miguel F,**  
**Alfredo, Eva, Mauricio, Raúl, Lázaro,**  
**Jorge R. Hector, Verónica, Ofelia, Arturo**  
**A. Ivan, Erick, Dario, Miguel, Agustín,**  
**Poblano, Armando, Marco.**  
Por tener siempre una frase de superación.

**What are We?**

**What do We aspire to be?**

**Control your destiny or someone else will**

**Talk values as much as you talk numbers. Remember, everyone understands values but not everyone understands numbers.**

**Get your people to focus on aspirations for the future. These aspirations can grab the organization and become the catapult to business success.**

**Make your vision as clear as your profit goals. Profit alone is not enough to motivate your people. Expand the scope of your vision to address more of the whole person.**

**Define and respect your peoples' rights.**

## ÍNDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	5
CAPITULO I	
FLOTACIÓN POR ESPUMA	
1.1 Flotación	6
1.2 Espumantes	7
1.3 Modificadores	8
1.4 Depresores	8
1.5 Colectores	9
1.5 Interacción general Mineral-Colector	10
CAPITULO II	
SISTEMA GALENA-COLECTOR-DEPRESOR EN CONDICIONES DE FLOTACIÓN	
2.1 Estudios del sulfuro de plomo (galena)	11
2.2 Sistema Galena-Agua-Oxígeno (dominio de estabilidad)	12
2.3 Reacciones de descomposición del ion xantato	13
2.4 Sistema Galena-Xantato Etilico	20
2.5 Sistema Galena-Xantato-Oxígeno en condiciones de flotación	23
2.6 Sistema Galena-Dicromato de potasio en condiciones de flotación	28

## **CAPITULO III**

### **IMPEDANCIA-CAPACITANCIA Y PROPIEDADES DE LOS DIELECTRICOS**

#### **3.1 IMPEDANCIA**

**3.1.1 Corriente y Voltaje** 31

**3.1.2 Conductor** 31

**3.1.3 Circuito eléctrico** 31

**3.1.3.1 Circuitos en serie** 31

**3.1.3.2 Circuito en paralelo** 32

**3.1.4 Corriente alterna (c-a)** 33

**3.1.5 Fasores** 34

**3.1.6 Circuitos de corriente alterna (c-a)** 35

**3.1.6.1 Circuito resistivo** 36

**3.1.6.2 Circuitos inductivos** 37

**3.1.6.3 Circuitos capacitivos** 39

**3.1.7 Frecuencia** 40

**3.1.8 Impedancia** 41

#### **3.2 CAPACITANCIA**

**3.2.1 Capacitor** 42

**3.2.2 Funcionamiento de un capacitor** 42

**3.2.3 Funcionamiento de un capacitor en un circuito de corriente alterna** 43

**3.2.3.1 Reactancia capacitiva** 43

**3.2.4 Capacitancia** 44



<b>3.2.5 Tipos de capacitores</b>	<b>45</b>
<b>3.2.6 Capacitores en serie y en paralelo</b>	<b>45</b>
<b>3.3 PROPIEDAD DE LOS DIELECTRICOS</b>	
<b>3.3.1 Dieléctrico</b>	<b>47</b>
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>54</b>
<b>CAPITULO V</b>	
<b>RESULTADOS</b>	<b>58</b>
<b>CAPITULO VI</b>	
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>88</b>
<b>CAPITULO VII</b>	
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>98</b>
<b>CAPITULO VIII</b>	
<b>APÉNDICE A</b>	
<b>Metodología de cálculo de la constante dieléctrica y conductividad eléctrica</b>	<b>99</b>
<b>APÉNDICE B</b>	
<b>Programa en Microsoft Excel para calcular la constante dieléctrica y conductividad eléctrica</b>	<b>103</b>

**APÉNDICE C**

<b>Modelo estadístico para predecir resultados teóricos del Sistema Galena-Colector-Depresor</b>	<b>106</b>
--	------------

**CAPITULO IX**

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>108</b>
---------------------	------------

## RESUMEN

En una planta de beneficio, el proceso de concentración de minerales por flotación se basa principalmente en las interacciones fisicoquímicas las cuales se llevan a cabo en la superficie o intercara mineral-solución. La dielectricidad es una técnica electroquímica, nueva en nuestro país, mediante la cual podemos estudiar las interacciones que se presentan en el sistema mineral-reactivos en in situ, con características cercanas a las de una pulpa con igual tamaño de partícula al que se tiene en un proceso industrial de flotación.

En este trabajo se llevó a cabo el análisis de las propiedades dieléctricas desarrolladas por los sistemas: PbS-KEX, PbS-K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y PbS-KEX-K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, las interacciones que existen entre estos, en función de las concentraciones y presencia de determinados reactivos, estos es, colector, depresor, colector-depresor. Siendo esta última de gran interés en la aplicación de la flotación selectiva del mineral galena.

Se han interpretado los fenómenos dieléctricos a frecuencias de 100 MHz en donde fué posible detectar en forma apropiada las modificaciones dieléctricas, debido a que a esta frecuencia se tienen menores pérdidas de dielectricidad.

Se generó un modelo estadístico que permite predecir y conocer el comportamiento dieléctrico de flotación y depresión de los sistemas de estudio.

El sistema PbS-KEX manifestó que al aumentar la concentración del reactivo colector xantato interaccionó con la superficie del mineral galena, dándole características no conductoras, formándose muy probablemente capas ó multicapas de metal-xantato. Debido a tal fenómeno las constantes dieléctricas disminuyeron, esto es, para la concentración de KEX de 1E-2 M., el valor de la constante dieléctrica  $\epsilon' = 290.0$  y para una concentración menor de colector 1E-4 M,  $\epsilon' = 390.9$

El sistema  $\text{PbS-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  manifestó el efecto contrario al observado con el colector. A la concentración más baja de reactivo depresor  $5\text{E-}4$  M el mineral de galena desarrolló el valores de  $\epsilon = 399.75$ , y a la concentración más elevada  $1\text{E-}2$  M el valor de  $\epsilon = 463.69$ . Cuando se elevó aún más la concentración a  $5\text{E-}2$  M la constante eléctrica disminuyó  $\epsilon = 266.32$ . Por este motivo se analizó al sistema por medio de conductividades eléctricas el cual proporcionó más información de lo que estaba sucediendo

Para la concentración más baja de reactivo depresor  $5\text{E-}4$  M la conductividad eléctrica que se registró fue de 0.9281, no obstante a la concentración más elevada de  $1\text{E-}1$  M la conductividad eléctrica aumentó, 18.93.

Este tipo de comportamiento se atribuyó a la transformación cada vez más conductora de la superficie mineral, proporcionada por la posible formación del cromato de plomo.

En el caso de la pulpa de mineral la conductividad para una concentración elevada de dicromato  $5\text{E-}2$  M y una concentración de xantato de  $5\text{E-}5$  M, tiene un valor máximo de 3.98. A medida que aumentamos la concentración de xantato  $1\text{E-}4$  M y  $1\text{E-}3$  M la conductividad empieza a disminuir (3.84 y 3.42).

De alguna manera el xantato tiene un efecto dominante sobre el depresor, e interacciona con mucha mayor facilidad en la superficie del mineral provocando que la conductividad sea cada vez menor.

## INTRODUCCIÓN

La importancia que presenta el procesamiento de menas de plomo en nuestro país, es fundamental, ya que en estos últimos 10 años se ha tenido una producción anual promedio de 175318 toneladas de plomo. Así mismo, México ocupa el quinto lugar a nivel mundial en la producción de este metal. El optimizar los procesos de tratamientos de minerales es un hecho que día a día se trata de obtener en todo el planeta, ya que la disminución en leyes de estos minerales es también cada vez mayor, los costos de operación son un factor importante, en cuanto al ahorro económico de reactivos se refiere. La flotación siendo uno de los procesos más importantes del beneficio de este mineral, requiere de un conocimiento serio en relación a las diferentes interacciones que existen entre los minerales y los reactivos que se utilizan para flotar o deprimir a dicho mineral.

El mineral galena (sulfuro de plomo ( $PbS$ )), en la mayoría de las menas en que ocurre está asociada con esfalerita ( $ZnS$ ), y a menudo, también con la pirita ( $FeS_2$ ), por lo que se necesita emplear una flotación selectiva en dos o tres etapas para separar cada mineral.

Otro mineral de plomo importante, es la cerusita ( $PbCO_3$ ), este es un carbonato, que menudo está asociado con una pequeña proporción del sulfato. La flotación de este mineral es por lo común posible después de activarlos con un sulfuro alcalino, esto es, después de la formación de una capa de sulfuro de plomo en la superficie de las partículas del mineral.

La flotación es un proceso industrial en el cual se beneficia al mineral con objeto de obtener concentrados de alta ley, así como de alta recuperación. La complejidad de este radica en tres rubros siendo estos :

a) Gran cantidad de variables de proceso, que de una u otra manera influyen en el proceso de concentración. A continuación se mencionarán algunas de estas variables.

Tamaño de partícula, pH, tipos y dosificación de reactivos, velocidad de agitación, tiempo de acondicionamiento, inyección de aire., tipo de celda, velocidad de flujo, viscosidad de la pulpa.

b) Diferentes tipos de menas asociadas e incluidas en la mena principal a concentrar.

**La galena (PbS).**- Mena más importante de plomo ampliamente distribuida, está asociada frecuentemente con esfalerita (ZnS), pirita (FeS<sub>2</sub>), calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>), tetraedrita (4CuS.Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) y minerales de ganga, tales como el cuarzo (SiO<sub>2</sub>), calcita (CaCO<sub>3</sub>), dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), barita (BaSO<sub>4</sub>), y fluorita (CaF<sub>2</sub>).

**La cerusita (PbCO<sub>3</sub>).**- Se encuentra en zonas oxidadas de plomo, asociada con galena (PbS), anglesita (PbSO<sub>4</sub>), smithsonita (ZnCO<sub>3</sub>) y esfalerita (ZnS).

**La anglesita (PbSO<sub>4</sub>).**- Se encuentra en las vetas oxidadas de plomo.

**La jamesonita (Pb<sub>4</sub>FeSb<sub>6</sub>S<sub>14</sub>).** - Se presenta en las vetas con galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS<sub>2</sub>), estibnita (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>).

c) Interacciones entre reactivos y diferentes menas en el proceso.

La selección de reactivos químicos y su uso en las condiciones y cantidades adecuadas.

La importancia de entender los mecanismos que intervienen en el proceso de flotación es el de poder controlar y optimizar dicho proceso, sin embargo después de numerosos estudios realizados en sistemas mineral sulfuro/colector, el comportamiento de los reactivos de flotación, los productos de adsorción y la naturaleza de la interacción en la superficie del mineral aún no han sido precisados.

## Objetivos

Determinar la influencia de las concentraciones de los reactivos colector (xantato etílico de potasio), depresor (dicromato de potasio) y mezcla de estos, sobre el mineral galena a partir de la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias.

Analizar el comportamiento electroquímico del sistema galena-colector-depresor a diferentes concentraciones por medio de constantes dieléctricas y conductividades eléctricas.

Obtener una función que permita predecir y conocer el comportamiento dieléctrico de flotación y depresión de los sistemas de estudio.

Determinar si los mecanismos involucrados en la flotación pueden ser entendidos por el método de Impedancia a Altas Frecuencias.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**



## FLOTACIÓN POR ESPUMA.

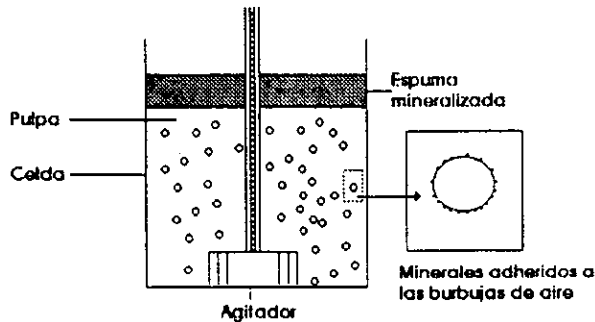
### 1.1 Flotación.

En el proceso de beneficio de minerales, las operaciones de trituración y molienda, el mineral debe de ser molido para la separación de las partículas de mineral valioso de su matriz esteril (ganga). La molienda reduce al mineral a un tamaño de partícula el cual permite su levitación por las burbujas de aire. En la sección de flotación el cual se refiere al proceso de concentración metalúrgica mediante el cual partículas sólidas de diferentes minerales, previamente liberadas y contenidas dentro de una masa líquida (pulpa), pueden ser separadas por efecto de la acción química de reactivos específicos y por la formación de burbujas de aire. La flotación de un mineral depende de la adsorción de agua en su superficie, esto es, para que un mineral flote, su superficie debe de ser hidrofóbica. La mayoría de los minerales son hidrofílicos (mojables) y pueden adquirir carácter hidrofóbico por la adsorción de reactivos químicos llamados colectores.

La flotación por espuma ha permitido explotar minerales de baja ley y complejos, los cuales habrían sido incosteables por otros procesos; en general existen dos tipos de flotación, "flotación bulk" y "flotación selectiva", la flotación bulk se utiliza cuando se desea recuperar en un solo concentrado todas las especies flotables de un mineral. La flotación selectiva se aplica para la recuperación de especies de minerales específicos. Mediante el uso de la flotación selectiva, el empleo adecuado del proceso y las máquinas de flotación idóneas es posible recuperar diversas clases de minerales en concentrados individuales de grado comercial<sup>(1)</sup>.

La flotación por espuma<sup>(2)</sup> es compleja y aprovecha las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de la superficie de las partículas minerales. Después del tratamiento con reactivos, las diferentes propiedades superficiales de los minerales que contiene la pulpa de flotación se manifiestan haciendo posible la flotación; varias partículas de mineral se debe unir a las burbujas de aire y elevarlas 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 se 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 <sup>(3)</sup> (fig. 1.1).



*Figura 1.1 Flotación por espuma.*

Otro tipo de flotación, es llamada flotación inversa, aplicable a minerales que por sus características físicas, principalmente el peso específico de la especie, no pueden ser flotados y obtenidos en forma de burbujas ascendentes, si no por el contrario, el concentrado de este tipo, se obtiene en los deslaves o colas del proceso, siendo la ganga o matriz la que se obtiene por flotación en la superficie de la celda, debido a que su peso específico es menor.

## 1.2 Espumantes.

Los espumantes generalmente son reactivos orgánicos de superficie activa que abaten la tensión superficial del agua provocando una espuma lo bastante estable durante el proceso de flotación y favoreciendo la adherencia de partículas minerales. Los espumantes son heteropares, donde el grupo polar (OH) se encuentra inmerso en la solución acuosa (parte hidrofílica), mientras la parte no polar de la cadena de hidrocarburo, está dirigido hacia la fase gaseosa.

### 1.3 Modificadores.

Son sustancias en su mayoría inorgánicas y se clasifican por su uso en tres clases<sup>(4)</sup>:

#### 1) *Modificadores de pH.*

Cal:	CaO
Carbonato de sodio	Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Sosa cáustica:	NaOH
Ácido:	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl

#### 2) *Modificadores de superficies.*

Cationes:	Ba <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Ag <sup>2+</sup> .
Aniones:	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , S <sup>2-</sup> , Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> .
Coloides Orgánicos:	Dextrina, Almidón, Ácido Tánico.

#### 3) *Precipitantes para sales solubles y dispersantes.*

Cationes:	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup> .
Aniones:	CN <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> .

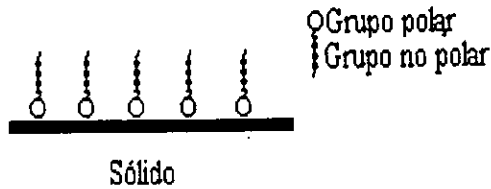
### 1.4 Depresores.

La depresión de un mineral incrementa la selectividad de un concentrado en la flotación volviendo hidrofílicos a ciertos minerales y evitando así su flotación. El reactivo depresor por lo tanto, tiene la función de mojar y deprimir aquellos minerales que no se desea que floten.

### 1.5 Colectores.

Todos los minerales se clasifican en polares y no-polares según sus características superficiales. Las superficies de los minerales no polares se caracterizan por enlaces moleculares relativamente débiles. Los minerales están compuestos de moléculas covalentes que se mantienen juntas por las fuerzas de Van der Waals; las superficies no polares no se unen fácilmente a los dipolos de agua.

Los colectores son compuestos heterogéneos que 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 adsorbida sobre la superficie mineral, mientras la cadena de hidrocarburo, siendo de naturaleza no-ionica, forma la superficie hidrófoba en el mineral, esto como resultado de la adsorción del colector<sup>(5)</sup>.



*Figura 1.5 Colectores.*

Los colectores en general se usan en pequeñas cantidades, solo las necesarias para formar una capa monomolecular sobre la superficie de la partícula, ya que al tener una concentración excesiva de colector puede existir un efecto adverso sobre la recuperación de los minerales valiosos, aparte del costo, tenderá a flotar otros minerales reduciendo así la selectividad en un proceso de flotación.

### **1.5 Interacción general Mineral-Colector.**

Todo mineral desarrolla una carga superficial al contacto con un medio acuoso y conociendo este fenómeno se podrá seleccionar en forma aproximada el tipo de reactivo que favorezca la fisisorción o quimiadsorción sobre un determinado mineral. En el proceso de flotación es importante tener conocimiento del tipo y forma en el cual se adquiere la carga superficial de un mineral para la adecuada selección del reactivo con el cual el mineral interaccionará para favorecer el proceso de flotación.

Básicamente la interacción entre el mineral y colector, se da por la adsorción de colector en la superficie, bajo alguna de las siguientes formas<sup>(6)</sup>:

#### **1) Adsorción física:**

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

#### **2) Interacción química:**

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

**a) 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.

**b) 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.

**c) Precipitación en el seno de la solución.**- Es la interacción de iones metálicos y reactivos, formada en el seno de la solución.

## **CAPÍTULO II**

**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.

Los átomos de plomo y azufre en el sulfuro de plomo tienen un arreglo similar al sulfuro de sodio. Cada átomo de plomo tiene seis átomos de azufre vecinos a  $2.9 \text{ \AA}$  y doce átomos de plomo vecinos a  $4.19 \text{ \AA}$ .

El sulfuro de plomo tiene forma cristalográfica cúbica con  $a^{\circ} = 5.92 \text{ \AA}$ . Cada plomo tiene 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, zinc, cadmio, antimonio, bismuto, cobre, y algunas veces plata y oro nativo. Los cristales de galena son relativamente puros y contiene impurezas las cuales aparecen en cantidades muy pequeñas. Bloem y Kroger<sup>(7)</sup> determinaron el diagrama de fases para el sulfuro de plomo.

Frey<sup>(8)</sup> llegó a medir la resistividad eléctrica de sulfuro de plomo sintético, determinando que el sulfuro de plomo es un semiconductor, y además derivó una relación del tipo:

$$\rho = 0.00258 ( 1 + 0.00895 t + 0.00002 t^2 ) \text{ ohm cm}$$

donde  $t$  es la temperatura en grados centígrados.

Más tarde Reichenheim y Koenberger<sup>(9)</sup> obtuvieron para la galena la relación siguiente,

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

en la cual determinaron que conforme existe una variación de estequiometría rico en plomo y en azufre, el sulfuro de plomo cambia de semiconductor de tipo-n a tipo-p. Bloem<sup>(10)</sup> realizó otro estudio donde encontró que la relación de Pb:S a la cual cambia de semiconductor de tipo-n a uno de tipo-p aparece y varía con el tipo y cantidad de impurezas adicionadas.

Las imperfecciones de la red cristalina y los defectos del sólido así como en su superficie y las variaciones en la estequiometría, dan como resultado una superficie con áreas de potencial electroquímico diferente. Szegłowski<sup>(11)</sup> demostró esta heterogeneidad mediante el uso de un electrodo de microsonda. Planskin y Shafeev<sup>(12)</sup> mostraron que los indicadores de área catódica y anódica se depositaban en forma heterogénea cuando la superficie era polarizada, también encontraron que las fisuras, hoyos y huecos sobre la superficie de la galena tiende a ser anódico y los bordes y proyecciones catódicos.

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

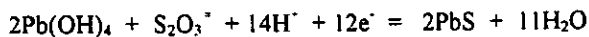
Se han efectuado estudios para identificar las reacciones en los sistemas de flotación mediante el cálculo de condiciones termodinámicas, bajo las cuales varias especies se detectaron como estables.

Burkin y colaboradores<sup>(13)</sup>, Toperi y Tolun<sup>(14)</sup> consideraron el sistema  $PbS-O_2-H_2O$  del cual concluyeron que el sulfuro de plomo es inestable, siendo oxidado éste a  $PbSO_4$ ,  $PbO$ ,  $HPbO_2$ , excepto en condiciones fuertemente reductoras. Por lo tanto ellos consideraron, que a menos que los agentes reductores estén presentes, las reacciones de superficie deben de referirse a especies oxidadas y no a sulfuros de plomo. Los cálculos de Burkin fueron hechos suponiendo que el sulfuro de plomo estaba oxidado, y se formaba un sulfato estable.

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

$$E_h = 0.918 - 0.059 \text{ pH}$$

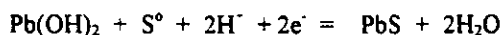
a una atmósfera de presión parcial de oxígeno,  $10^{-8}$  M de peróxido de hidrógeno y el par sulfuro de plomo producto de oxidación. Por ejemplo, la reacción siguiente tiene el potencial más bajo a pH entre 7 y 10.



$$E_h = 0.632 - 0.737 \text{ pH} + 0.007 \log(S_2O_3^{2-})$$



Aunque hay evidencia considerable de que el tiosulfato de plomo se encuentre como un producto de oxidación del sulfuro de plomo, y existe por lo menos el tiempo requerido para la flotación, el ion tiosulfato no fue detectado en solución como un producto de reacción del xantato con la galena que no había sido oxidado previamente. Finkelstein<sup>(15)</sup> mencionó que las conclusiones de Toperi y Tolun son válidas si el sulfato fuera formado, ya que los potenciales de reducción del par sulfuro de plomo-sulfato son menores que los de los pares 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<sup>(16)</sup> concluyó que la reacción de formación del azufre es determinante del potencial. Esta reacción es la siguiente:



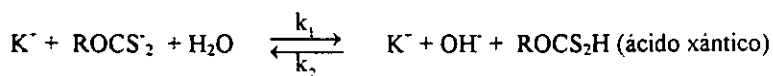
$$E_h = 0.755 - 0.059 \text{ pH}$$

a concentraciones del ion plúmbico de  $1 \times 10^{-4}$  M y para valores de pH hasta 10.3.

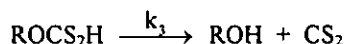
### 2.3 Reacciones de descomposición del ion xantato<sup>(17)</sup>.

Existen cinco reacciones que han sido consideradas por varios investigadores para la descomposición del xantato en soluciones acuosas, las cuales son conocidas en el sistema de flotación, como se pueden ver a continuación:

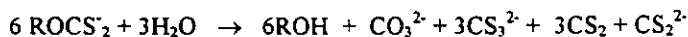
I) Hidrólisis del ion xantato:



II) Descomposición del ácido xántico:

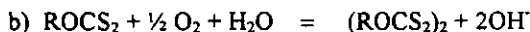


III) Descomposición hidrolítica:

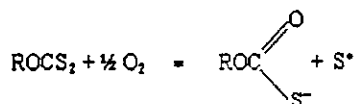


(El tiocarbonato puede descomponerse además en  $\text{CS}_2$  y  $\text{S}^{2-}$ )

IV) Oxidación del dixantógeno:



V) Oxidación del monotiocarbonato:



Las primeras dos reacciones, hidrólisis del ion xantato ( I ) y descomposición del ácido xántico ( II ), son las mismas reacciones de descomposición en soluciones ácidas; estas reacciones han sido exhaustivamente estudiadas y la más completa evaluación de la cinética fue realizada por Iwasaki y Cooke (1958) Figura (2.3.1).

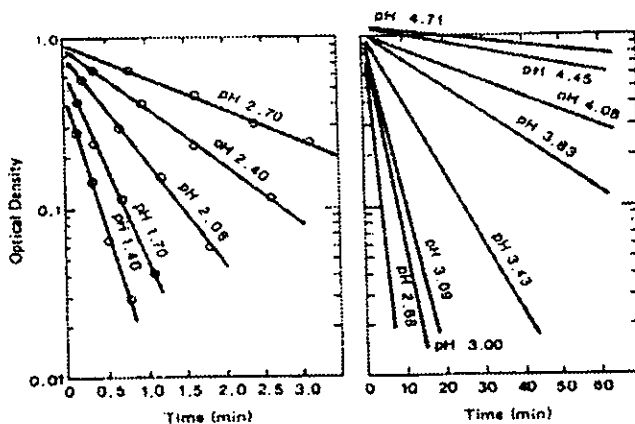


Figura 2.3.1. Cinética de descomposición del xantato etílico en soluciones ácidas, (Iwasaki y Cooke (1958)).

En dicho estudio analizaron resultados de absorción UV y asumieron que la reacción (I) y (II) toman lugar consecutivamente, con  $k_1$ ,  $k_2$ , y  $k_3$  denotando la velocidad constante, como se observa en la siguiente ecuación:

$$\frac{dc}{dt} = -k_3 [\text{RXH}] = -\frac{k_3}{1 + \frac{K_d}{[\text{H}^+]}} c \quad (2.3.1)$$

donde  $c$  denota la concentración total del ion xantato  $\text{RX}^-$ , el ácido xántico  $\text{RXH}$  y  $K_d$  denota la constante de disociación.

$$K_d = \frac{[\text{RX}^-] [\text{H}^+]}{[\text{RXH}]} \quad (2.3.2)$$

El logaritmo de la constante de velocidad puede entonces ser representado por,

$$x = \frac{k_3}{1 + \frac{K_d}{[\text{H}^+]}} = -\frac{d \ln c}{dt} \quad (2.3.3)$$

de estos resultados se obtuvieron los valores para la constante de velocidad monomolecular ( $k_3 = 4.3 \pm 0.21 \text{ min}^{-1}$ ) y para la constante de disociación ( $K_d = \sim 2 \times 10^{-2}$ ; aquí,  $\text{p}K_d = -\log K_d = 1.7$ ). Estos valores significan que a temperatura ambiente, cerca del 50% de descomposición ocurre dentro de 1 hr a  $\sim \text{pH } 4.3$ .

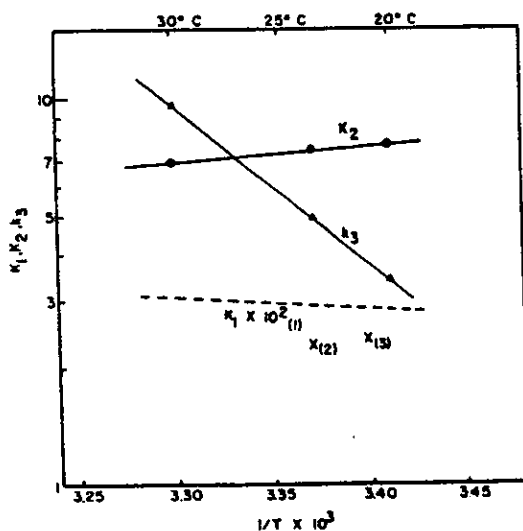


Figura 2.3.2. Muestra una comparación de las constantes de velocidad como una función de  $1/T$  para la descomposición del xantato etílico en solución ácida cuando la existencia del ácido xántico es reconocida; (1)  $K_1$ ,  $1 \times 10^2$  Klein y colaboradores (1960); (2)  $K_2$ ,  $1 \times 10^2$  Iwasaki y Cooke (1958), y (3)  $K_3$ ,  $1 \times 10^2$  de Iwasaki y Cooke (1959).

Klein y colaboradores (1960) encontraron que en soluciones ácidas la constante de velocidad alcanza un máximo a la concentración de 0.4 N y decrece para altas concentraciones de ácido. Este cambio responde a la velocidad de descomposición donde ellos postularon la existencia de ácido xántico  $RXH_2^+$ , el cual fue subsecuentemente correlacionado por Iwasaki y Cooke (1964), con el mecanismo de descomposición.



Las nuevas constantes de velocidad para dichas reacciones han sido comparadas y después corregidas, con los datos obtenidos por Klein, el cual son mostrados en la figura (2.3.2).

En las soluciones alcalinas altas, ocurre la reacción de descomposición obteniéndose como productos: carbonato, hidrosulfuro, iones tiocarbonatos, y alcohol, como está indicado en la reacción (III). Philip y Fichte (1960) sugirieron que el paso que controla la velocidad es la hidratación del doble salto carbón-sulfuro. Wronski (1959) derivó una expresión para la velocidad de descomposición de NaOH y concentración de xantato, c:

$$-\frac{dc}{dt} = k'c + k''[NaOH]^2 \quad (2.3.4)$$

donde  $\frac{k'}{k''} \cong 3$

Para la flotación propone, una de las más importantes reacciones las cuales son aquellas ocurridas en soluciones de xantato en el intervalo de pH 6 - 12.

Ha sido demostrado que la oxidación (causada por un agente oxidante u oxígeno del aire) es esencial antes que el xantato (y más los tiosurfactantes) pueda actuar como colector en sistemas sulfurados. La oxidación de los iones xantato a dixantógenos, se representa por la reacción (V). La oxidación a dixantógeno es observada en soluciones de xantato concentrado, donde el dixantógeno insoluble sale de la solución como una dispersión de gotas de aceite (produciendo una notable solución turbia), en la intercara aire-agua.

La oxidación del xantato, reacción (IV), había sido considerada irreversible y el dixantógeno se suponía no era reactivo. Después de estudios espectrométricos en dispersiones dixantógenas realizadas por Pamiannowski y Leja (1963) mostraron que el dixantógeno reacciona en soluciones alcalinas y es reversible, descomponiéndose en xantato (ver fig. 2.3.3). Rao y Patel (1960, 1961) establecieron que la oxidación acuosa del ion xantato a dixantógeno es catalizado por iones reducibles multivalentes tales como  $Cu^{2+}$  y



En otras investigaciones encontraron que todas las reacciones de xantato a dixantógeno están influenciadas por trazas de impurezas.

Mellgren(1966) encontró que el xantato etílico permanece siempre estable en la presencia del ion tiosulfato.

Weels y colaboradores (1972) propusieron que el dixantógeno reacciona con tiosulfato para formar un complejo iónico y un ion xantato.

Tipman (1970) volvió a examinar la reactividad del dixantógeno con  $\text{OH}^-$  y encontró que la descomposición de dixantógeno es irreversible y el proceso envuelve dos pasos. El primer paso es un nucleofílico  $\text{S}_{\text{N}}2$  desplazado por  $\text{OH}^-$  (ó por algún otro subtituyente en el siguiente orden de aproximación reactiva;  $\text{HS}^- > \text{CN}^- > \text{OH}^- > \text{SO}_3^{2-} > \text{SCN}^- > \text{I}^-$ ).

El segundo paso es la reacción de descomposición, una hidrólisis de complejos con bases intermedias, resultando un alcohol, disulfuro de carbono y  $\text{OH}^-$  como producto final. Entonces, el esquema de reacciones complejas ocurre en solución a varios pH entre la especie xantato de importancia para la flotación siendo representada en la figura 2.3.4.

*Tiempo de vida media*

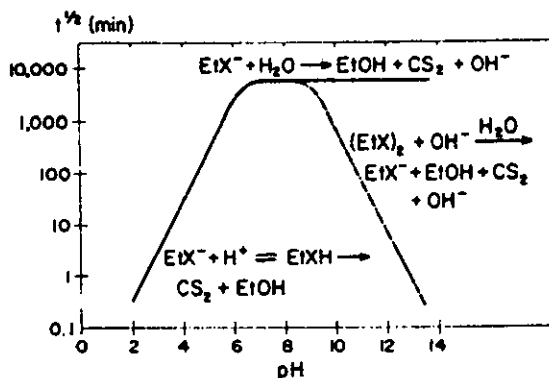
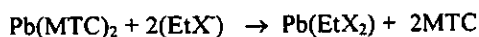
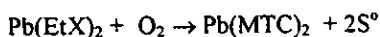


Figura 2.3.4. Tiempo de vida media para la reacción de descomposición del xantato etílico en solución ácida, xantato etílico en solución neutra y alcalina. Y el dietil dixantógeno en soluciones alcalinas a 22°C.

La reacción I Y II determinan la vida media en solución de pH arriba de 6; En el intervalo de pH 6-8 ocurre la descomposición hidrolítica, produciendo alcohol, disulfuro de carbono y OH. Si hay otras especies reactivas (tales como dixantógeno) presente en el sistema que inflencie esta reacción entre el ion xantato y agua, la vida media de las soluciones xantato es aproximadamente constante para pH >8 y pH 12. La reacción (III) no parece ser significativa antes que la región alcalina sea alcanzada a pH 13.

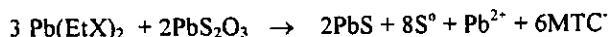
La descomposición de un ion xantato a ion monotiocarbonato, reacción (V), fue estudiada por Harris y Finkelstein (1975) en sistemas heterogéneos conteniendo minerales sulfurados (galena y piritita), oxígeno y iones xantato. Ellos encontraron que independientemente en el orden en el cual esos componentes son atraídos, tales como el sulfuro metálico, oxígeno y xantato que están en el sistema, se forma el ion monotiocarbonato. La reacción requiere de la participación de la superficie del sulfuro (la velocidad de formación del monotiocarbonato en solución homogénea se sabe que está en ordenes de magnitud tan bajas como en el sistema heterogéneo; Finkelstein (1967)). El xantato tiene que ser adsorbido en la superficie para que el monotiocarbonato sea subsecuentemente generado.

a) Si el xantato es preabsorbido entonces la reacción es (posiblemente) como sigue:

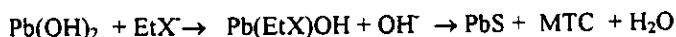


(donde MTC<sup>-</sup> representa al ion etil monotiocarbonato y EtX<sup>-</sup> al ion etil xantato).

b) Si el oxígeno ha reaccionado con la superficie del sulfuro en presencia de iones xantato, entonces la siguiente secuencia de reacciones puede ser posible y tomar lugar como a continuación se presenta:



c) Monotiocarbonato



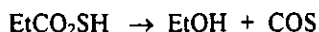
Los mecanismos anteriores (a), (b), o (c), con el tiempo fueron encontrados por Harris y Finkelstein (1975).

Posteriormente, Harris y Finkelstein encontraron que el dixantógeno adsorbido en la superficie de pirita no fue conductivo para la formación de monotiocarbonato y especularon que el intermedio xantato de hidróxido férrico,  $\text{Fe}(\text{OH})\text{X}_2$ , pudo ser la especie superficial que se descompuso en monotiocarbonato.

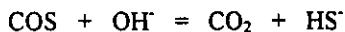
Soluciones ácidas y alcalinas de iones monotiocarbonatos están bajo descomposición por diferentes mecanismos y se han obtenido cinéticas de descomposición en soluciones ácidas de primer orden; manifestando que la vida-media es dependiente del pH. Las reacciones que ocurren presumiblemente son análogas a aquellas envueltas en el ion xantato bajo condiciones ácidas.



(ácido etílico monotiocarbonico;  $\text{EtCO}_2^-$  para el ion etílico monotiocarbonato)



(descomposición a alcohol y sulfuro carbonílico)



La oxidación de iones monotiocarbonatos es análogo al dixantógeno, por ejemplo, el disulfuro de carbón el cual fue investigado por Murphy y Winter (1973), y el potencial redox para esa reacción disulfuro de carbón-monotiocarbonato fue encontrado por Winter y Woods (1973).

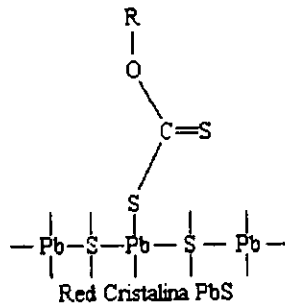
#### 2.4 Sistema Galena-Xantato Etilico.

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

Laajalehto y col., emplearon para su estudio dos monocristales de galena y dos muestras sintéticas en forma de película. Las películas de sulfuro de plomo ( $\text{PbS}$ ), fueron depositadas sobre una superficie de carbono y un monocristal de germanio.



El acondicionamiento del mineral con este colector se llevó a cabo en equilibrio con aire y a pH 6.

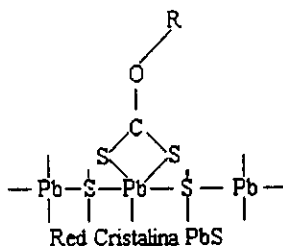


*Figura 2.4.1. Representación esquemática de la adsorción de xantato en la superficie de galena, configuración uno a uno entre el átomo de plomo que se encuentra en la red cristalina de la galena con el ion xantato.*

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 Greenler (1962), como una coordinación uno a uno entre el metal y el radical xantato (figura 2.4.1)<sup>(18)</sup>. Sin embargo, tal configuración implica 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.

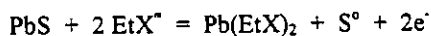
Debido a los resultados obtenidos por espectroscopia infrarroja, Laajalehto y col., realizaron pruebas empleando la técnica de espectroscopia fotoeléctrica de rayos X. El objetivo principal de dichas pruebas fue confirmar que la especie absorbida en la superficie de la galena bajo condiciones estudiadas 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 2.4.2).



*Figura 2.4.2. 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 son rotos y dos enlaces de adsorción entre átomos de xantato de azufre y átomos de plomo en la superficie son formados. 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 4.1 propuesta por Leppin y Rastas (1986) para la adsorción del xantato etílico en la superficie de galena bajo condiciones oxidantes.



Richardson y O'Dell (1985), realizaron un estudio de voltametría cíclica en el sistema galena-xantato etílico para dar validez a la teoría propuesta por Plaksin y Shafeev (1960) referida a las características semiconductoras de los minerales de sulfuros<sup>(19)</sup>. 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 xantatos para producir las especies hidrofóbicas.

## 2.5 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<sup>(20)</sup>.

Gaudin<sup>(21)</sup> 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<sup>(22)</sup>.

A partir de sus estudios con relación al ángulo de contacto entre la superficie de la galena y la solución, observó 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 de sus investigaciones propone que el xantato se oxida en la solución, formando una molécula neutra llamada dixantógeno<sup>(23)</sup>.

Por otro lado, se encontró que el potencial de reposo de un electrodo de galena, se desplazaba a valores más negativos (catódicos) cuando se agregaba 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 propuesto por Leja y colaboradores<sup>(24)</sup>, 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 del xantato con la galena no dependía de la formación del dixantógeno en la solución.

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

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



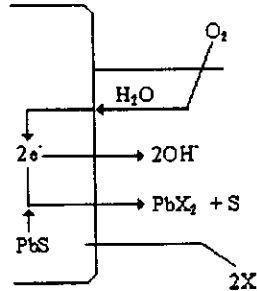
donde X<sup>-</sup> es el ion xantato y PbX<sub>2</sub> es el xantato de plomo.

B) La segunda etapa consiste en el proceso catódico, el cual trata de 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<sup>(25)</sup>.

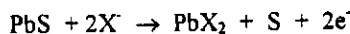
Por otro lado; estudios realizados por Huerta<sup>(26)</sup>, mostraron el modelo electroquímico para la reacción catódica del oxígeno y la reacción anódica del xantato sobre un mineral de galena (figura 2.5.1).



*Figura 2.5.1. Modelo electroquímico propuesto por Huerta. Para la reducción del oxígeno y la oxidación del xantato sobre un mineral de galena.*

El cual propone las siguientes reacciones que ocurren en el sistema xantato-oxígeno-galena en un proceso de flotación.

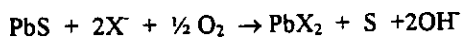
1) Para la reacción anódica:



2) Para la reacción catódica:



Sumando las dos reacciones 1 y 2 se obtiene la reacción global:



También encontró que a mayor concentración de xantato adicionado, mayor fue el desplazamiento del potencial de reposo hacia valores más negativos. Esto es, al adicionar el xantato etílico de potasio, el potencial de reposo de la galena tomó 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.

Estos iones de colectores forman sales insolubles de colector-metal, las cuales son capaces de establecer dicha carga; este es el caso entre la galena y la quimiadsorción del xantato donde se forma el etil-xantato de plomo y dixantógeno, proponiéndose la oxidación del sistema xantato-galena.

En un artículo publicado por Page y Hazell (1989), realizaron un estudio en el sistema xantato amilico de potasio con sulfuro de plomo precipitado utilizando la técnica de espectroscopia fotoelectrónica de rayos X. Ellos concluyeron que una preoxidación de la superficie del sulfuro es un requisito esencial para que se lleve a cabo la adsorción química del xantato. También deducen, de trabajos electroquímicos publicados anteriormente que, la oxidación provocada solamente por el oxígeno disuelto en la solución es insuficiente para proveer el grado de oxidación necesaria para la adsorción química del xantato en la superficie del sulfuro.

Buckel y Woods (1990), realizaron una investigación para corroborar los resultados obtenidos por Page y Hazell utilizando técnicas electroquímicas apoyadas en espectroscopia fotoelectrónica de rayos X en los sistemas galena-xantato amilico y galena-xantato etílico.

Los estudios consistieron en la medición de la velocidad de reducción del oxígeno sobre la superficie pulida de galena. Observaron que la reacción obedece a la ecuación de Tafel con una pendiente de 195 mV. El valor de la pendiente es menor que el valor

reportado por Randall en 1977, esta diferencia puede deberse al grado de pureza de las muestras utilizadas<sup>(21)</sup>.

Para complementar la información se midió el potencial de reposo utilizando una nueva superficie de galena pulida en equilibrio con aire a pH 9.2, la solución contenía  $1 \times 10^{-5}$  M de xantato etílico de potasio (KEX). El potencial fue más negativo que los observados en ausencia de xantato, lo cual indica que el xantato comienza a oxidarse. Para una solución de  $10^{-5}$  M de KEX el potencial inicial fue de -0.03V y aumentó a -0.01, -0.0025 y 0.055V después de 2.5 y 10 minutos respectivamente.

Buckley y Woods realizaron pruebas de voltametría cíclica para una superficie pulida en una solución desoxigenada de borato de sodio conteniendo  $10^{-3}$  M de KEX. Los resultados muestran que la oxidación de la galena en tal solución presenta una curva anódica correspondiente a la formación de una monocapa de xantato adsorbido antes de la formación de la multicapa de xantato de plomo y dixantógeno, la carga asociada a esta curva es de  $500 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ . Este valor de la carga corresponde al valor encontrado para la monocapa adsorbida en una superficie de galena tratada de la misma manera, para realizar mediciones de la actividad del oxígeno reducido y el potencial de reposo en presencia de xantato etílico de potasio.

Los resultados presentados en los párrafos anteriores indican que una monocapa de xantato puede ser adsorbida químicamente en la superficie de la galena en menos de un minuto aún en soluciones de baja concentración ( $10^{-5}$  M). Cabe notar que la velocidad de reducción del oxígeno es inhabilitada por la presencia de xantato sobre la superficie de galena, por lo tanto, la formación de multicapas requiere más tiempo del necesario para la formación de la primera monocapa. Sin embargo, es claro que una superficie hidrofóbica puede ser generada en la superficie de la galena bajo condiciones de flotación, por la reducción de oxígeno y el proceso de adsorción química.

Los resultados por Buckley y Woods empleando la técnica de espectroscopia fotoelectrónica de rayos X proveen evidencia explícita de que una capa de especies químicas de xantatos es formada por la interacción de galena no oxidada con la solución de xantato etílico de potasio en presencia de oxígeno. La capa inicialmente formada es diferente a la multicapa del xantato de plomo, es decir, se forma una monocapa de xantato<sup>(27)</sup>.

Existe evidencia electroquímica y de espectroscopia infrarroja que la capa inicial de xantato sobre la galena es adsorbida químicamente en sitios de plomo de la superficie del mineral, presentando diferentes propiedades a la multicapa de xantato de plomo. Por lo tanto, este resultado demuestra que la conclusión hecha por Page y Hazell es incorrecta debido a que el xantato puede interactuar con la superficie de galena aún cuando ésta no presenta oxidación antes del acondicionamiento con el xantato.

Las conclusiones hechas por Buckley y Woods muestran que, contrariamente a lo afirmado por Page y Hazel. El mecanismo de interacción entre el xantato y galena involucra, al mismo tiempo, una oxidación anódica del xantato y una reducción catódica del oxígeno; y que el xantato interactúa con la superficie de galena no oxidada en equilibrio con oxígeno.

Debido a la importancia del oxígeno en el sistema galena-xantato, Furstenu y col., (1990) realizaron dos investigaciones donde se controló el contenido de oxígeno en la solución .

La primera fase de sus experimentos consistió en determinar la densidad de adsorción de diferentes colectores sobre galena en ausencia virtual de oxígeno. La concentración de los colectores fue de  $10^{-4}$  M. Dos fenómenos importantes son claramente notados bajo estas condiciones. Primero, la densidad de adsorción es independiente del valor de pH, y segundo, el colector de cadena de hidrocarburos más larga tiene la menor densidad de adsorción<sup>(28)</sup>.

La segunda fase de la investigación en ausencia virtual de oxígeno en la solución consistió en realizar experimentos electrocinéticos. El punto de cero carga se presenta a pH 2.5. En presencia de xantato etílico ( $10^{-3}$  M), el potencial de galena es independiente del pH e incrementa de forma negativa.

Estos resultados demuestran que el xantato es adsorbido químicamente en la superficie de la galena. Por arriba de pH 2, el ion xantato es la especie predominante. El ion xantato cargado de forma negativa puede adsorberse solo por una interacción química por arriba del punto de cero carga, en donde la superficie del mineral se encuentra cargada negativamente.

El objetivo de la segunda investigación realizada por Furstenu y col. (1990), fue estudiar la adsorción del xantato en la superficie de la galena en presencia de varias concentraciones de oxígeno. En este caso, se estableció también la densidad de adsorción del xantato etílico sobre la galena en función de la concentración de oxígeno y el pH.

La densidad de adsorción es independiente del pH cuando la concentración de oxígeno es menor a 0.21 ppm. Cuando la concentración de oxígeno se encuentra entre 0.31 y 7.1 ppm la adsorción del xantato es fuertemente dependiente del valor de pH. Debido a que este fenómeno es controlado cinéticamente, la adsorción del xantato es presentada en función del tiempo de acondicionamiento y el pH. Con periodos largos de acondicionamientos la adsorción y el pH de adsorción se incrementan. Cuando se emplean periodos largos de acondicionamientos (10, 20 min ), la adsorción del xantato es posible a pH alcalinos. Este fenómeno puede relacionar la cinética de oxidación de la superficie seguida por la adsorción del xantato<sup>(29)</sup>.

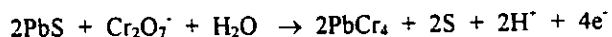
Los estudios electroforéticos realizados muestran que el valor de potencial zeta de galena en presencia del xantato es siempre negativo, por lo tanto, se lleva a cabo la adsorción química del xantato y la aparente formación del xantato de plomo.

En general, en ausencia o en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno (menores a 0.21 ppm), el xantato adsorbido es independiente del valor de pH y de la formación de la monocapa, porque en presencia de altas concentraciones de oxígeno, se presentan multicapas de xantato en la superficie<sup>(30)</sup>.

## 2.6 Sistema Galena-Dicromato de potasio en condiciones de flotación.

Los depresores inhiben o previenen la adsorción de un colector sobre la partícula mineral, por lo cual evitan su flotación.

Entre algunos depresores tenemos al dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), y la formación del cromato de plomo ocurrirá al agregar sales de cromato al mineral de galena, como se muestra en la siguiente reacción:



El cual se forma cromato de plomo que es un compuesto poco soluble.

Taggart<sup>(31)</sup> observó multicapas de cromato de plomo sobre la galena, después del contacto con la solución de cromato.



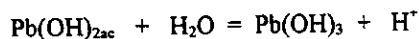
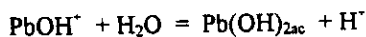
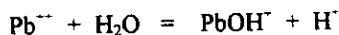
Otras observaciones de Bogdanov han mostrado que la adsorción de xantato no disminuye cuando se forma el cromato de plomo sobre la superficie del mineral. La depresión atribuida a la fuerte hidratación del cromato adsorbido sobre la superficie por lo que la hidrofobicidad de la capa del colector es vencida.

R. Toulun<sup>(32)</sup> observó que existía contacto de burbujas cuando el xantato ( $10^{-3}$  M) fue añadido a la solución aerada ( $10^{-4}$  M de  $K_2Cr_2O_7$ ). Este comportamiento explica las observaciones de Taggart. En donde se manifiesta que el potencial de galena cae de -0.012 a -0.110 V, indicando al acción reductora del xantato ( $10^{-3}$  M), así como la formación de una pequeña cantidad de dixantógeno e hidróxido de cromo (III).

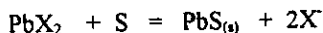
No se esperaba la completa transformación de xantato a dixantógeno, a causa de la baja concentración del ion cromo ( $10^{-4}$  M) se establece por consiguiente un equilibrio a la parte del sistema galena-xantato-oxígeno entre las especies redox ( $X^{-1}$  ion xantato,  $X^{-2}$  ion dixantógeno,  $Cr(OH)_3$  y  $(CrO_4)^{-2}$ ). El dixantógeno producido en el proceso seguramente no se adherirá a ésta superficie hidratada R Toulun<sup>(33)</sup>.

Otros depresores son lo iones hidróxido. La galena se deprime a valores de pH alrededor de 11; esto es debido a la formación y estabilidad de las especies de hidróxido de plomo, plumbita,  $Pb(OH)_3$ , sobre la superficie relativa al xantato de plomo.

El esquema de la hidrólisis del ion de plomo:



El sulfuro de plomo es un compuesto muy insoluble así que adiciones de sulfato de plomo darán como resultado la formación de sulfato de plomo mejor que el xantato de plomo si la dos especies en solución acuosa se presentan al mismo tiempo. Si el xantato se ha adsorbido ocurrirá una reacción del siguiente tipo:



Con respecto a la depresión de la galena en presencia de cianuro de sodio, los iones cianuro complejan el ion plomo a concentración moderada. Como resultado de la concentración del ion cianuro no tiene efecto el contacto de las burbujas sobre la galena, la depresión se debe a la presencia del ion hidrógeno y no a los iones cianuros.

Diferentes tipos de reactivos de flotación y modificadores cambian el potencial de reposo de la galena y esto ha sido considerado para oxidar o reducir el mineral. Así, el KEX disminuye el potencial de la galena. El aire o el oxígeno no fue excluido de estos experimentos. El  $K_2CrO_4$  elevó el potencial de la galena, teniéndose una reducción con  $Na_2S + FeSO_4$ , ambos en el punto donde el contacto de la burbuja se pierde.

## **CAPÍTULO III**

### **IMPEDANCIA-CAPACITANCIA Y PROPIEDADES DE LOS DIELÉCTRICOS**

En la presente tesis, se trabajó la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias siendo está de nuevo conocimiento y aplicación en nuestro país, por tal motivo me permito describir conceptos que ayudaran a entender dicha técnica.

### **3.1 IMPEDANCIA**

#### **3.1.1 Corriente y Voltaje.**

La corriente eléctrica es un cambio con respecto al tiempo del movimiento de cargas eléctricas. La corriente puede ser un movimiento de cargas positivas o negativas que se mueven en direcciones opuestas. El voltaje, a través de cualquier carga, tendrá el valor necesario para establecer la corriente en el circuito a través de la resistencia de la carga.

#### **3.1.2 Conductor.**

Es un material a través del cual los electrones fluyen fácilmente. En estos materiales los electrones de nivel superior pueden separarse sin dificultad de los átomos, al aplicar la fuerza de voltaje.

#### **3.1.3 Circuito eléctrico.**

Un circuito eléctrico es una interconexión de elementos eléctricos unidos entre sí en una trayectoria cerrada de forma que pueda fluir continuamente una corriente eléctrica, se construye a partir de combinaciones en serie o en paralelo de elementos de dos terminales que representan un dispositivo eléctrico.

##### ***3.1.3.1 Circuitos en serie:***

Un circuito en serie consiste de un cierto número de elementos eléctricos unidos en puntos terminales unos después de otros que proporcionan por lo menos una trayectoria por la cual la corriente puede circular. Esta característica se emplea para controlar y proteger sistemas eléctricos, como son interruptores, fusibles, etc., que se conectan en serie.

Puesto que un circuito en serie tiene sólo una trayectoria para los electrones, estos fluyen de cualquier punto del circuito a otro. Esto significa que existe la misma cantidad de corriente todo el tiempo.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

El voltaje total aplicado a un circuito en serie, se distribuye a través de las cargas o dispositivos del circuito y de acuerdo a la ley de Ohm, la caída de voltaje a través de cualquier carga del circuito es igual al producto de su corriente por su resistencia.

$$E = I \cdot R$$

E= Voltaje.

I= Corriente.

R= Resistencia

En un circuito en serie, la suma de las caídas de voltaje a través de las cargas individuales es igual al voltaje total aplicado al circuito, esto se conoce como la ley de Kirchhoff. Si se cambia cualquiera de las resistencias en un circuito en serie, cambiarán todas las caídas de voltaje. Sin embargo, la suma de todas las caídas individuales seguirá siendo igual al voltaje de la fuente.

La resistencia total o equivalente de un circuito en serie es igual a la suma de todas las resistencias del circuito. En circuitos con conductores cortos, la resistencia de estos es generalmente demasiado pequeña en comparación con la resistencia total. Cuando la longitud de los conductores es grande, como en los sistemas de distribución de energía, la resistencia de los conductores es una fracción importante de la resistencia total.

### ***3.1.3.2 Circuito en paralelo:***

En un circuito en paralelo, las cargas se conectan entre las terminales de la toma de corriente; es decir, entre los dos conductores que conducen las fuentes de energía. Las cargas y los alambres se llaman a menudo ramas del circuito. Las conexiones en paralelo reciben el nombre también de conexiones múltiples y en derivación.

En un circuito en paralelo las cargas operan en forma independiente. Por lo tanto si una de las ramas se desconecta o se abre, las ramas restantes seguirán operando.

En todas las ramas de un circuito en paralelo se tiene el mismo voltaje, sin embargo la corriente total se distribuye en las mismas. La intensidad de corriente puede entonces expresarse en cualquier rama utilizando la ley de Ohm como:

$$I=E/R$$

Cuanto más baja sea la resistencia, tanto mayor será la corriente. Todas las cargas de un circuito en paralelo están al mismo voltaje y podrán o no tener la misma corriente.

Cuanto más ramas se añaden a un circuito en paralelo, más trayectorias habrá para la circulación de la corriente. Por lo tanto, la resistencia total o equivalente que determina el flujo de la corriente, disminuye. La resistencia total de un circuito en paralelo siempre es menor al de la rama que tenga la resistencia más baja.

La resistencia total o equivalentes de las cargas conectadas en paralelo puede calcularse usando una de las siguientes fórmulas para las resistencias en paralelo.

i) Si hay dos resistencias de valor diferente:

$$R_t = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

ii) Si todas las resistencias tienen el mismo valor:

$$R_t = \text{valor de una resistencia} / \text{número de resistencias}$$

iii) Si las resistencias no son todas del mismo valor:

$$R_t = 1 / ( 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 )$$

#### 3.1.4 Corriente alterna (c-a).

La corriente alterna (c-a) se produce con una fuente de voltaje cuya polaridad cambia o se alterna con el tiempo. Esto causa que la corriente de un circuito fluya en un sentido y posteriormente en otro.

Estas corrientes se conciben como un movimiento oscilatorio de los electrones a lo largo de los conductores. La ventaja de una fuente de corriente alterna es que se puede aumentar o disminuir por medio de un transformador.

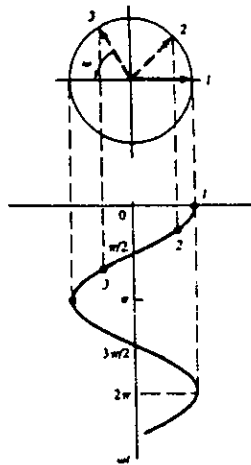
Por ejemplo, en un circuito eléctrico de corriente alterna su oscilación periódica es de 60 Hz y los factores que influyen es la corriente, voltaje y su impedancia. La corriente y el voltaje alternos se pueden describir como ondas senoidales.

Se puede decir que dos ondas de la misma frecuencia están en fase cuando ambas cruzan la horizontal al mismo tiempo. Es decir el ángulo de fase es el parámetro que se utiliza para considerar que tan desfasadas están dos ondas senoidales.

### 3.1.5 Fasores.

La corriente alterna se puede representar a través de fasores. Un fasor es un vector de plano complejo y gira en dirección contraria a las manecillas del reloj, a una velocidad angular constante  $\omega$ , de tal manera que produce una proyección horizontal siendo esta una función coseno. El fasor contiene tres elementos principales los cuales son:

- i) Una onda cosenoidal.
- ii) Su frecuencia por la velocidad del giro esta dada por  $\omega$  en radianes por segundo.
- iii) Su ángulo de fase.



Si una expresión de voltaje o corriente está en forma senoidal, podrá cambiarse a una cosenoidal mediante la sustracción de  $90^\circ$  a la fase.

La expresión matemática de un senoide incluye, amplitud, frecuencia y ángulo de fase, por lo tanto la expresión para la corriente alterna es:

$$i = I_m \sin(\omega t / \phi)$$

- donde:  $I_m$  = Es la amplitud de la corriente.  
 $t$  = Es el tiempo en segundos,  
 $\phi$  = Es el ángulo de fase.  
 $\omega$  = Es la frecuencia angular en radianes por segundo.

Para un voltaje alterno su expresión matemática es:

$$v = V_m \text{sen}(\omega t / \phi)$$

donde:  $V_m$  = Es la amplitud de la onda de voltaje.

El ángulo de fase nos indica la posición relativa de una onda con respecto a otra cuando ambas tienen la misma frecuencia.

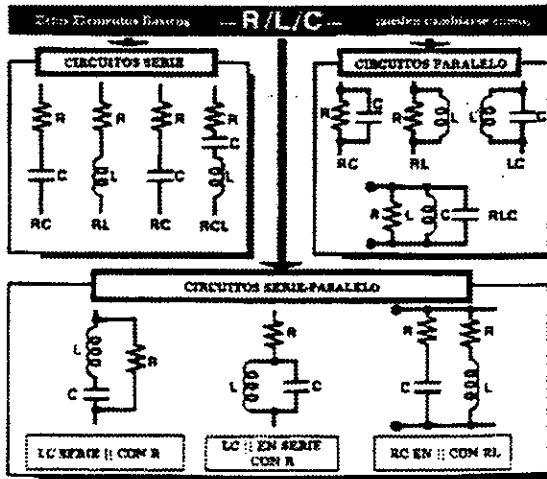
### 3.1.6 Circuitos de corriente alterna (c-a).

Las líneas de energía eléctrica, que transportan la electricidad a los hogares y las industrias, proporcionan corriente alterna y voltaje alterno porque muchos dispositivos electrónicos operan por medio de corrientes alternas. Todos los circuitos se construyen consistiendo de resistencia (R), inductancia (L) y capacitancia (C) y se les llama elementos pasivos de circuitos porque su comportamiento es independiente de la dirección del flujo de corriente.

Tabla 3.1.6. Configuraciones básicas de circuitos eléctricos, elementos básicos (R/L/C):

Circuito	Propiedad del elemento
Resistivo (R)	Mantiene el voltaje proporcional a la corriente. es decir. cuando el voltaje cambia. la corriente cambia proporcionalmente.
Inductivo (L)	Mantiene a la corriente constante. cuando la corriente tiende a cambiar. se opone la energía almacenada en el campo magnético.
Capacitivo (C)	Mantiene al voltaje constante. cuando el voltaje tiende a cambiar. se opone a la carga almacenada en las placas del capacitor.





### 3.1.6.1 Circuito resistivo.

La forma en que debe tener el voltaje para producir corriente<sup>(3.4)</sup>,

$$i = i_0 \text{sen} 2\pi ft$$

a través de la resistencia.

Al escribir la ecuación de Kirchoff de voltaje para este circuito se tiene

$$v_R - iR = 0$$

en donde  $v_R$  es el voltaje de la fuente, que en este caso especial, involucra una resistencia (figura 3.1.6.1a).

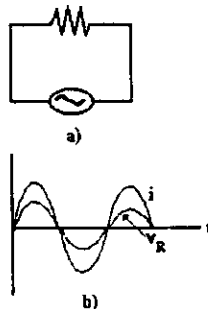


figura 3.1.6.3. a) Circuito resistivo de una malla con fuente de c-a; y b) Gráfica de corriente y voltaje.

La diferencia de potencial aplicada a través de la resistencia debe tener la forma:

$$v_R = i_0 R \sin 2\pi ft$$

La diferencia de potencial a través de la resistencia esta en fase con la corriente, es decir, la corriente y  $v_R$  alcanzan sus valores máximos al mismo tiempo (figura 3.1.6.1b).

Para obtener el valor promedio de la raíz cuadrática media (rms) de  $v_R$ , se toma el valor promedio del cuadrado de la ecuación anterior. Cabe mencionar que  $(\sin^2 \theta)_{\text{prom.}}$  Sobre un ciclo es  $1/2$ , por lo tanto tenemos.

$$(v_R^2)_{\text{prom.}} = \frac{1}{2} i_0^2 R^2$$

El lado izquierdo de la ecuación es simplemente  $V^2$ , Mientras que  $i_0^2/2$  es  $I^2$ . Al realizar las sustituciones y después de sacar la raíz cuadrada se tiene que:

$$V_R = I \cdot R$$

El cual representa la ley de ohm. Entonces se concluye que la ley de ohm relaciona el voltaje rms con la corriente rms para una resistencia en un circuito de corriente alterna.

### 3.1.6.2 Circuitos inductivos.

Para este caso la corriente esta representada por la siguiente ecuación:

$$i = i_0 \sin 2\pi ft$$

y fluye a través de una bobina de inductancia  $L$  (figura 3.16.2.1). Para encontrar el voltaje de la fuente que es necesario para producir esta corriente, se describe la ecuación de voltaje para el circuito

$$v_L = L \, di/dt$$

y al sustituir  $i$  por el valor dado anteriormente, se obtiene la siguiente expresión:

$$v_L = (2\pi fL) i_0 \cos 2\pi ft$$

Nótese que  $v_L$  no esta en fase con la corriente, como se observa en la figura 3.1.6.2.

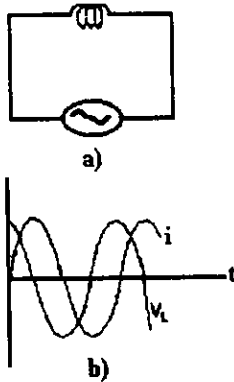


Figura 3.1.6.2. a) Circuito inductivo de una malla con fuente de c-a, y b) Gráfica de corriente y voltaje.

El voltaje alcanza su valor máximo cuando la corriente que pasa a través del circuito es cero. Aún cuando esto puede parecer extraño al principio, se justifica con facilidad de la siguiente manera: ya que  $v_L \cong di/dt$ , el valor de  $v_L$  será máximo cuando la corriente cambie con la rapidez (recordar que las bobinas se oponen al cambio de corriente). Puesto que  $di/dt$  es sólo la pendiente de la función senoidal que representa a  $i$ , el voltaje inducido  $v_L$  será máximo cuando la gráfica de la función seno tenga una pendiente máxima. El análisis de la curva que representa a  $i$ , muestra que ocurre cuando  $i=0$ . De donde se observa que  $v_L$  e  $i$  están  $\frac{1}{4}$  de ciclo (o  $90^\circ$ ) fuera de fase. Para encontrar el valor de rms para  $v_L$ , la ecuación se eleva al cuadrado y se calcula su promedio y si se procede como antes, se tiene que,

$$V_L = (2\pi fL) I$$

Esto se puede expresar en una forma que corresponde a la ley de ohm para los valores de rms de voltaje y de corriente, si se define la reactancia inductiva como del elemento como

$$X_L = 2\pi fL$$

en cuyo caso se tiene

$$V_L = I * X_L$$

La reactancia inductiva  $X_L$  reemplaza a  $R$  en esta analogía de la ley de ohm.

### 3.1.6.3 Circuitos capacitivos.

Un tercer tipo de elemento que se encuentra con frecuencia en circuitos de c-a es el condensador en el cual una corriente

$$i = i_o \text{sen} 2\pi ft$$

el cual fluye a través de un condensador, en donde las dos placas de este deben tener cargas iguales en magnitud y opuesta de signo, la corriente que fluye hacia una de las placas debe de ser igual a la corriente que fluye desde la otra. En consecuencia se tiene la impresión de que la corriente fluye a través del condensador.

Se sabe que, para un condensador,

$$q = Cv_c$$

y

$$dq/dt = i = i_o \text{sen} 2\pi ft$$

en donde  $q$  es la carga sobre el condensador y  $v_c$  es la diferencia de potencial que aparece a través de él. Al integrar la ecuación anterior se obtiene que

$$q = (-1/2\pi f) i_o \text{cos} 2\pi ft$$

en donde la constante de integración representa una carga constante sobre el condensador, que en este caso es igual a cero. Ya que  $q = C v_c$  se tiene que

$$v_c = (-1/2\pi f C) i_o \text{cos} 2\pi ft$$

La gráfica de esta ecuación puede verse en la figura 3.1.6.3.

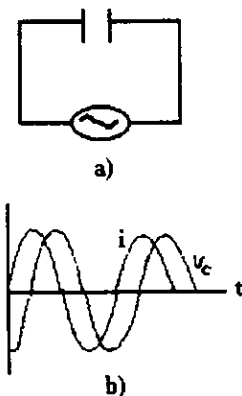


Figura 3.1.6.3. a) Circuito capacitivo de una malla con fuente de c-a, y b) Gráfica de corriente y voltaje.

Nótese que el voltaje y la corriente no están en fase, su diferencia de fase es de  $90^\circ$ . Para encontrar el voltaje y la corriente rms se procede como antes, se elevan al cuadrado el voltaje y se toma su promedio. El resultado es

$$v_c = (\frac{1}{2}\pi fC)I$$

Lo que puede expresarse en una forma que corresponda a la ley de ohm al escribir

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

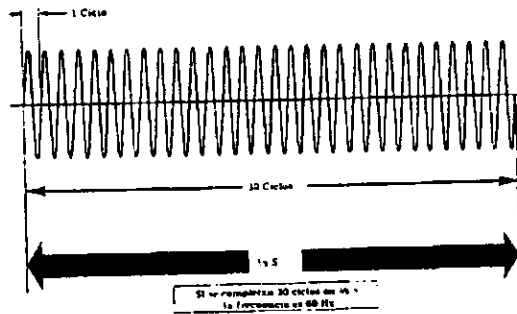
así que

$$V_c = I * X_c$$

La cantidad  $X_c$  se conoce como la reactancia capacitiva y es una medida de la oposición que ofrece el conductor al flujo de corriente.

### 3.1.7 Frecuencia.

El número de veces que un ciclo de corriente alterna puede repetirse en un segundo se le denomina frecuencia de la corriente. La unidad básica de la corriente es el Hertz (Hz). La unidad hertz reemplazo, a los ciclos por segundo (cps) como la unidad de frecuencia.



La frecuencia está dada por  $f$ , en hertz ( $\text{seg}^{-1}$ ) y el periodo  $T$  en segundos y se puede relacionar con la frecuencia angular  $\omega$ , de la misma sabiendo que:

$$f = 1/T = \omega/2\pi$$

### 3.1.8 Impedancia.

Los circuitos de corriente alterna pueden consistir en cualquier combinación de reactancias inductivas y reactancias capacitivas. El efecto combinado de resistencia y reactancia se denomina impedancia. También se expresa en ohmios y su símbolo es  $Z$ . La reactancia de cualquier circuito tendrá una fase de  $90^\circ$  respecto a su resistencia. El que se adelante o se retrase dependerá de que la reactancia sea capacitiva o inductiva.

Al realizar una analogía con la ley de ohm, la impedancia se define como la diferencial de voltaje respecto a la diferencial de corriente. Como se observa a continuación:

$$|Z| = \partial E / \partial I$$

La impedancia<sup>(35)</sup> es un número complejo, que no cambia con el tiempo. Al analizar los valores de impedancia en un sistema, cada valor de frecuencia le corresponde un ángulo de fase y un valor absoluto de impedancia, el cual se denomina magnitud del vector impedancia, con los cuales se determina el vector impedancia, en coordenadas polares. En el plan complejo se representa de la forma:  $Z = Z' + jZ''$  en coordenadas cartesianas, conociendo las expresiones de  $Z'$  y  $Z''$ .

$$Z' = |Z| \cos\phi \text{ (componente real).}$$

$$Z'' = |Z| \sin\phi \text{ (componente imaginario).}$$

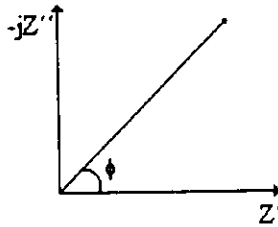
$$|Z| = (Z'^2 + Z''^2)^{1/2}$$

$$\phi = \tan^{-1} Z''/Z'$$

La impedancia es un vector, que tiene en sus componentes una parte real,  $Z'$  y una parte imaginaria,  $Z''$ . La parte real es llamada Resistencia,  $R$ , y a la parte imaginaria se le llama reactancia,  $X$ , entonces, la impedancia se expresa:

$$Z = R + jX$$

La resistencia es la oposición que representa el sistema al paso de un voltaje y generara 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.



*Figura 3.1 Representación gráfica del vector impedancia en el plano complejo.*

### 3.2 CAPACITANCIA

#### 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 proporcionan una trayectoria de conducción en los electrones, se emplean principalmente para bloquear una corriente continua, sin embargo una corriente alterna 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<sup>(36)</sup>.

Un capacitor es un elemento de dos terminales que consta de dos placas conductoras separadas por un material 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 pueden moverse 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 es 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 sí, 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 alterno, la polaridad del voltaje aplicado cambia cada semiciclo. Como resultado, el capacitor 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 de medida es el ohm. La fórmula 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 aumenta la frecuencia. Esta relación es muy importante porque los capacitores pueden determinar la frecuencia a la que puede operar un circuito.

### 3.2.4. Capacitancia.

La capacitancia de un capacitor (su capacidad de almacenar energía eléctrica), depende en gran medida de tres factores.

#### a) *Área de sus placas:*

Cuanto más sea el área, mayor será la capacitancia.

#### 2) *Espacio o distancia entre las placas:*

Cuanto más cercanas estén las placas, mayor será la capacitancia.

#### 3) *Del material dieléctrico:*

El capacitor almacena energía dentro de un campo electrostático dentro de su dieléctrico. Materiales diferentes tienen capacidades diferentes para mantener un campo electrostático y, por consiguiente para almacenar energía eléctrica.

La unidad de capacitancia es el faradio, el cual un capacitor tiene una capacitancia de un faradio, cuando un voltaje aplicado que cambia a razón de un volt por segundo y produce una corriente de un amper en el circuito del capacitor.

Casi siempre la capacitancia se expresa en microfaradios ( $\mu F = 10^{-6}$  F) o en picofaradio ( $pF = 10^{-12}$  F).

### 3.2.5 Tipos de capacitores.

Los capacitores se producen en diferentes formas y se dividen en dos clases generales:

a) *Capacitores fijos.*- Tienen un valor específico de capacitancia y pueden ser no-electrolíticos (tienen una capacitancia no mayor de un microfaradio ) o electrolíticos (va de un microfaradio hasta cientos de miles de microfaradios). Esto se relaciona con la estructura del dieléctrico.

b) *Capacitores variables.*- Se emplean para circuitos de sintonía, el cual en ellos existe menor oposición a una corriente de determinada frecuencia.

### 3.2.6 Capacitores en serie y en paralelo.

En los circuitos eléctricos se pueden conectar los capacitores entre si y con otros elementos de circuito en una diversidad de formas.

En una conexión en serie de un capacitor la magnitud de la carga de todas las placas es la misma. Por lo tanto para un número cualesquiera de capacitores en serie tenemos:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n$$

donde el recíproco de la capacitancia equivalente, es igual a la suma de los recíprocos de las capacitancias individuales.

Los capacitores se conectan con frecuencia en paralelo, para obtener un valor de capacitancia que no puede lograrse de manera sencilla con un capacitor conectado en serie.

La capacitancia total o equivalente de dicha combinación es igual a la suma de las capacidades individuales, entonces tenemos para cualquier número de capacitores en paralelo:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

FALTA PAGINA

No. **46**

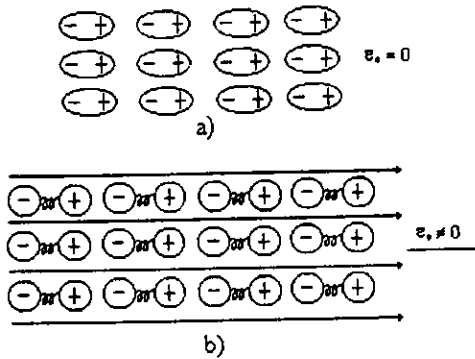
### 3.3 PROPIEDAD DE LOS DIELECTRICOS.

#### 3.3.1 Dieléctrico.

Los materiales que tienen muy pocos electrones libres y alta estabilidad, poseen una conductividad eléctrica extremadamente pequeña, se clasifican como no conductores y son comúnmente conocidos como aisladores o dieléctricos<sup>(37)</sup>. Los dieléctricos requieren una fuerza electromotriz muy elevada para producir en ellos una corriente eléctrica. El vacío es el único dieléctrico perfecto conocido con un valor de 1. Todos los otros materiales aislantes, como el papel, tela, madera, baquelita, caucho, plástico, vidrio, mica, cerámica, laca, barniz, aire y aceites son dieléctricos imperfectos (ver tabla 3.14.1). La función del aislamiento eléctrico es evitar el paso de la corriente entre dos conductores. En la práctica, casi todos los condensadores se construyen con dieléctricos. Una de las principales razones es el aumento de capacidad debido al dieléctrico.

Cuando un material dieléctrico está sometido a la acción de un campo eléctrico externo  $\epsilon_0$ , se ejercen fuerzas eléctricas sobre las partículas cargadas positiva y negativamente, que constituyen la sustancia. Las partículas de cargas opuestas tienden a moverse en direcciones opuestas debido a que las fuerzas ejercidas sobre ellas están dirigidas opuestamente por un dieléctrico, por ser un aislador. Existen dos casos especiales:

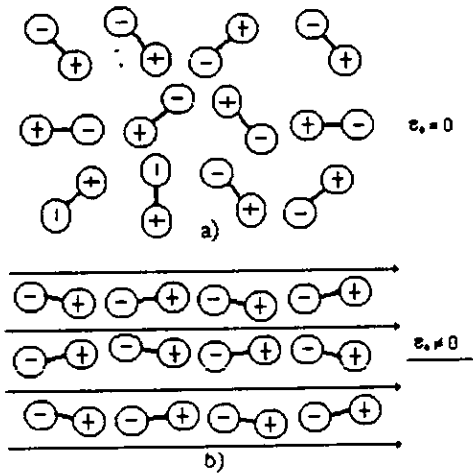
a) *No existen dipolos permanentes en la sustancia dieléctrica.*- Es decir, no existen dipolos en ausencia del campo eléctrico externo, esto significa que para cada molécula del dieléctrico, la localización promedio de la carga negativa (los electrones) coincide con la localización promedio de la carga positiva (los núcleos). Cuando del exterior se aplica al dieléctrico un campo eléctrico  $\epsilon_0$ , se inducen dentro del dipolos eléctricos inducidos. Al aplicarse un campo eléctrico se produce un estiramiento de cada una de las moléculas de tal manera que la localización promedio de sus cargas negativas se desplaza de la localización promedio de las cargas positivas.



*Figura 3.3.1 a) Representación esquemática de un material dieléctrico cuyas moléculas no poseen momentos dipolares eléctricos permanentes. En ausencia de un campo eléctrico aplicado  $\epsilon_0$ , las posiciones promedio de cada molécula positiva y negativa coinciden. b) Cuando se aplica un campo eléctrico  $\epsilon_0$  al material, las cargas positivas en cada una de las moléculas se desplazan en dirección  $\epsilon_0$  y las cargas negativas en la dirección opuesta. Por consiguiente cada molécula se convierte en un dipolo eléctrico. Los resortes representan el hecho de que estos son dipolos inducidos. En otras palabras, si el campo eléctrico aplicado se elimina, las dos cargas de los dipolos regresarán hasta coincidir y no existirán ya dipolos eléctricos.*

En la figura 3.3.1 se ilustra el proceso, en el cual cada molécula como cargas positivas y negativas de igual valor cuyos centros están unidos mediante un resorte que representa las fuerzas de atracción que se ejercen mutuamente entre sí. Cuando  $\epsilon_0=0$  cada uno de los resortes posee una longitud cero y las cargas están completamente superpuestas. Cuanto mayor sea el valor de  $\epsilon_0$  mayor será el alargamiento de cada uno de los resortes. Como cada dipolo eléctrico inducido posee un momento dipolar ( $\mathbf{p}$ ) cuyo módulo es proporcional a la separación de las dos cargas, el momento dipolar eléctrico aumenta al crecer la intensidad del campo eléctrico aplicado.

b) *Existen dipolos permanentes en la sustancia eléctrica.*- Para la mayoría de estas sustancias, en ausencia de un campo eléctrico aplicado  $\epsilon_0$ , estos dipolos eléctricos están orientados al azar debido a la agitación térmica. Cuando se aplica un campo eléctrico, las fuerzas iguales y opuestas que él ejerce sobre las dos cargas de cada dipolo producen un par sobre el dipolo, como se ilustra en la figura 3.3.2.



*Figura 3.3.2 a) Representación esquemática de un material dieléctrico cuyas moléculas poseen momentos dipolares eléctricos permanentes . La propiedad de ser dipolos permanentes se indica uniendo las dos cargas mediante una varilla rígida y no un resorte. En ausencia de un campo eléctrico aplicado  $\epsilon_0$ , la agitación térmica hace que las orientaciones de los dipolos sea al azar. b) Cuando se aplica un campo eléctrico  $\epsilon_0$  al material cada molécula gira de tal manera que la carga positiva se desplaza en la dirección de  $\epsilon_0$  y la carga negativa en la dirección opuesta.*

Estos momentos de torsión hacen que el momento dipolar eléctrico rote de tal manera que el momento dipolar eléctrico  $\mathbf{p}$  se alinea parcialmente con el campo eléctrico  $\epsilon_0$ . Si el campo eléctrico aplicado no es demasiado grande, el valor promedio de las componentes  $\mathbf{p}$  a lo largo de la dirección  $\epsilon_0$ , es proporcional al módulo de  $\epsilon_0$ .

La figura 3.3.3 ilustra esquemáticamente el efecto macroscópico de estos procesos. Para simplificar se dibuja una barra rectangular del dieléctrico cuyas caras son perpendiculares a la dirección del campo eléctrico uniforme que se aplica desde el exterior. En el cuerpo del dieléctrico se desarrollan o se rotan si ya estaban presentes, los momentos dipolares eléctricos, de tal manera que, en promedio, los vectores momento dipolar eléctrico son paralelos al vector campo eléctrico aplicado.

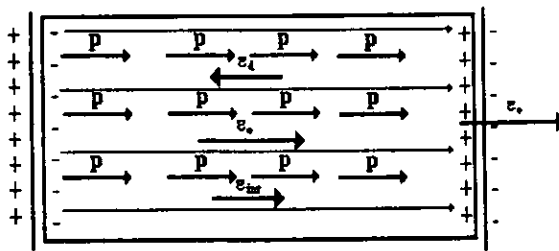


Figura 3.3.3 El campo depolarizante  $\epsilon_d$ , el campo eléctrico aplicado  $\epsilon_0$  y el vector suma de ellos, es decir, el vector campo eléctrico interno  $\epsilon_{int}$  en una barra de material eléctrico. El campo depolarizante es el campo eléctrico producido por los dipolos eléctricos que constituyen las moléculas del material. Cada dipolo eléctrico se indica por medio de su momento dipolar eléctrico  $p$ . Como los momentos dipolares eléctricos están dirigidos de la carga negativa a la carga positiva, los dipolos se alinean en la dirección del campo eléctrico aplicado  $\epsilon_0$ . El campo depolarizante  $\epsilon_d$  está en dirección de la parte más intensa del campo eléctrico producido por los dipolos individuales. Esta dirección es opuesta al momento dipolar eléctrico  $p$ . La dirección de  $p$  coincide con la dirección de  $\epsilon_0$  y, en consecuencia  $\epsilon_d$  está en dirección opuesta a la de  $\epsilon_0$ .

También ilustra que el campo eléctrico  $\epsilon_d$  de un dipolo eléctrico es más intenso en la región situada entre las cargas y que en tal región  $\epsilon_d$  es antiparalelo respecto al momento dipolar  $p$ . Pero  $p$  es paralelo al campo eléctrico  $\epsilon_0$  que actúa sobre el dipolo eléctrico. Por lo tanto, en la región donde  $\epsilon_d$  es más importante debido que posee una intensidad mayor, posee en promedio una dirección opuesta a la de  $\epsilon_0$ . Esto significa que a medida que los módulos de los momentos dipolares eléctricos aumentan (y/o sus direcciones aumentan al grado de alargamiento) bajo la influencia de un campo eléctrico  $\epsilon_0$  de valor creciente, y que

resulta del alineamiento creciente de los dipolos microscópicos. Al campo eléctrico  $\epsilon_d$  se denomina campo depolarizante. Como los momentos dipolares eléctricos macroscópicos a lo largo de la dirección del campo eléctrico poseen un valor proporcional a la intensidad del campo eléctrico aplicado, la magnitud del campo depolarizante es también proporcional al campo aplicado.

El campo eléctrico que existe realmente en el interior del dieléctrico  $\epsilon_{int}$ , es el vector suma de los campos aplicado y de despolarización.

$$\epsilon_{int} = \epsilon_o + \epsilon_d$$

Como  $\epsilon_o$  y  $\epsilon_d$  son opuestos, los términos de esta suma tienden a eliminarse. En consecuencia,  $\epsilon_{int}$  posee siempre un valor menor que  $\epsilon_o$ . Además, el módulo de  $\epsilon_{int}$  es proporcional al del campo aplicado ya que los dos términos del segundo miembro de la ecuación anterior poseen intensidades proporcionales a  $\epsilon_o$ .

Esta relación de proporcionalidad entre la intensidad del campo eléctrico interno en un material dieléctrico y la del campo eléctrico aplicado se puede designar más convenientemente en términos de la siguiente ecuación:

$$k = \epsilon_o / \epsilon_{int}$$

El parámetro  $k$ , definido en esta ecuación, es una constante denominada la constante dieléctrica. El valor de  $k$  es siempre mayor que 1 para cualquier sustancia dieléctrica ya que  $\epsilon_{int}$  es siempre menor que  $\epsilon_o$ . En el caso del vacío como ya se menciono anteriormente es de 1.

Exceptuando algunas explicaciones muy especiales, los condensadores siempre se fabrican con un dieléctrico por tres razones<sup>(38)</sup>:

a) *Estructural*. - Cuando dos electrodos están muy poco separados para maximizar la capacidad, no existe una mejor manera de mantenerlos juntos y al mismo tiempo evitar que hagan contacto directo.

b) *Campo de ruptura*. - El campo eléctrico máximo que un material puede soportar sin que sufra una descarga eléctrica destructiva al convertirse en conductor.

c) *Aumentan la capacidad del condensador*.



Faraday demostró de manera concluyente que en el caso de cualquier configuración geométrica, el efecto de llenar completamente el espacio entre los conductores con un dieléctrico equivale a multiplicar la capacitancia por una constante  $k$ , que sólo depende de la elección del dieléctrico.

Dicha constante es independiente de la configuración del capacitor, y también es prácticamente independiente de la diferencia de potencial en el dispositivo, siempre que el campo interior no sea excesivamente grande.

La constante  $k$ , recibe el nombre de constante dieléctrica del aislante. Las constantes dieléctricas son medidas por medio de capacidad, el cual si una carga  $Q$  se coloca sobre una placa de un condensador y si  $V$  es la diferencia de potencial entre las placas, entonces;

$$C=Q/V$$

Si ahora consideramos un capacitor de placas paralelas midiendo bajo dos condiciones distintas: primero en vacío (o en la práctica en el aire) entre las placas y después con el material que se investiga entre las placas. Supóngase que en ambos casos se coloca una carga  $Q$  sobre las placas. La densidad de carga sobre las placas será  $Q/A$ , donde  $A$  es el área de la placa. En el caso que haya vacío entre las placas,  $E$  será  $\sigma/\epsilon_0$  el cual es,  $Q/A\epsilon_0$ . Con el dieléctrico entre las placas, el campo eléctrico será  $1/k$  más grande.

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

$$V_v = Qd/A\epsilon_0$$

para el vacío

$$V_d = Qd/kA\epsilon_0$$

para el dieléctrico

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

$$C_v = A\epsilon_0/d$$

para el vacío

$$C_d = kA\epsilon_0/d$$

para el dieléctrico

Se ve que el efecto del dieléctrico ha sido el de incrementar la capacidad del capacitor por un factor igual a la constante dieléctrica. Por lo tanto, si se mide el capacitor sin ningún dieléctrico y se encuentra que la capacidad es  $C_v$ , si se repite la medición con un dieléctrico entre sus placas en el que se obtiene  $C_d$ , entonces:

$$k=C_d/C_v$$

*Tabla 3.3.1.- Constante dieléctrica de varias sustancias a 20°.*

Material	K
Vacio	1
Aire	1.006
Parafina	2.1
Accite	2.2
Benceno	2.29
Mica	6
Acetona	27
Alcohol metílico	38
Agua	81
Vidrio Pyrex 7070	4
Porcelana	7
Silicio (Si)	11.7
Azufre (S)	4
Cloruro de sodio (NaCl)	6.12

# **CAPÍTULO IV**

## **EXPERIMENTACIÓN**

El desarrollo experimental realizado en esta tesis constó de dos partes, siendo la primera la caracterización y preparación del mineral de galena, el cual se realizó utilizando los métodos de absorción atómica y microscopio electrónico de barrido, con el objeto de determinar la pureza siendo ésta de 86.5%, y la segunda etapa consistió en aplicar la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias, con el objeto de analizar las interacciones que ocurren en el sistema reactivos colector-depresor (KEX-  $K_2Cr_2O_7$ ), así como mezcla de ambos sobre un mineral de galena.

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 .4 a 110 MHz), pero como ya se mencionó, los valores que proporciona este equipo son susceptibles de error, debido al ruido interno de éste mismo, por lo que es necesario corregir estos valores mediante el uso de las expresiones 2.1 y 2.2 (ver apéndice A). Así mismo, se muestra la celda de medición, la cual está construida de acero inoxidable y tiene una capacidad de 5 ml; tomando un papel muy importante en la veracidad de los resultados, ya como se sabe la capacitancia depende de la geometría del capacitor, y en este caso el sistema se comporta como un capacitor.

#### **Condiciones experimentales en las que se desarrollo este trabajo.**

- Posteriormente se redujo el tamaño de partículas, para que todas estuvieran en un intervalo de tamaño de -200 a + 400 mallas; esto se realizó utilizando un mortero y cribas correspondientes para su clasificación.
- Para reproducir las condiciones existentes en un proceso de flotación de galena, se utilizó una solución reguladora que proporcionó el pH 9.1, el cual fue generado a partir de una mezcla de borato de sodio y ácido bórico, la cantidad de 2.896g y 0.615g, respectivamente, aforando a 1000 ml con agua destilada. El equipo de medición que se utilizó fue un pHmeter Corning modelo 125. Toda la experimentación se realizó al pH anteriormente mencionado.
- Una vez que tenemos la solución reguladora y el mineral a la granulometría establecida, el siguiente paso fue la preparación de soluciones de KEX y  $K_2Cr_2O_7$  requeridas.

Tabla de condiciones experimentales para el reactivo colector (KEX).

Intervalo de Frecuencias (MHz)	Concentración del reactivo KEX (M)	Electrólito sin mineral galena.	Electrólito con mineral galena.
0.5 - 100	1E-2	X	X
	5E-3	X	X
	1E-3	X	X
	6E-4	X	X
	1E-4	X	X

Tabla de condiciones experimentales para el reactivo depresor ( $K_2Cr_2O_7$ ).

Intervalo de Frecuencias (MHz)	Concentración del reactivo $K_2Cr_2O_7$ (M)	Electrólito sin mineral galena.	Electrólito con mineral galena.
0.5 - 100	1E-1	X	X
	5E-2	X	X
	1E-2	X	X
	5E-3	X	X
	1E-3	X	X
	5E-4	X	X

Tabla de condiciones experimentales para la mezcla de reactivos depresor-colector ( $K_2Cr_2O_7 + KEX$ ), en presencia y ausencia de mineral galena.

Intervalo de Frecuencias (MHz)	Concentración del reactivo $K_2Cr_2O_7$ (M)	Concentración del reactivo KEX (M)	Electrólito sin mineral galena.	Electrólito con mineral galena.
0.5 - 100	5E-2	1E-3	X	X
		1E-4	X	X
		5E-5	X	X
	1E-2	1E-3	X	X
		1E-4	X	X
		5E-5	X	X
	5E-3	1E-3	X	X
		1E-4	X	X
		5E-5	X	X

•Después de tener las soluciones preparadas, el siguiente paso fue la preparación de la pulpas las cuales contenían colector y depresor.

•La cantidad apropiada de sólidos en la pulpa para hacer las mediciones era el tener una fracción volumínica de 0.4 en la celda, con la finalidad de favorecer el equilibrio sólido-líquido.

En este caso de la galena, resulta que dicha fracción volumínica de 0.4 es equivalente al 71.42% de sólidos en peso. Pero debido a que esta es una fracción volumínica relativamente alta, en el sentido de que físicamente es muy densa, al vaciar a la celda se perdían una gran cantidad de sólidos, los cuales quedaban adheridos a las paredes del tubo. Es por eso que se decidió incrementar un mililitro más de solución a la pulpa, lo cual evidentemente repercutía en la fracción volumínica que bajaba de 0.369 y el porcentaje de sólidos igualmente disminuía, pero esto únicamente durante el tiempo de acondicionamiento, es decir, en el tubo de ensayo había 7.5g de PbS + 4 ml de solución, la solución era la concentración de los reactivos correspondientes, ya sea colector depresor o ambos.

• La pulpa fue agregada al tubo de ensayo y se procedía 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 realizó utilizando el Rop-Tap, con una base para fijar los tubos de ensayo.

El tiempo de acondicionamiento para todas las pruebas fue de 25 min.

#### **Pruebas realizadas.**

- Estudio de constantes dieléctricas del reactivo colector xantato etílico de potasio (KEX).
- Estudio de constantes dieléctricas del mineral galena en presencia del reactivo colector xantato etílico de potasio (KEX).
- Estudio de constantes dieléctricas del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ).

- Estudio de constantes dieléctricas del mineral galena en presencia del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ).
- Estudio de constantes dieléctricas de mezclas de reactivos colector-depresor (KEX- $K_2Cr_2O_7$ ).
- Estudio de constantes dieléctricas de pulpas con mineral galena el cual contenían las mezclas de reactivos colector-depresor (KEX-  $K_2Cr_2O_7$ ).

#### **Programa para obtener los valores de las variables.**

Para facilitar el cálculo de todas las variables que se involucran en el desarrollo de esta tesis, se realizó un programa en Hoja de cálculo Microsoft Excel (ver **apéndice B**).

#### **Reactivos Utilizados.**

- ◆ Xantato Etilico de Potasio (KEX).
- ◆ Dicromato de Potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), reactivo analítico, Baker.
- ◆ Ácido bórico, reactivo analítico, Baker.
- ◆ Borato de sodio, reactivo analítico, Baker.
- ◆ Agua destilada.
- ◆ Mineral galena 86.5% puro.

#### **Equipo utilizado para medir ángulo de fase e impedancia.**

- ◆ pHmeter Corning modelo 125.
- ◆ Balanza analítica. Modelo Startorius BP 310 P.
- ◆ Tubos de ensaye.
- ◆ Vasos de precipitado de 100 ml.
- ◆ Rop-Tap, sistema de agitación.
- ◆ Vector Impedance Meter 4193A, Hewlett Packard.

# **CAPÍTULO V**

## **RESULTADOS EXPERIMENTALES**



Los resultados obtenidos están clasificados en tres etapas:

**Etapas 1 Xantato Etilico de Potasio.**

- 1.1 Sistema KEX como electrólito sin mineral galena a pH 9.1.
- 1.2 Sistema KEX con mineral galena a pH 9.1.

**Etapas 2 Dicromato de Potasio.**

- 2.1 Sistema  $K_2Cr_2O_7$  como electrólito sin mineral galena a pH 9.1.
- 2.2 Sistema  $K_2Cr_2O_7$  con mineral galena a pH 9.1.

**Etapas 3 Mezcla Depresor-Collector.**

- 3.1 Sistema  $K_2Cr_2O_7$ -KEX como electrólitos sin mineral galena a pH 9.1.
- 3.1 Sistema  $K_2Cr_2O_7$ -KEX con mineral galena a pH 9.1.

**Etapas 1 Xantato Etilico de potasio.**

**Etapas 1.1 Sistema KEX como electrólito a pH 9.1.**

**Tabla 1. Constantes dieléctricas del sistema KEX  $1E-2$  (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

KEX $1E-2$ (M.) Sin mineral + Solución Reguladora							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	197.52	-1.16	197.56	32.50	168.88	8371.15	0.2329
1	198.56	-1.59	198.63	22.30	115.87	4163.02	0.2316
2	197.68	-2.57	197.88	18.07	93.88	2089.38	0.2325
5	195.21	-5.67	196.17	16.11	83.70	842.81	0.2344
10	193.05	-10.75	196.50	15.38	79.85	420.34	0.2338
20	184.98	-20.61	197.63	15.14	78.48	208.26	0.2317
30	170.99	-30.24	197.91	15.62	80.75	137.82	0.2300
40	157.04	-36.84	196.24	15.19	78.23	103.46	0.2302
50	141.77	-43.38	195.04	15.42	78.98	82.43	0.2293
60	128.77	-47.98	192.37	15.30	77.92	68.84	0.2298
70	116.31	-52.52	191.14	15.51	78.40	58.53	0.2280
80	105.72	-55.76	187.88	15.56	77.99	51.29	0.2283
90	95.45	-58.63	183.35	15.82	78.56	45.87	0.2297
100	87.24	-60.85	179.07	15.93	78.32	41.46	0.2306

**Tabla 2. Constantes dieléctricas del sistema KEX 5E-3 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>KEX 5E-3 (M.) Sin mineral + Solución Reguladora</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	234.53	-1.12	234.57	26.49	137.62	7050.42	0.19612
1	233.57	-1.73	233.68	20.55	106.75	3538.63	0.19686
2	232.76	-3.04	233.09	18.15	94.28	1773.75	0.19736
5	230.64	-6.65	232.20	15.98	83.02	712.03	0.19806
10	227.58	-12.67	233.26	15.34	79.64	354.10	0.19699
20	212.00	-24.14	232.31	15.35	79.57	177.16	0.19712
30	192.97	-34.66	234.61	15.63	80.81	116.26	0.19404
40	174.23	-41.45	232.46	15.12	77.84	87.35	0.19438
50	154.45	-48.23	231.84	15.37	78.73	69.35	0.19291
60	138.47	-52.78	228.91	15.25	77.68	57.85	0.19311
70	123.38	-57.09	227.07	15.47	78.20	49.28	0.19191
80	111.23	-60.03	222.68	15.49	77.70	43.29	0.19266
90	99.55	-62.70	217.07	15.79	78.40	38.75	0.19402
100	90.77	-64.67	212.14	15.85	77.93	35.01	0.19479

**Tabla 3. Constantes dieléctricas del sistema KEX 1E-3 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>KEX 1E-3 (M.) Sin mineral + Solución Reguladora</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	298.54	-1.06	298.59	19.66	102.13	5538.85	0.1541
1	298.63	-2.01	298.81	18.68	97.04	2767.35	0.1540
2	297.96	-3.61	298.55	16.79	87.26	1384.83	0.1541
5	293.76	-8.30	296.86	15.64	81.23	556.94	0.1549
10	286.33	-15.85	297.64	15.18	78.83	277.51	0.1544
20	257.68	-29.62	296.41	15.26	79.11	138.85	0.1545
30	223.08	-41.23	296.63	15.67	81.01	91.95	0.1535
40	196.31	-48.31	295.13	15.13	77.93	68.80	0.1531
50	169.51	-54.72	293.50	15.33	78.53	54.79	0.1524
60	149.12	-58.93	288.97	15.24	77.59	45.83	0.1530
70	130.94	-62.86	287.07	15.45	78.11	38.98	0.1518
80	116.95	-65.50	281.99	15.48	77.62	34.19	0.1522
90	103.85	-67.68	273.50	15.75	78.24	30.76	0.1540
100	93.92	-69.08	263.03	15.83	77.83	28.24	0.1571

**Tabla 4. Constantes dieléctricas del sistema KEX 6E-4 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>KEX 6E-4 (M.) Sin mineral + Solución Reguladora</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	303.54	-1.05	303.59	19.25	99.99	5447.60	0.1515
1	303.63	-2.00	303.81	18.28	95.00	2721.77	0.1514
2	301.98	-3.69	302.61	16.96	88.14	1366.27	0.1520
5	297.86	-8.46	301.14	15.73	81.70	549.03	0.1527
10	289.61	-16.10	301.44	15.24	79.15	274.01	0.1524
20	261.45	-29.94	301.72	15.19	78.75	136.41	0.1518
30	224.57	-41.63	300.46	15.69	81.12	90.78	0.1515
40	197.46	-48.61	298.64	15.12	77.84	67.99	0.1513
50	170.37	-55.04	297.32	15.31	78.44	54.08	0.1504
60	150.15	-59.24	293.57	15.18	77.31	45.12	0.1506
70	131.65	-63.18	291.78	15.41	77.91	38.36	0.1494
80	117.63	-65.69	285.75	15.41	77.30	33.75	0.1502
90	104.24	-68.01	278.34	15.73	78.14	30.23	0.1514
100	94.30	-69.39	267.96	15.80	77.69	27.73	0.1543

**Tabla 5. Constantes dieléctricas del sistema KEX 1E-4 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>KEX 1E-4 (M.) Sin mineral + Solución Reguladora</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	316.54	-1.04	316.59	18.24	94.77	5223.86	0.14531
1	315.64	-1.98	315.83	17.40	90.39	2618.26	0.14566
2	315.04	-3.84	315.75	16.94	87.99	1309.41	0.14569
5	310.14	-8.76	313.80	15.63	81.18	526.88	0.14656
10	301.54	-16.62	314.69	15.10	78.41	262.47	0.14602
20	269.25	-30.92	313.87	15.19	78.73	131.13	0.14590
30	229.00	-42.73	311.75	15.72	81.24	87.49	0.14602
40	200.91	-49.77	311.05	15.12	77.85	65.28	0.14527
50	172.58	-56.13	309.66	15.31	78.45	51.93	0.14444
60	151.70	-60.12	304.54	15.16	77.22	43.50	0.14519
70	132.69	-64.08	303.52	15.41	77.91	36.87	0.14360
80	118.46	-66.47	296.73	15.40	77.23	32.50	0.14464
90	104.85	-68.66	288.19	15.71	78.04	29.20	0.14620
100	95.24	-70.13	280.20	15.72	77.31	26.53	0.14759

DIF. CONC. KEX SIN MINERAL + SOLUCION BUFFE

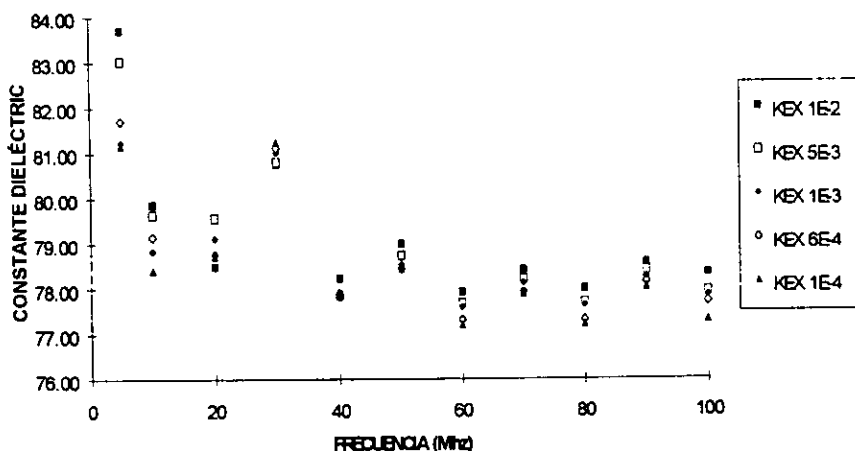


Figura 1. Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones de xantato etílico de potasio (KEX) sin mineral galena (PbS). Y solución reguladora a pH (9.1).

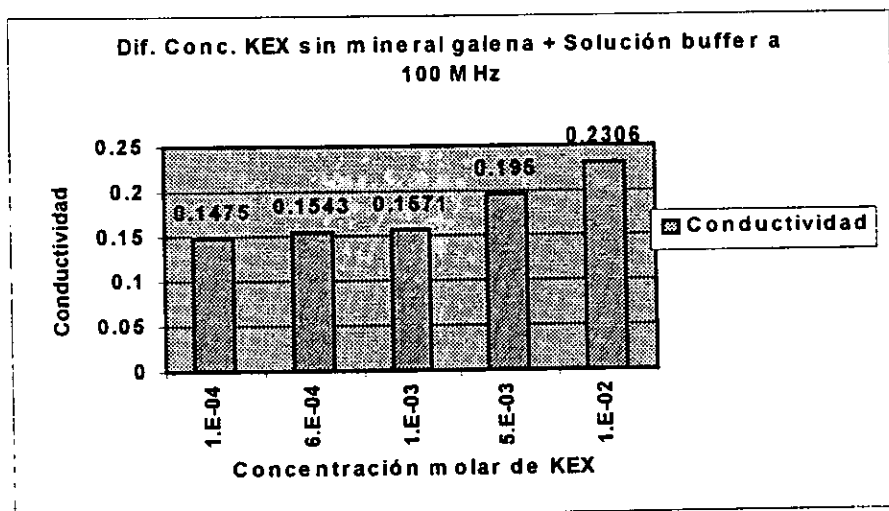


Figura 2. Conductividad eléctrica a 100 MHz vs diferentes concentraciones de xantato etílico de potasio (KEX) sin mineral galena (PbS). Y solución reguladora a pH (9.1).

**1.2 Sistema KEX con mineral galena a pH 9.1.**

**Tabla 6. Constantes dieléctricas del sistema KEX 1E-2 (M.) con mineral galena y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>KEX 1E-2 (M.) con mineral galena + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	93.04	-24.40	102.17	1413.30	7342.30	16182.30	0.4501
1	78.86	-21.58	84.81	742.30	3856.10	9744.60	0.5421
2	68.02	-19.35	72.10	387.70	2013.50	5727.60	0.6372
5	58.13	-18.22	61.20	171.20	888.30	2693.40	0.7492
10	53.01	-20.00	56.42	102.60	531.50	1454.30	0.8090
20	47.43	-27.15	53.31	76.55	393.20	758.10	0.8435
30	42.78	-34.66	52.02	70.52	358.00	506.10	0.8446
40	38.48	-40.75	50.80	67.48	337.40	377.30	0.8396
50	34.68	-46.41	50.30	66.47	326.00	293.90	0.8175
60	31.18	-50.74	49.28	65.87	316.10	239.90	0.8007
70	28.11	-54.67	48.63	65.97	308.80	199.10	0.7753
80	25.45	-57.89	47.89	66.19	301.60	168.50	0.7499
90	23.02	-60.10	46.20	66.57	294.70	147.60	0.7390
100	20.70	-61.56	43.48	67.59	290.00	133.70	0.7438

**Tabla 7. Constantes dieléctricas del sistema KEX 5E-3 (M.) con mineral galena y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>KEX 5E-3 (M.) con mineral galena + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	131.47	-21.90	141.71	903.38	4693.30	11668.20	0.3245
1	114.31	-19.35	121.16	461.32	2396.40	6822.60	0.3795
2	101.41	-17.74	106.48	239.17	1242.20	3880.06	0.4317
5	89.38	-19.16	94.63	116.91	606.76	1743.80	0.4850
10	81.28	-25.20	89.83	83.37	431.84	914.70	0.5088
20	68.30	-38.02	86.71	71.77	368.94	466.70	0.5192
30	56.85	-48.27	85.42	69.63	353.60	308.40	0.5147
40	47.77	-55.30	83.91	68.47	342.16	228.10	0.5075
50	40.48	-60.66	82.64	68.53	335.62	178.30	0.4959
60	34.87	-64.36	80.60	68.57	328.13	145.90	0.4870
70	30.51	-67.54	79.88	68.87	321.10	120.30	0.4684
80	26.98	-69.74	77.94	69.17	313.60	102.60	0.4566
90	23.86	-71.28	74.46	70.10	308.20	90.50	0.4566
100	21.19	-72.24	69.49	71.52	304.30	82.40	0.4584

**Tabla 8. Constantes dieléctricas del sistema KEX 1E-3 (M.) con mineral galena y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>KEX 1E-3 (M.) con mineral galena + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	-19.3	177.83	188.93	604.3	3139.9	8752.7	0.2434
1	-17.93	158.31	166.39	309.5	1608.2	4968.4	0.2764
2	-17.95	142.51	149.81	172.1	894.3	2758.4	0.3069
5	-23.19	125.78	136.84	99.66	517.3	1206.2	0.3355
10	-33.92	109.20	131.60	81.33	421.31	624.49	0.3774
20	-50.41	81.14	127.33	75.58	388.3	317.5	0.3532
30	-60.50	61.79	125.52	74.72	378.85	209.21	0.3491
40	-66.28	49.08	122.05	74.21	369.72	155.95	0.3470
50	-70.13	40.36	118.79	74.16	361.56	123.04	0.3422
60	-72.80	34.03	115.13	74.46	354.07	100.99	0.3370
70	-75.07	29.41	114.17	74.69	345.54	83.02	0.3233
80	-76.40	25.97	110.49	74.45	334.73	71.33	0.3174
90	-77.37	22.68	103.82	76.07	330.81	63.68	0.3188
100	-77.88	20.04	95.55	77.61	326.01	58.71	0.3266

**Tabla 9. Constantes dieléctricas del sistema KEX 6E-4 (M.) con mineral galena y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>KEX 6E-4 (M.) con mineral galena+ solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	104.60	-24.67	114.50	1277.01	6634.20	144338.1	0.4016
1	88.48	-21.84	95.33	669.30	3476.80	8669.80	0.4823
2	76.65	-20.00	81.50	355.00	1843.90	5062.70	0.5633
5	65.82	-20.51	70.20	169.40	878.80	2345.50	0.6524
10	59.18	-25.33	65.40	115.06	595.20	1252.00	0.6965
20	50.04	-36.80	62.50	95.25	488.00	643.10	0.7155
30	42.21	-46.34	61.10	90.91	458.60	425.10	0.7094
40	35.72	-53.11	59.50	89.07	440.20	315.02	0.7010
50	30.54	-58.37	58.20	88.72	427.70	245.60	0.6831
60	26.49	-62.16	56.70	88.53	414.90	199.50	0.6659
70	23.43	-65.33	56.10	88.15	400.80	163.50	0.6367
80	20.87	-67.58	54.70	88.09	387.70	138.70	0.6172
90	18.32	-69.14	51.40	91.02	382.30	123.04	0.6160
100	16.21	-70.02	47.40	92.23	376.20	112.50	0.6258

**Tabla 10. Constantes dieléctricas del sistema KEX 1E-4 (M.) con mineral galena y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>XEX 1E-4 (M.) con mineral galena + solución reguladora.</i>							
<b>F (MHz)</b>	<b>Z<sub>x</sub></b>	<b>θ<sub>x</sub></b>	<b>R<sub>x</sub></b>	<b>C<sub>x</sub></b>	<b>ε'</b>	<b>ε''</b>	<b>Conduct. eléct.</b>
0.5	110.70	-23.20	120.50	1134.60	5894.60	13715.70	0.3815
1	95.38	-20.51	101.80	584.70	3037.50	8115.58	0.4515
2	83.77	-19.05	88.60	310.00	1610.30	4660.80	0.5185
5	72.88	-20.70	77.90	154.30	800.90	2116.30	0.5886
10	65.35	-27.25	73.50	111.50	577.00	1115.30	0.6204
20	53.68	-40.40	70.50	96.20	492.80	569.40	0.6335
30	43.85	-50.60	69.00	93.49	471.20	375.70	0.6270
40	36.32	-57.22	67.10	92.09	454.40	278.50	0.6197
50	30.60	-62.19	65.60	91.98	442.30	217.00	0.6036
60	26.22	-65.62	63.50	92.12	430.20	177.00	0.5908
70	23.03	-68.50	63.00	91.87	415.70	144.50	0.5627
80	20.39	-70.33	60.60	91.85	402.00	124.10	0.5523
90	17.83	-71.79	57.00	94.18	396.60	109.60	0.5487
100	15.70	-72.45	52.10	96.62	390.90	101.10	0.5624

DIF. CONC. KEX CON MINERAL + SOLUCION BUFFER

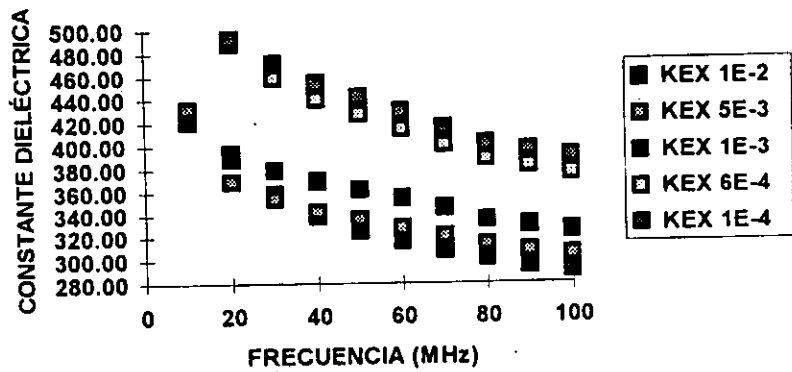


Figura 3. Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del colector, xantato etílico de potasio (KEX) con mineral galena (PbS), y solución reguladora a pH (9.1).

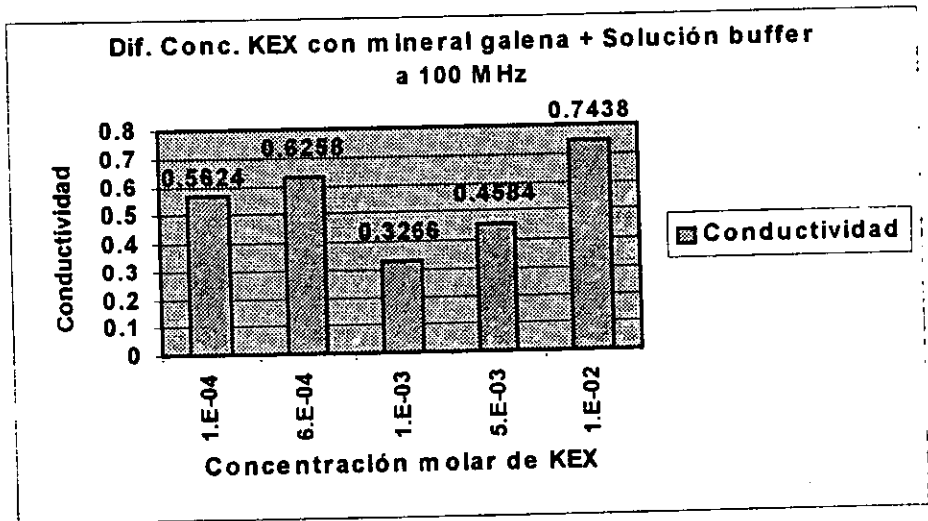


Figura 4. Conductividad eléctrica a 100 MHz vs diferentes concentraciones del colector, xantato etílico de potasio (KEX) con mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).



## Etapa 2 Dicromato de Potasio.

### 2.1 Sistema $K_2Cr_2O_7$ como electrólito sin mineral galena a pH 9.1.

**Tabla 11. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  1E-1 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i><math>K_2Cr_2O_7</math> 1E-1 (M.) sin mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	21.12	-4.84	21.19	1271.91	6607.69	78013.26	2.1700
1	20.82	-3.17	20.86	422.52	2194.95	39637.81	2.2052
2	20.65	-1.90	20.66	128.09	665.39	20006.22	2.2260
5	20.40	-1.29	20.41	35.10	182.32	8097.93	2.2525
10	20.48	-1.22	20.48	16.49	85.64	4032.02	2.2431
20	20.49	-2.12	20.50	14.36	74.47	2008.25	2.2345
30	20.27	-3.29	20.30	15.01	77.60	1343.97	2.2431
40	20.32	-4.07	20.37	13.89	71.59	998.09	2.2210
50	20.10	-5.15	20.18	14.21	72.88	798.43	2.2209
60	19.98	-6.16	20.10	14.25	72.68	660.58	2.2050
70	19.79	-6.99	19.94	13.99	70.91	564.08	2.1967
80	19.57	-8.39	19.78	14.84	74.51	488.71	2.1750
90	19.37	-8.45	19.58	13.41	67.03	434.88	2.1774
100	18.93	-8.50	19.14	12.42	61.75	396.37	2.2051

**Tabla 12. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i><math>K_2Cr_2O_7</math> 5E-2 (M.) sin mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	37.02	-2.85	37.06	427.35	2220.33	44621.49	1.2412
1	36.92	-1.95	36.94	146.73	762.35	22381.50	1.2451
2	36.65	-1.39	36.66	52.79	274.27	11277.13	1.2548
5	36.41	-1.36	36.42	20.70	107.52	4539.15	1.2626
10	36.51	-1.99	36.53	15.12	78.54	2260.89	1.2578
20	36.43	-3.91	36.51	14.90	77.26	1127.25	1.2542
30	36.18	-6.06	36.39	15.48	79.99	749.71	1.2513
40	35.97	-7.73	36.30	14.88	76.63	559.46	1.2450
50	35.55	-9.81	36.08	15.26	78.17	445.76	1.2399
60	35.17	-11.49	35.89	15.03	76.54	369.26	1.2326
70	34.58	-13.31	35.54	15.13	76.55	315.22	1.2276
80	34.11	-15.32	35.37	15.40	77.26	272.65	1.2135
90	33.44	-16.56	34.88	15.07	74.99	242.01	1.2117
100	32.40	-17.49	33.97	14.76	72.84	220.11	1.2245

Tabla 13. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  1E-2 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).

$K_2Cr_2O_7$ 1E-2 (M.) sin mineral + solución reguladora.							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$e'$	$e''$	Conduct. eléct.
0.5	111.81	-1.15	111.84	57.35	297.96	14787.79	0.4113
1	112.23	-1.27	112.25	31.51	163.70	7366.31	0.4098
2	111.67	-1.62	111.72	20.10	104.44	3700.78	0.4118
5	111.25	-3.20	111.42	15.95	82.88	1483.91	0.4128
10	111.11	-5.90	111.70	14.73	76.50	739.47	0.4114
20	109.14	-11.84	111.51	14.97	77.58	369.12	0.4107
30	105.62	-18.13	111.14	15.63	80.79	245.43	0.4096
40	101.97	-22.79	110.60	15.12	77.83	183.59	0.4085
50	96.89	-28.11	109.85	15.48	79.28	146.34	0.4071
60	92.24	-32.30	109.13	15.37	78.23	121.32	0.4050
70	86.88	-36.59	108.20	15.60	78.83	103.37	0.4026
80	81.78	-40.03	106.81	15.65	78.44	90.19	0.4014
90	76.34	-43.25	104.80	15.87	78.80	80.23	0.4017
100	71.53	-45.59	102.21	15.89	78.15	72.65	0.4042

Tabla 14. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).

$K_2Cr_2O_7$ 5E-3 (M.) sin mineral + solución reguladora.							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$e'$	$e''$	Conduct. eléct.
0.5	166.92	-0.99	166.94	32.87	170.79	9906.59	0.2756
1	167.54	-1.35	167.59	22.46	116.68	4934.20	0.2745
2	166.73	-2.19	166.85	18.25	94.80	2477.94	0.2757
5	165.74	-4.75	166.31	15.89	82.55	994.14	0.2765
10	164.82	-9.15	166.95	15.36	79.76	494.75	0.2752
20	158.88	-17.68	166.76	15.21	78.84	246.81	0.2746
30	149.01	-26.31	166.23	15.78	81.55	164.07	0.2738
40	139.09	-32.41	164.74	15.33	78.93	123.22	0.2742
50	127.91	-38.72	163.94	15.56	79.71	98.04	0.2727
60	117.87	-43.38	162.16	15.46	78.68	81.63	0.2725
70	107.86	-47.90	160.90	15.64	79.04	69.51	0.2707
80	99.05	-51.18	158.00	15.65	78.44	60.97	0.2714
90	90.17	-54.47	155.15	15.96	79.22	54.17	0.2712
100	83.01	-56.66	151.04	16.02	78.72	49.13	0.2733

Tabla 15. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  1E-3 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).

<i>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1E-3 (M.) sin mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	293.54	-1.16	293.60	21.98	114.18	5632.96	0.1567
1	292.62	-2.02	292.80	19.16	99.57	2824.11	0.1571
2	289.94	-3.63	290.52	17.40	90.40	1423.09	0.1583
5	285.65	-8.37	288.72	16.22	84.26	572.64	0.1593
10	277.84	-15.79	288.73	15.59	80.93	286.06	0.1591
20	251.67	-29.47	289.06	15.55	80.63	142.37	0.1584
30	215.36	-41.05	285.56	16.18	83.59	95.48	0.1594
40	191.39	-48.05	286.31	15.46	79.60	70.89	0.1578
50	165.19	-54.45	284.14	15.68	80.29	56.56	0.1573
60	145.38	-58.65	279.47	15.58	79.32	47.35	0.1581
70	127.98	-62.68	278.82	15.78	79.74	40.09	0.1561
80	114.19	-65.09	271.10	15.80	79.18	35.51	0.1581
90	101.18	-67.53	264.69	16.15	80.13	31.72	0.1588
100	91.38	-68.82	252.96	16.24	79.76	29.29	0.1630

Tabla 16. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  5E-4 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).

<i>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 5E-4 (M.) sin mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	264.53	-1.09	264.58	22.87	118.81	6250.79	0.1739
1	263.60	-1.87	263.74	19.73	102.49	3135.36	0.1744
2	262.84	-3.33	263.29	17.60	91.43	1570.29	0.1747
5	259.12	-7.60	261.42	16.24	84.39	632.46	0.1759
10	253.16	-14.47	261.45	15.71	81.56	315.91	0.1757
20	231.66	-27.04	260.10	15.62	80.96	158.22	0.1760
30	202.79	-38.26	258.26	16.20	83.71	105.57	0.1762
40	182.25	-45.20	258.65	15.49	79.75	78.47	0.1746
50	158.95	-51.71	256.50	15.72	80.49	62.64	0.1743
60	140.91	-56.17	253.11	15.64	79.59	52.27	0.1745
70	124.55	-60.29	251.33	15.86	80.10	44.47	0.1732
80	111.64	-63.04	246.23	15.88	79.58	39.09	0.1740
90	99.36	-65.59	240.43	16.21	80.40	34.91	0.1748
100	89.92	-67.02	230.29	16.29	80.01	32.17	0.1790

DIF. CONC. K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> SIN MINERAL + SOLUCION BUFFE

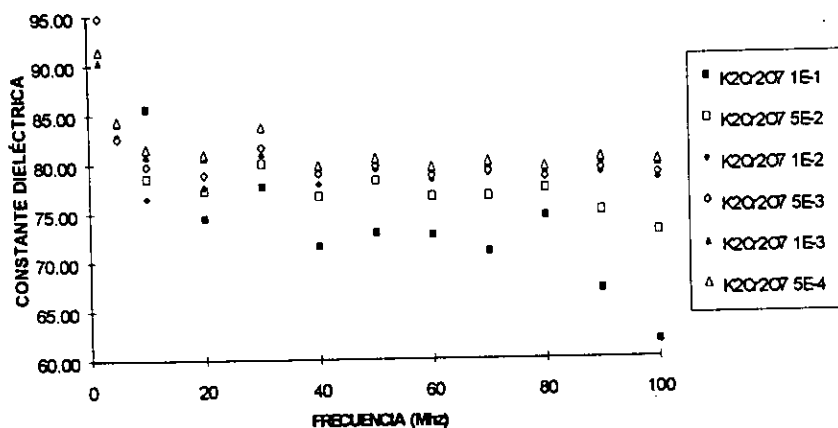


Figura 5 Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) sin mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).

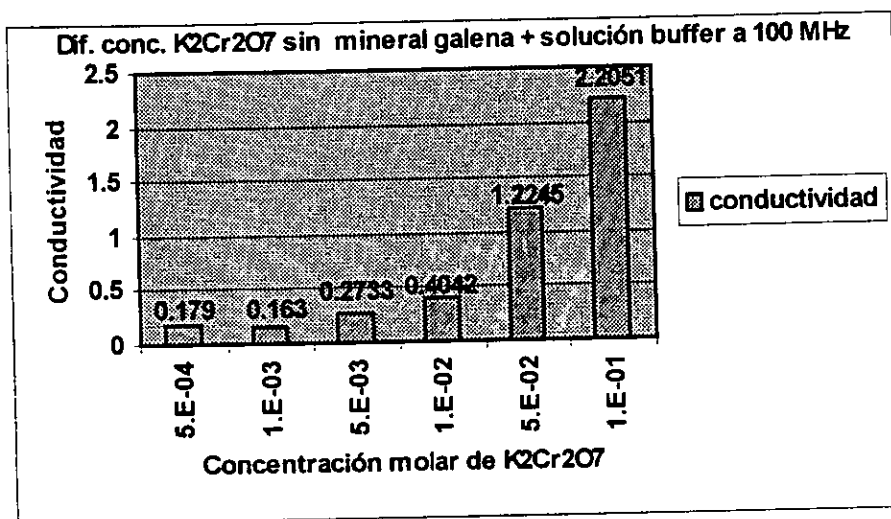


Figura 6 Conductividad eléctrica a 100 MHz vs diferentes concentraciones del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) sin mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).

2.2 Sistema  $K_2Cr_2O_7$  con mineral galena a pH 9.1.

Tabla 17. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  1E-1 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).

<i><math>K_2Cr_2O_7</math> 1E-1 (M.) con mineral + solución reguladora.</i>							
F (MBz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	21.00	-39.20	27.10	9941.38	51604.32	60905.33	1.6942
1	15.34	-40.50	20.28	7075.06	36662.40	40559.29	2.2564
2	10.74	-39.40	14.12	5038.85	25984.19	28855.67	3.2106
5	6.80	-30.90	8.30	2855.62	14457.24	18924.57	5.2641
10	5.14	-17.30	5.81	1553.80	7647.97	12809.32	7.1262
20	4.37	5.40	4.45	757.92	3567.83	7702.75	8.5705
30	4.50	23.50	3.85	467.23	2130.62	5595.14	9.3382
40	5.04	36.80	3.63	299.04	1343.73	4335.67	9.6482
50	5.73	46.40	3.41	218.60	966.14	3589.79	9.9855
60	6.55	53.20	3.30	161.67	708.61	3046.70	10.1698
70	7.45	58.40	3.20	130.92	566.08	2632.62	10.2522
80	8.34	62.10	3.18	120.98	508.35	2208.54	9.8294
90	9.24	65.20	3.04	44.57	206.49	2431.74	12.1756
100	10.17	67.90	2.98	-22.27	127.52	3404.46	18.9399

Tabla 18. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).

<i><math>K_2Cr_2O_7</math> 5E-2 (M.) con mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	24.60	-38.80	31.56	8369.28	43450.18	52327.38	1.4556
1	18.09	-37.70	22.88	5622.44	29150.90	35992.83	2.0024
2	13.22	-34.10	16.01	3601.57	18612.09	25552.31	2.8431
5	9.30	-24.50	10.33	1676.26	8575.75	15524.60	4.3184
10	7.69	-14.20	8.11	802.81	4051.86	9629.52	5.3572
20	6.83	-0.20	6.90	371.59	1832.99	5414.64	6.0246
30	6.66	11.00	6.34	238.77	1153.52	3776.34	6.3026
40	6.82	20.40	6.14	173.20	821.42	2827.21	6.2914
50	7.10	28.70	5.88	143.40	664.78	2265.22	6.3010
60	7.57	35.60	5.75	121.79	552.83	1857.43	6.2000
70	8.13	42.00	5.58	110.54	489.13	1570.06	6.1142
80	8.71	46.90	5.53	108.16	462.49	1307.98	5.8213
90	9.37	51.10	5.28	82.90	356.08	1226.30	6.1400
100	10.06	55.10	5.02	61.18	266.32	1188.07	6.6096

**Tabla 19. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  1E-2 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i><math>K_2Cr_2O_7</math> 1E-2 (M.) con mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	32.20	-29.50	36.77	5009.17	26013.97	44930.70	1.2498
1	26.20	-26.00	28.91	2766.33	14358.11	28546.44	1.5881
2	21.50	-22.10	22.99	1468.88	7615.04	17906.25	1.9923
5	17.87	-16.50	18.49	570.75	2949.67	8849.23	2.4615
10	16.21	-12.50	16.61	275.27	1415.64	4878.37	2.7140
20	14.89	-10.00	15.55	162.18	822.97	2537.48	2.8233
30	13.93	-8.90	15.04	133.71	665.71	1686.05	2.8140
40	13.01	-7.70	14.77	120.18	584.66	1231.95	2.7415
50	12.02	-6.00	14.46	115.80	547.27	954.27	2.6544
60	11.10	-3.30	14.21	112.42	514.78	764.27	2.5511
70	10.23	0.80	13.96	111.39	492.40	626.58	2.4401
80	9.44	5.90	13.82	111.45	474.38	519.05	2.3101
90	8.83	12.60	13.00	110.28	452.47	461.23	2.3094
100	8.45	20.60	12.08	109.78	433.69	419.70	2.3349

**Tabla 20. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i><math>K_2Cr_2O_7</math> 5E-3 (M.) con mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	36.80	-26.50	40.85	3961.58	20575.61	40456.85	1.1254
1	30.90	-22.90	33.25	2072.95	10762.09	24828.01	1.3812
2	26.20	-19.50	27.54	1061.28	5505.33	14966.90	1.6653
5	22.20	-15.10	22.81	413.12	2138.16	7195.38	2.0015
10	20.40	-13.20	20.97	215.81	1112.32	3880.81	2.1590
20	18.70	-13.80	19.92	142.18	723.51	1992.02	2.2164
30	17.31	-15.80	19.60	125.68	627.27	1299.93	2.1696
40	15.71	-16.90	19.26	117.23	571.15	947.45	2.1084
50	14.00	-17.00	18.83	115.00	543.79	733.26	2.0397
60	12.37	-15.80	18.48	113.54	519.33	586.54	1.9578
70	10.82	-12.50	18.06	113.61	500.90	482.10	1.8775
80	9.46	-7.40	17.75	113.91	483.22	401.66	1.7876
90	8.35	0.20	16.55	115.04	468.51	357.69	1.7909
100	7.60	10.20	15.23	116.64	455.32	326.79	1.8180

**Tabla 21. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  1E-3 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i><math>K_2Cr_2O_7</math> 1E-3 (M.) con mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	52.90	-22.30	56.85	2325.69	12080.99	29080.39	0.8089
1	45.90	-19.10	48.24	1160.11	6024.96	17128.63	0.9529
2	40.40	-16.50	41.83	575.08	2985.34	9866.05	1.0977
5	35.70	-14.80	36.72	239.88	1243.56	4483.39	1.2471
10	33.20	-16.60	34.77	147.94	764.39	2352.13	1.3086
20	29.60	-23.10	33.53	116.42	594.59	1191.73	1.3260
30	25.90	-29.10	32.84	110.05	551.88	782.76	1.3064
40	22.20	-33.60	32.31	106.96	523.83	570.40	1.2693
50	18.70	-36.30	31.69	106.71	507.62	440.67	1.2258
60	15.80	-37.50	31.46	105.23	485.17	349.33	1.1660
70	13.00	-36.50	30.90	105.75	470.56	286.33	1.1151
80	10.57	-33.40	30.38	106.16	455.18	239.01	1.0637
90	8.51	-27.50	28.51	108.44	446.22	211.29	1.0579
100	6.88	-17.40	26.19	111.32	438.58	192.81	1.0726

**Tabla 22. Constantes dieléctricas del sistema  $K_2Cr_2O_7$  5E-4 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i><math>K_2Cr_2O_7</math> 5E-4 (M.) con mineral + solución reguladora.</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	62.20	-22.10	66.80	1954.43	10152.83	24749.10	0.6884
1	54.00	-19.00	56.77	976.52	5071.88	14555.25	0.8097
2	47.70	-16.50	49.45	483.62	2510.94	8349.39	0.9290
5	42.30	-15.10	43.61	203.27	1054.11	3777.51	1.0508
10	39.30	-17.60	41.39	128.84	666.21	1978.75	1.1008
20	34.90	-25.10	40.04	102.80	526.10	1001.85	1.1147
30	30.30	-31.80	39.19	97.76	492.12	660.72	1.1027
40	25.80	-36.90	38.52	95.41	470.04	483.79	1.0766
50	21.80	-40.20	37.98	94.77	454.79	373.72	1.0396
60	18.10	-41.60	36.99	94.82	441.64	302.66	1.0103
70	15.09	-41.80	36.81	94.49	426.25	246.14	0.9586
80	12.31	-39.90	36.14	94.82	413.22	206.58	0.9194
90	9.93	-35.80	34.03	96.67	405.47	182.73	0.9149
100	7.91	-28.20	31.35	99.29	399.75	166.83	0.9281

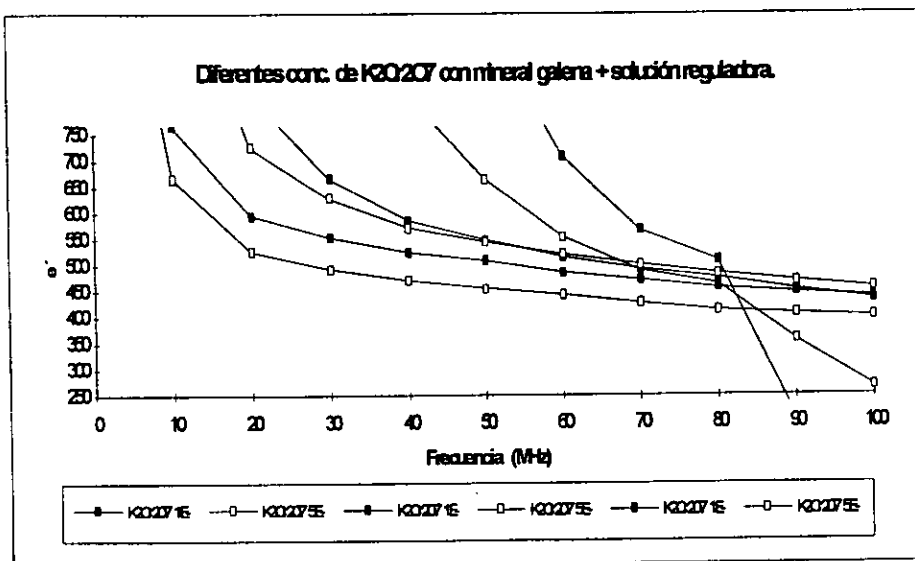


Figura 7. Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) con mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).

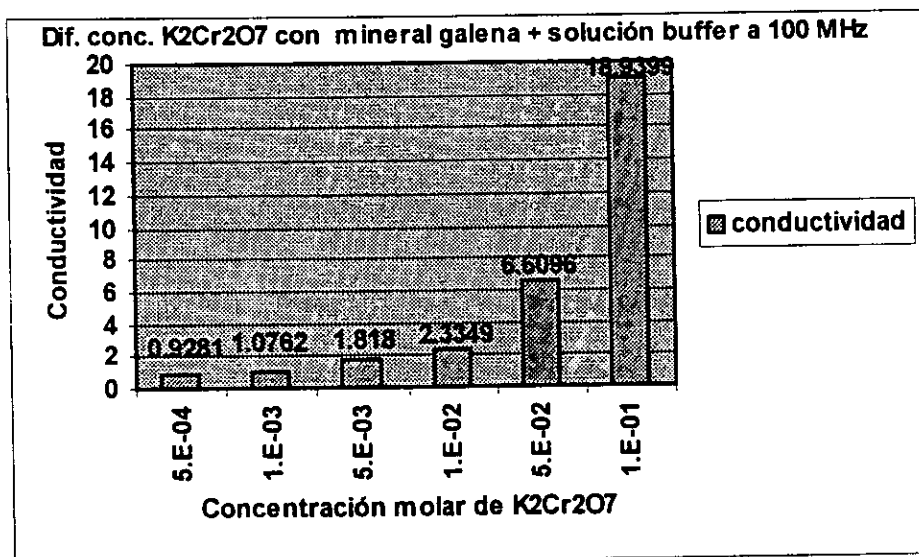


Figura 8. Conductividad eléctrica a 100 MHz vs diferentes concentraciones del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) con mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).



**Etapa 3 Mezcla Depresor-Colector.**

**3.1 Sistema  $K_2Cr_2O_7$  - KEX como electrolitos sin mineral galena a pH (9.1).**

**Tabla 23. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.), KEX 1E-3 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>Mezcla sin mineral <math>K_2Cr_2O_7</math> 5E-2 (M.) + KEX 1E-3 (M.)</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	61.81	-1.95	61.85	174.98	909.15	26738.74	0.7438
1	61.92	-1.42	61.94	63.55	330.19	13349.66	0.7427
2	61.55	-1.38	61.57	31.06	161.36	6714.78	0.7471
5	61.43	-1.93	61.47	17.45	90.65	2689.69	0.7482
10	61.40	-3.35	61.50	15.17	78.75	1343.00	0.7471
20	61.18	-6.72	61.60	15.22	78.89	668.13	0.7434
30	60.28	-10.35	61.28	15.81	81.72	445.05	0.7428
40	59.52	-13.28	61.15	15.35	79.03	331.95	0.7387
50	58.10	-16.50	60.60	15.56	79.69	265.24	0.7378
60	56.87	-19.33	60.27	15.44	78.59	219.64	0.7332
70	55.29	-22.32	59.77	15.61	78.90	187.13	0.7287
80	53.53	-25.15	59.13	15.79	79.15	162.82	0.7246
90	51.51	-27.47	58.06	15.84	78.65	144.84	0.7252
100	49.44	-29.38	56.74	15.79	77.67	130.95	0.7285

**Tabla 24. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.), KEX 1E-4 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>Mezcla sin mineral <math>K_2Cr_2O_7</math> 5E-2 (M.) + KEX 1E-4 (M.)</i>							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	62.41	-1.74	62.44	155.24	806.55	26485.06	0.7367
1	62.22	-1.31	62.24	58.70	304.97	13285.99	0.7391
2	61.65	-1.28	61.67	28.72	149.23	6704.29	0.7460
5	61.23	-1.93	61.27	17.54	91.10	2698.47	0.7506
10	61.19	-3.26	61.29	14.79	76.80	1347.64	0.7497
20	61.68	-6.69	62.10	15.02	77.86	662.76	0.7374
30	60.07	-10.27	61.05	15.75	81.37	446.76	0.7456
40	59.20	-13.22	60.81	15.37	79.11	333.82	0.7428
50	57.88	-16.43	60.35	15.56	79.68	266.35	0.7409
60	56.62	-19.17	59.95	15.38	78.33	220.84	0.7372
70	55.04	-22.17	59.43	15.59	78.78	188.20	0.7329
80	53.24	-24.92	58.71	15.74	78.90	164.02	0.7300
90	51.35	-27.32	57.80	15.80	78.48	145.51	0.7286
100	49.26	-29.14	56.40	15.73	77.38	131.80	0.7332

Tabla 25. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.), KEX 5E-5 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).

*Mezcla sin mineral  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.) + KEX 5E-5 (M.)*

F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	63.41	-1.94	63.45	170.22	884.39	26064.14	0.7250
1	63.02	-1.51	63.04	66.70	346.55	13115.94	0.7297
2	62.35	-1.37	62.37	30.54	158.68	6628.63	0.7375
5	62.03	-1.92	62.07	17.19	89.32	2663.69	0.7409
10	61.90	-3.44	62.01	15.42	80.08	1331.91	0.7410
20	61.58	-6.69	62.00	15.06	78.07	663.83	0.7386
30	60.70	-10.41	61.71	15.80	81.65	441.93	0.7376
40	59.83	-13.24	61.46	15.23	78.40	330.35	0.7351
50	58.43	-16.55	60.95	15.52	79.48	263.72	0.7336
60	57.20	-19.36	60.63	15.38	78.28	218.36	0.7289
70	55.52	-22.36	60.04	15.58	78.74	186.31	0.7255
80	53.74	-25.09	59.33	15.70	78.68	162.32	0.7224
90	51.85	-27.47	58.44	15.73	78.14	143.97	0.7209
100	49.66	-29.30	56.94	15.69	77.17	130.57	0.7264

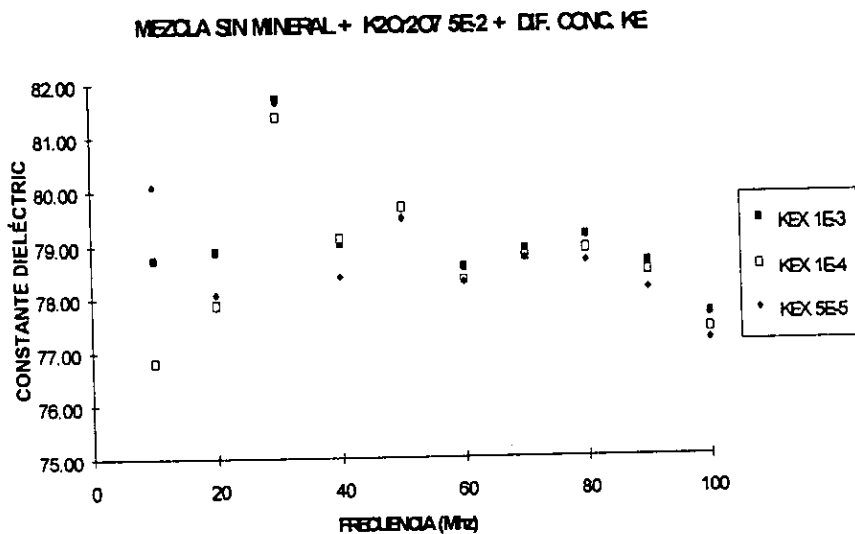


Figura 9. Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) con una sola concentración del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$  = 5E-2 M) sin mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).

**Tabla 26. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$   $1E-2$  (M.), KEX  $1E-3$  (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

*Mezcla sin mineral  $K_2Cr_2O_7$   $1E-2$  (M.) + KEX  $1E-3$  (M.)*

F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	162.52	-0.99	162.54	33.93	176.28	10174.80	0.2830
1	161.84	-1.27	161.88	21.73	112.88	5108.26	0.2842
2	160.72	-2.11	160.83	18.27	94.91	2570.70	0.2860
5	159.40	-4.61	159.91	16.04	83.33	1033.90	0.2876
10	157.94	-8.78	159.81	15.38	79.87	516.85	0.2875
20	152.44	-17.19	159.57	15.43	79.98	257.91	0.2870
30	143.30	-25.63	158.94	16.01	82.75	171.57	0.2863
40	134.25	-31.74	157.86	15.59	80.26	128.56	0.2861
50	123.55	-37.82	156.42	15.80	80.90	102.71	0.2857
60	114.08	-42.47	154.67	15.70	79.90	85.53	0.2855
70	104.51	-46.88	152.90	15.88	80.21	73.09	0.2846
80	96.12	-50.38	150.72	15.94	79.87	63.84	0.2841
90	87.63	-53.55	147.47	16.23	80.52	56.91	0.2849
100	80.71	-55.64	143.01	16.28	79.94	51.80	0.2882

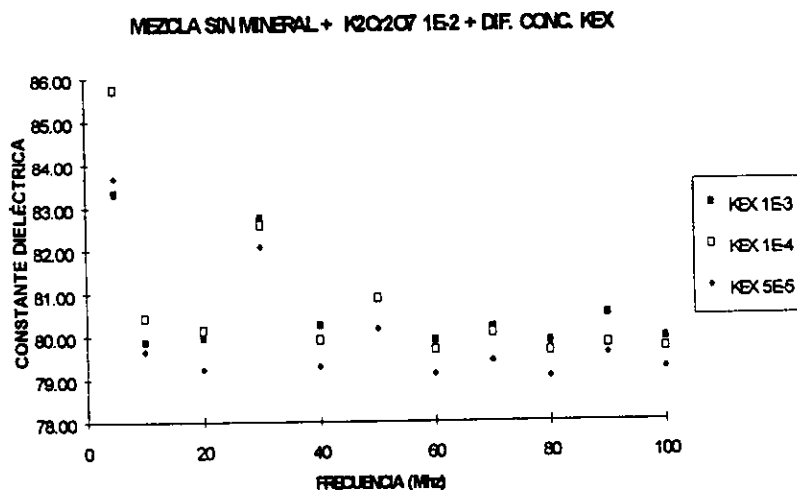
**Tabla 27. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$   $1E-2$  (M.), KEX  $1E-4$  (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

*Mezcla sin mineral  $K_2Cr_2O_7$   $1E-2$  (M.) + KEX  $1E-4$  (M.)*

F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	162.62	-1.09	162.65	37.33	193.95	10168.16	0.2828
1	163.04	-1.36	163.09	23.23	120.71	5070.40	0.2821
2	162.22	-2.21	162.34	18.91	98.22	2546.70	0.2834
5	161.12	-4.79	161.68	16.50	85.73	1022.57	0.2844
10	159.79	-8.95	161.76	15.49	80.43	510.60	0.2841
20	154.21	-17.44	161.64	15.46	80.15	254.60	0.2833
30	144.83	-25.87	160.97	15.98	82.60	169.41	0.2827
40	135.38	-31.88	159.44	15.52	79.91	127.30	0.2833
50	124.56	-38.19	158.49	15.80	80.90	101.37	0.2820
60	114.97	-42.73	156.51	15.66	79.68	84.53	0.2822
70	105.32	-47.25	155.15	15.85	80.08	72.03	0.2805
80	96.76	-50.64	152.58	15.90	79.64	63.07	0.2807
90	88.68	-53.75	149.97	16.08	79.81	56.00	0.2804
100	81.21	-55.90	144.87	16.23	79.70	51.15	0.2846

**Tabla 28. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$   $1E-2$  (M.), KEX  $5E-5$  (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

Mezcla sin mineral $K_2Cr_2O_7$ $1E-2$ (M.) + KEX $5E-5$ (M.)							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	155.22	-1.00	155.24	35.82	186.09	10653.34	0.2963
1	155.04	-1.28	155.07	22.93	119.13	5332.33	0.2967
2	154.41	-2.04	154.51	18.34	95.28	2675.85	0.2977
5	153.76	-4.46	154.23	16.11	83.67	1072.02	0.2982
10	152.91	-8.47	154.59	15.34	79.64	534.28	0.2972
20	148.11	-16.53	154.50	15.28	79.22	266.39	0.2964
30	139.81	-24.74	153.94	15.88	82.08	177.15	0.2957
40	131.56	-30.61	152.87	15.40	79.29	132.78	0.2955
50	121.68	-36.75	151.87	15.65	80.16	105.82	0.2943
60	112.76	-41.36	150.23	15.54	79.12	88.09	0.2941
70	103.59	-45.74	148.42	15.72	79.42	75.33	0.2934
80	95.63	-49.31	146.68	15.77	79.05	65.64	0.2921
90	87.44	-52.45	143.49	16.03	79.58	58.54	0.2931
100	80.61	-54.77	139.74	16.13	79.24	53.06	0.2952



**Figura 10. Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) con una sola concentración del reactivo depresor, dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ , =  $1E-2$  M) sin mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).**

**Tabla 29. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$ ,  $5E-3$  (M.), KEX  $1E-3$  (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

<i>Mezcla sin mineral <math>K_2Cr_2O_7</math>, <math>5E-3</math> (M.) + KEX <math>1E-3</math> (M.)</i>							
F (MHz)	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	206.52	-0.95	206.55	25.45	132.21	8006.96	0.2227
1	205.56	-1.58	205.64	21.36	110.97	4021.23	0.2237
2	204.69	-2.65	204.91	17.95	93.26	2017.67	0.2245
5	203.31	-6.00	204.43	16.36	84.97	808.77	0.2250
10	200.37	-11.33	204.35	15.60	81.01	404.18	0.2249
20	188.74	-21.84	203.34	15.69	81.32	202.38	0.2252
30	174.90	-31.58	205.30	15.89	82.10	132.83	0.2217
40	159.83	-38.26	203.55	15.41	79.35	99.72	0.2219
50	143.25	-44.76	201.74	15.65	80.13	79.66	0.2216
60	129.74	-49.41	199.41	15.53	79.04	66.37	0.2215
70	116.77	-53.87	198.02	15.73	79.46	56.46	0.2199
80	105.82	-57.01	194.38	15.77	79.03	49.54	0.2205
90	95.15	-59.68	188.49	16.04	79.62	44.57	0.2231
100	87.05	-61.88	184.70	16.12	79.22	40.15	0.2234

**Tabla 30. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$ ,  $5E-3$  (M.), KEX  $1E-4$  (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

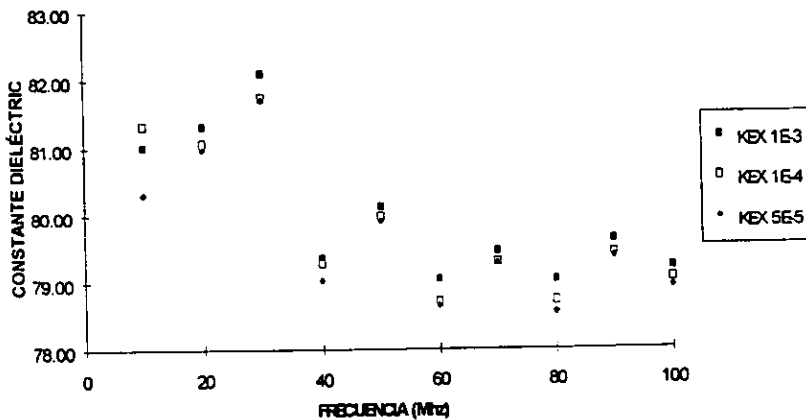
<i>Mezcla sin mineral <math>K_2Cr_2O_7</math>, <math>5E-3</math> (M.) + KEX <math>1E-4</math> (M.)</i>							
F (MHz)	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	210.52	-0.94	210.55	24.85	129.14	7854.82	0.21849
1	209.56	-1.57	209.64	20.85	108.32	3944.46	0.21944
2	208.70	-2.63	208.92	17.50	90.94	1978.98	0.22019
5	206.34	-6.07	207.50	16.31	84.73	796.77	0.22163
10	202.47	-11.49	206.61	15.66	81.32	399.76	0.22239
20	190.56	-21.99	205.52	15.64	81.06	200.24	0.22280
30	176.87	-31.82	208.17	15.82	81.74	131.01	0.21866
40	161.28	-38.63	206.45	15.40	79.28	98.32	0.21880
50	144.47	-45.14	204.81	15.62	79.98	78.47	0.21827
60	130.82	-49.68	202.19	15.46	78.70	65.47	0.21853
70	117.44	-54.16	200.57	15.69	79.30	55.75	0.21711
80	106.47	-57.19	196.47	15.70	78.71	49.02	0.21817
90	95.67	-59.97	191.18	16.00	79.43	43.95	0.22005
100	87.40	-62.07	186.58	16.09	79.05	39.75	0.22115

**Tabla 31. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.), KEX 5E-5 (M.) sin mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

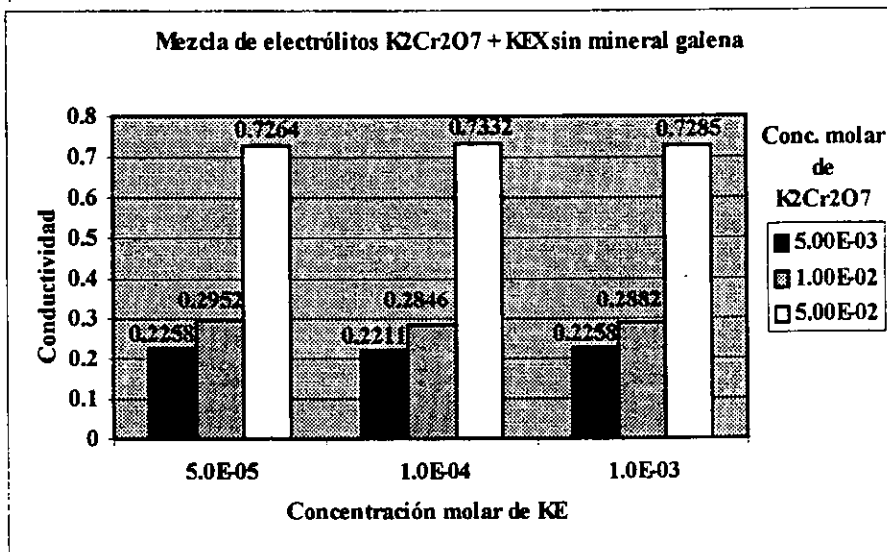
*Mezcla sin mineral  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.) + KEX 5E-5 (M.)*

F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	207.52	-0.94	207.55	25.30	131.43	7968.37	0.2217
1	206.56	-1.58	206.64	21.23	110.30	4001.76	0.2226
2	205.69	-2.64	205.91	17.84	92.67	2007.86	0.2234
5	203.30	-5.90	204.38	16.08	83.56	808.97	0.2250
10	200.35	-11.23	204.26	15.46	80.30	404.37	0.2250
20	188.70	-21.74	203.15	15.62	80.96	202.57	0.2254
30	174.70	-31.37	204.62	15.81	81.71	133.29	0.2225
40	159.74	-38.04	202.81	15.35	79.02	100.09	0.2227
50	143.34	-44.64	201.45	15.60	79.91	79.78	0.2219
60	129.92	-49.17	198.71	15.45	78.64	66.62	0.2224
70	116.69	-53.64	196.83	15.69	79.28	56.81	0.2212
80	106.19	-56.75	193.67	15.67	78.54	49.74	0.2214
90	95.23	-59.45	187.34	15.99	79.37	44.85	0.2246
100	87.11	-61.54	182.78	16.06	78.92	40.59	0.2258

**MEZCLA SIN MINERAL +  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 + DIF. CONC. DE KEX**



**Figura 11. Constante dieléctrica ( $e'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) con una sola concentración del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ , = 5E-3 M.) sin mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).**



**Figura 12. Conductividad eléctrica a 100 MHz vs diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) y depresor dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$ , sin mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).**

3.1 Sistema  $K_2Cr_2O_7$ -KEX con mineral galena a pH (9.1).

Tabla 32. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.), KEX 1E-3 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).

*Mezcla con mineral galena +  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.) + KEX 1E-3 (M.)*

F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	28.16	-35.10	34.42	6500.54	33754.35	47994.47	1.3350
1	21.66	-32.62	25.72	3960.25	20545.70	32054.25	1.7833
2	16.97	-28.96	19.39	2270.67	11757.60	21176.01	2.3562
5	13.08	-22.45	14.15	929.43	4787.41	11488.42	3.1957
10	11.46	-18.22	12.07	434.11	2219.70	6638.46	3.6931
20	10.42	-16.86	10.89	221.58	1115.11	3566.51	3.9683
30	9.87	-17.59	10.36	162.42	801.82	2408.68	4.0200
40	9.60	-18.98	10.16	134.77	650.97	1767.99	3.9343
50	9.23	-20.97	9.89	123.37	579.87	1381.57	3.8430
60	8.97	-22.90	9.74	115.04	525.47	1109.67	3.7040
70	8.63	-25.17	9.54	111.99	494.70	915.56	3.5655
80	8.39	-27.98	9.50	111.22	473.54	754.93	3.3599
90	7.98	-28.09	9.04	104.36	432.23	673.34	3.3714
100	7.52	-27.84	8.50	98.89	398.42	616.15	3.4278

Tabla 33. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.), KEX 1E-4 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).

*Mezcla con mineral galena +  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 (M.) + KEX 1E-4 (M.)*

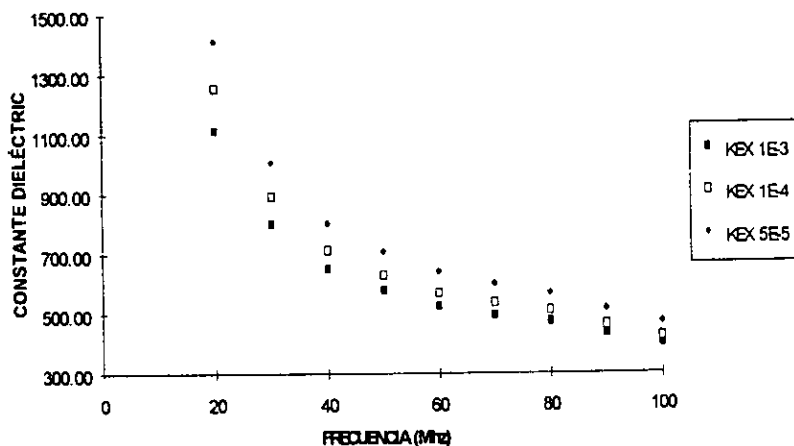
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	24.86	-35.81	30.65	7491.43	38895.94	53874.69	1.4986
1	19.17	-33.16	22.89	4541.70	23557.12	35999.28	2.0027
2	15.03	-29.44	17.26	2602.50	13469.12	23772.59	2.6451
5	11.49	-22.95	12.48	1080.15	5556.09	12993.93	3.6144
10	10.10	-18.35	10.64	496.22	2531.64	7498.64	4.1717
20	9.19	-16.79	9.59	250.28	1254.64	4016.27	4.4687
30	8.68	-17.32	9.10	181.90	892.94	2713.55	4.5289
40	8.47	-18.51	8.93	149.15	715.41	1984.67	4.4165
50	8.16	-20.31	8.70	135.44	631.30	1546.79	4.3026
60	7.93	-22.21	8.57	126.40	571.33	1238.33	4.1335
70	7.65	-24.46	8.40	123.07	536.79	1016.89	3.9600
80	7.43	-27.04	8.34	121.73	511.01	839.94	3.7382
90	7.06	-26.85	7.92	113.08	461.93	751.79	3.7641
100	6.65	-26.34	7.42	106.17	422.13	690.53	3.8416



**Tabla 34. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$ , 5E-2 (M.), KEX 5E-5 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

Mezcla con mineral galena + $K_2Cr_2O_7$ , 5E-2 (M.) + KEX 5E-5 (M.)							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	25.07	-37.42	31.57	7715.77	40059.87	52312.36	1.4551
1	18.98	-34.69	23.08	4774.07	24760.20	35702.81	1.9862
2	14.69	-30.91	17.12	2782.54	14397.07	23951.08	2.6649
5	11.06	-24.20	12.13	1179.64	6062.33	13342.99	3.7115
10	9.56	-19.52	10.15	555.97	2830.46	7827.49	4.3546
20	8.63	-17.87	9.07	283.03	1412.54	4214.18	4.6889
30	8.13	-18.44	8.57	206.56	1006.92	2843.56	4.7458
40	7.90	-19.61	8.38	169.15	803.72	2077.68	4.6235
50	7.58	-21.56	8.15	154.34	710.23	1612.90	4.4865
60	7.34	-23.52	8.01	144.18	641.46	1288.49	4.3009
70	7.08	-25.91	7.87	140.34	600.65	1051.34	4.0942
80	6.88	-28.66	7.84	138.75	569.86	861.90	3.8360
90	6.52	-28.48	7.42	129.36	515.61	770.92	3.8599
100	6.08	-27.64	6.87	121.41	470.15	715.49	3.9804

**MEZCLA CON MINERAL +  $K_2Cr_2O_7$  5E-2 + DIF. CONC. KE**



**Figura 13. Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) con una sola concentración del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7 = 5E-2$  M) con mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).**

**Tabla 35. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$ , 1E-2 (M.), KEX 1E-3 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

*Mezcla con mineral galena +  $K_2Cr_2O_7$ , 1E-2 (M.) + KEX 1E-3 (M.)*

F (MHz)	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	48.62	-27.22	54.68	2994.67	15555.10	30229.61	0.8409
1	40.53	-23.67	44.25	1576.45	8185.96	18666.85	1.0385
2	34.36	-20.36	36.65	805.57	4180.42	11253.87	1.2522
5	26.29	-17.20	27.52	358.08	1854.23	5969.44	1.6605
10	27.03	-17.22	28.30	174.26	899.51	2884.25	1.6046
20	24.96	-22.31	26.98	121.04	617.81	1479.35	1.6460
30	23.19	-28.32	26.34	108.51	544.41	976.80	1.6303
40	21.56	-33.98	26.00	103.12	506.02	711.26	1.5828
50	19.96	-39.24	25.77	100.87	481.91	546.05	1.5189
60	18.40	-43.58	25.40	99.40	460.87	437.24	1.4595
70	16.89	-47.61	25.05	99.45	445.91	357.92	1.3939
80	15.56	-51.11	24.79	99.50	430.67	297.71	1.3250
90	14.06	-53.20	23.47	100.75	419.73	262.03	1.3120
100	12.66	-54.58	21.83	102.48	410.17	237.25	1.3199

**Tabla 36. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$ , 1E-2 (M.), KEX 1E-4 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

*Mezcla con mineral galena +  $K_2Cr_2O_7$ , 1E-2 (M.) + KEX 1E-4 (M.)*

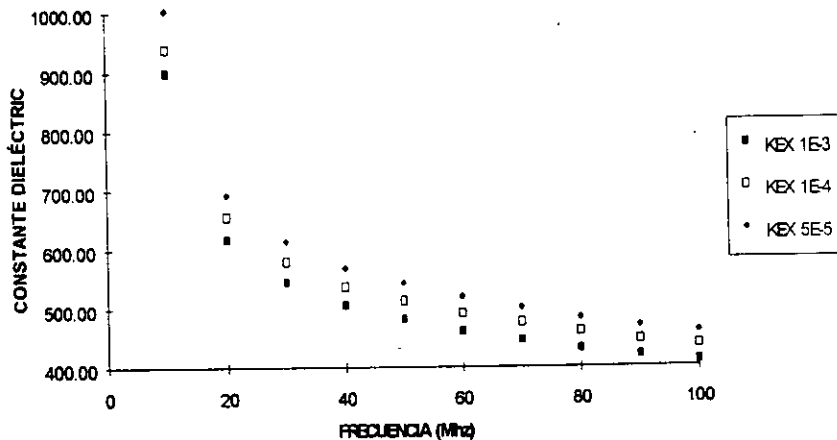
F (MHz)	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	40.31	-25.18	44.54	3360.28	17453.56	37109.59	1.0323
1	34.31	-21.73	36.93	1717.53	8918.04	22361.02	1.2440
2	29.54	-18.54	31.16	856.47	4444.22	13234.95	1.4726
5	25.67	-15.61	26.65	333.80	1728.88	6166.71	1.7154
10	23.89	-15.85	24.83	181.94	938.88	3285.53	1.8278
20	22.17	-21.01	23.74	128.68	656.08	1677.29	1.8662
30	20.75	-26.93	23.28	115.78	579.59	1100.77	1.8372
40	19.53	-32.59	23.18	109.74	536.67	792.90	1.7644
50	18.03	-37.69	22.79	107.91	512.88	611.71	1.7015
60	16.63	-42.05	22.40	106.81	491.69	489.29	1.6332
70	15.30	-46.09	22.06	107.07	475.71	400.01	1.5577
80	14.10	-49.66	21.79	107.51	460.13	332.14	1.4782
90	12.78	-51.52	20.54	108.30	445.72	293.35	1.4688
100	11.45	-52.95	19.01	110.91	437.27	265.96	1.4796

**Tabla 37. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$   $1E-2$  (M.), KEX  $5E-5$  (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

**Mezcla con mineral galena +  $K_2Cr_2O_7$ ,  $1E-2$  (M.) + KEX  $5E-5$  (M.)**

F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	40.81	-26.49	45.60	3478.69	18068.39	36244.50	1.0082
1	34.31	-22.84	37.23	1800.60	9349.06	22178.12	1.2338
2	29.35	-19.56	31.15	907.66	4709.48	13238.65	1.4730
5	25.18	-16.46	26.25	358.17	1854.72	6257.60	1.7406
10	23.40	-16.62	24.42	194.50	1003.26	3337.55	1.8568
20	21.69	-21.74	23.35	135.91	692.22	1702.03	1.8938
30	20.08	-27.74	22.69	122.95	614.12	1124.51	1.8768
40	18.84	-33.54	22.61	116.69	568.68	807.65	1.7973
50	17.35	-38.73	22.25	114.76	542.74	620.91	1.7271
60	15.96	-43.09	21.86	113.52	519.28	495.85	1.6551
70	14.65	-47.14	21.53	113.77	501.52	404.21	1.5741
80	13.50	-50.73	21.34	114.06	483.76	334.09	1.4869
90	12.20	-52.60	20.08	115.18	468.97	294.79	1.4760
100	10.91	-53.90	18.51	117.88	459.19	267.86	1.4902

**MEZCLA CON MINERAL +  $K_2Cr_2O_7$   $1E-2$  + DIF. CONC. KEX**



**Figura 14. Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) con una sola concentración del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ , =  $1E-2$  M) con mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).**

**Tabla 38. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.), KEX 1E-3 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

*Mezcla con mineral galena +  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.) + KEX 1E-3 (M.)*

F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	48.20	-23.59	52.60	2643.19	13729.88	31427.16	0.8742
1	41.51	-20.12	44.20	1318.97	6849.59	18689.14	1.0397
2	36.44	-17.28	38.17	648.74	3367.37	10812.00	1.2030
5	32.08	-15.50	33.29	265.07	1373.82	4942.87	1.3749
10	30.05	-17.34	31.48	157.85	815.30	2595.77	1.4441
20	27.51	-24.99	30.35	122.19	623.55	1314.45	1.4625
30	25.10	-32.80	29.86	114.48	573.31	858.70	1.4332
40	22.80	-39.20	29.42	110.32	539.36	624.39	1.3895
50	20.60	-44.89	29.08	109.03	517.79	478.62	1.3314
60	18.60	-49.51	28.65	108.45	498.44	381.59	1.2737
70	16.78	-53.55	28.25	108.96	483.02	311.15	1.2117
80	15.22	-56.85	27.83	109.46	467.20	258.92	1.1523
90	13.55	-58.85	26.20	111.67	457.15	227.95	1.1413
100	12.05	-60.10	24.17	114.50	448.61	207.05	1.1519

**Tabla 38. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.), KEX 1E-4 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).**

*Mezcla con mineral galena +  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.) + KEX 1E-4 (M.)*

F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	e'	e''	Conduct. eléct.
0.5	50.22	-25.80	55.77	2758.67	14329.59	29637.30	0.8244
1	42.42	-22.13	45.79	1413.39	7339.66	18039.47	1.0036
2	36.65	-18.90	38.74	703.12	3649.36	10649.34	1.1849
5	31.90	-16.62	33.29	285.39	1478.85	4941.85	1.3746
10	29.68	-18.49	31.29	170.04	877.86	2609.38	1.4517
20	27.06	-26.18	30.15	129.75	661.43	1320.60	1.4694
30	24.77	-34.08	29.90	120.03	600.08	854.75	1.4266
40	21.97	-40.75	29.00	118.20	575.60	628.69	1.3990
50	19.80	-46.37	28.70	116.36	549.66	480.36	1.3362
60	17.79	-50.95	28.23	115.82	528.64	382.37	1.2763
70	16.00	-54.90	27.82	116.26	511.04	311.27	1.2122
80	14.49	-58.03	27.37	116.44	492.27	259.02	1.1528
90	12.89	-59.86	25.67	118.64	480.49	228.57	1.1445
100	11.39	-61.02	23.52	122.19	472.55	208.44	1.1596

Tabla 40. Constantes dieléctricas del sistema de la mezcla  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 (M.), KEX 5E-5 (M.) con mineral y solución reguladora a pH (9.1).

Mezcla con mineral galena + $K_2Cr_2O_7$ 5E-3 (M.) + KEX 5E-5 (M.)							
F (MHz)	Zx	$\theta_x$	Rx	Cx	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Conduct. eléct.
0.5	45.60	-24.32	50.05	2874.75	14932.39	33028.87	0.9187
1	39.11	-20.85	41.85	1448.77	7523.31	19738.26	1.0981
2	34.04	-17.93	35.78	719.76	3735.60	11529.69	1.2829
5	29.78	-16.00	30.98	294.65	1526.70	5308.32	1.4766
10	27.75	-17.95	29.17	176.77	912.41	2797.39	1.5563
20	25.31	-25.64	28.07	136.08	693.07	1415.91	1.5754
30	22.98	-33.41	27.53	127.12	634.19	924.52	1.5430
40	20.76	-39.97	27.09	123.08	597.92	669.87	1.4907
50	18.78	-45.62	26.85	121.14	570.33	510.17	1.4191
60	16.90	-50.24	26.42	120.68	548.35	405.34	1.3530
70	15.22	-54.27	26.06	121.26	529.98	329.06	1.2814
80	13.81	-57.53	25.72	121.54	510.32	272.48	1.2127
90	12.26	-59.42	24.09	124.21	498.85	240.23	1.2028
100	10.88	-60.53	22.11	127.38	488.42	218.71	1.2167

MEZCLA CON MINERAL +  $K_2Cr_2O_7$  5E-3 + DIF. CONC. KEX

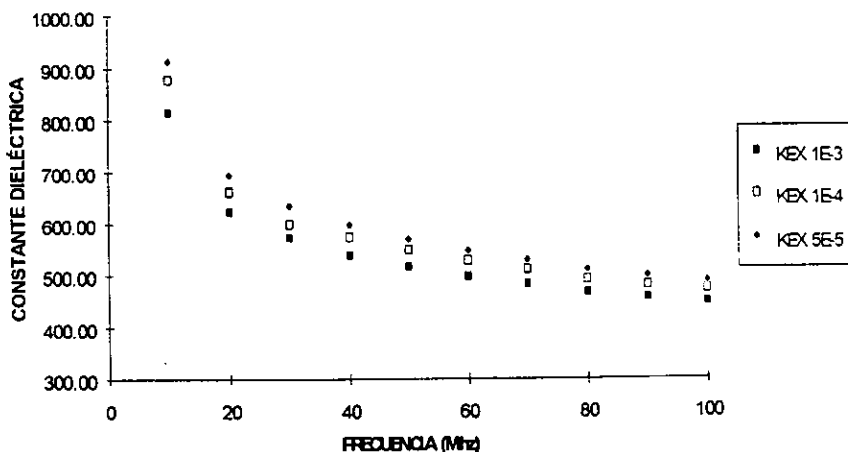


Figura 15. Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) vs Frecuencia (MHz) a diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) con una sola concentración del reactivo depresor dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7 = 5E-3$  M) con mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).

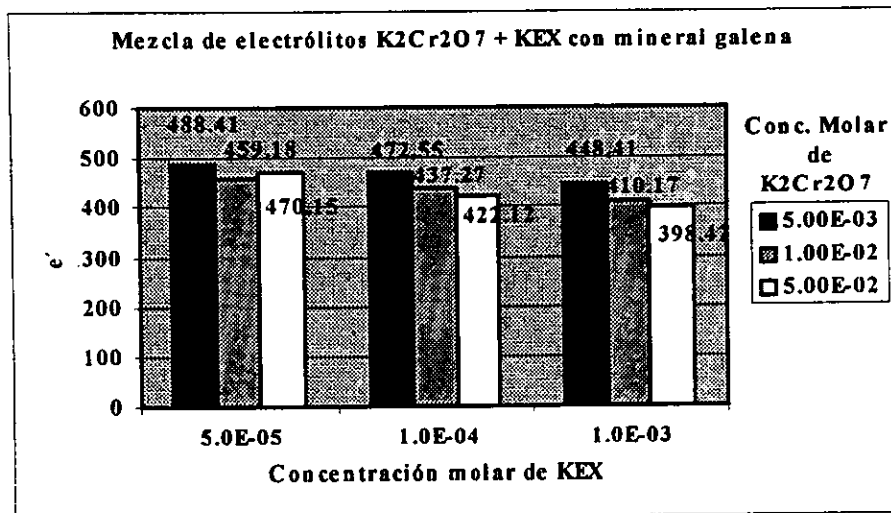


Figura 16 Constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) 100 MHz vs diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) y reactivo depresor dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$ , con mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).

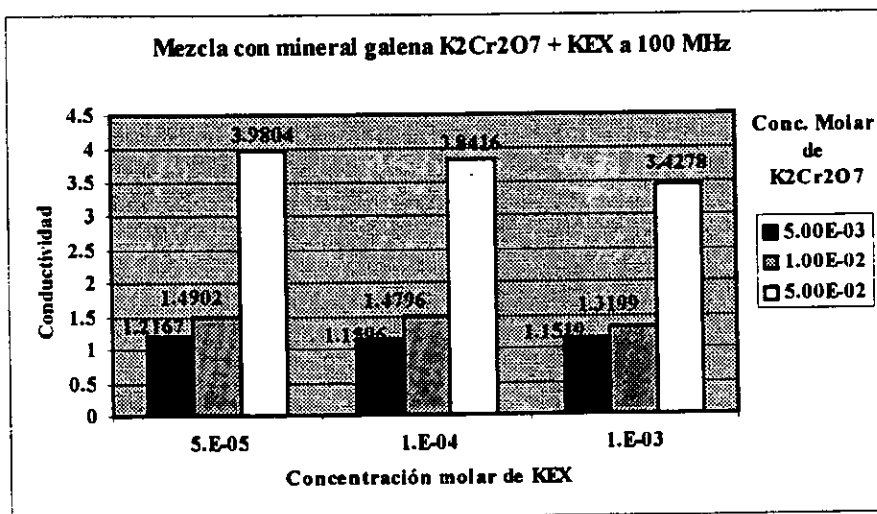


Figura 17. Conductividad eléctrica 100 MHz vs diferentes concentraciones del reactivo colector (KEX) y reactivo depresor dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$ , con mineral galena (PbS) y solución reguladora a pH (9.1).

# **CAPÍTULO VI**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los resultados de los sistemas en estudio son presentados en tres etapas y analizados en función de valores de constantes dieléctricas ( $\epsilon'$ ) y conductividades eléctricas ( $\sigma$ ), a la frecuencia de 100 MHz.

**Etapa 1.** Se refieren a pruebas experimentales del reactivo colector KEX (Xantato Etilico de Potasio) a las concentraciones mencionadas en el apartado de condiciones experimentales en ausencia y presencia del mineral galena (PbS).

**Etapa 2.** Se reporta el comportamiento experimental del depresor  $K_2Cr_2O_7$  (Dicromato de Potasio) en presencia de mineral galena y como electrólito solo a diferentes concentraciones.

**Etapa 3.** El estudio en el sistema de mezclas de reactivos colector-depresor ( $K_2Cr_2O_7 + KEX$ ) a concentraciones concentradas y diluidas, en presencia y ausencia del mineral galena.

## Etapa 1

### **Etapa 1.1 Sistema KEX-Solución reguladora.**

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

De la tabla 1 hasta la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos a partir de las mediciones de impedancia a altas frecuencias, los cuales han sido transformados a valores de constante dieléctrica, así como de conductividad.



Al incrementar la concentración del colector se presentó un aumento poco significativo en los valores de la constante dieléctrica, comprendiendo un intervalo entre la máxima y mínima concentración del colector (KEX  $1\text{E}-2$  –  $1\text{E}-4$  M) de  $\epsilon' = 78.32$  y  $\epsilon' = 77.31$  respectivamente. Los valores de constante dieléctrica arriba mencionados son cercanos a los reportados para el agua ( $\epsilon' = 81$ ), aún para concentraciones elevadas de xantato. Este comportamiento mostrado en la figura 1, manifiesta que el colector funciona con características dieléctricas muy similares a la del agua.

En la figura 2 se observa que al incrementar los valores de las concentraciones de colector desde  $1\text{E}-4$  M ( $\sigma = 0.14759$ ) hasta  $1\text{E}-2$  M ( $\sigma = 0.2306$ ), existe un incremento en la magnitud de la conductividad en aproximadamente 57%. Esto se puede explicar en base al aumento de iones en la solución, permitiendo que se incremente la conductividad de la misma. Sin embargo, la conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) para este reactivo en general es muy pequeña y se afirma que el colector presenta características poco conductoras.

### **Etapa 1.2 Sistema KEX-PbS-Solución reguladora.**

De la tabla 6 hasta la 10 se observa el comportamiento que sufre el mineral de galena al interactuar con el reactivo colector, en el intervalo de concentraciones desde  $1\text{E}-2$  M cuyo valor de constante dieléctrica  $\epsilon'$  fue de 290.0 hasta  $1\text{E}-4$  M con el valor de  $\epsilon' = 390.9$ , es decir, la constante dieléctrica disminuye conforme la concentración del KEX aumenta.

Como primer punto importante de análisis, se puede citar que ha existido una interacción entre el reactivo colector y el mineral, modificándose éste 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 de reactivo colector ( $\epsilon' = 450$ ) y los valores antes citados.

El comportamiento de la disminución de los valores de constante dieléctrica es atribuido a la posible formación de capas o multicapas superficiales de etilxantato de plomo las cuales han sido detectadas por Buckley y Woods<sup>(27)</sup>. Entonces este tipo de productos de reacción proporcionan valores de baja constante dieléctrica, ver figura 3. Otra observación del reactivo colector cuando interacciona con la galena es que presenta valores muy estables y reproducibles, en el intervalo de 20 a 100 MHz.

Existen estudios de Furstenau<sup>(29)</sup> donde se muestra un comportamiento análogo, pero en disminución de valores de potencial zeta conforme se incrementa la concentración del colector, proporcionando características de alta hidrofobicidad.

La razón principal a este comportamiento puede ser por la generación de carga eléctrica de la galena, a través de los iones determinantes de potencial.

Por medio de los resultados obtenidos de constantes dieléctricas en este sistema podríamos considerar como un mínimo para que el mineral de galena flote, a la concentración de  $6E-4$  M, porque a partir de esa concentración de colector la constante dieléctrica tiende a disminuir.

No obstante no se alcanza a determinar de alguna manera una concentración de colector óptima en el cual se pueda afirmar por medio de constantes dieléctricas por lo que se recurrió a analizar el sistema por conductividad eléctrica.

En la figura 4 se muestran los resultados de conductividad eléctrica que sufre el mineral galena con respecto a las diferentes concentraciones del reactivo colector.

Se observa que para una concentración baja del colector  $1E-4$  M, la conductividad eléctrica fue de 0.5624 y a medida que la concentración es incrementada a  $1E-3$  M., se obtiene un mínimo en  $\sigma = 0.3266$ . No obstante, al seguir incrementando la concentración  $1E-2$  M, la conductividad eléctrica vuelve a incrementar su valor a  $\sigma = 0.7438$  (ver la gráfica de la figura 4).

Se puede entonces mencionar que el fenómeno que se presenta puede dar origen a la formación adecuada del producto de reacción, permitiendo que no exista una saturación en la capa o capas superficiales del metal-xantato. Este tipo de información es de suma importancia ya que es posible determinar a qué valor de concentración de colector se presenta un valor de la conductividad mínimo y a su vez se obtengan los valores elevados, bajos y óptimo de recuperación de valores de galena en un concentrado de flotación.

Este postulado lo podemos soportar a partir de las pruebas experimentales efectuadas en esta tesis, así como por el trabajo efectuado por P. Pérez<sup>(39)</sup>, en el cual él estudió la variación de la concentración de colector KEX con respecto a la flotación de minerales de galena con diferentes leyes de Pb en cabeza (0.5, 1.5, y 3%), en donde obtuvo para todos los casos estudiados que a la concentración de  $1E-4$  M la galena ya había flotado, además menciona que a la concentración de  $6E-4$  M de xantato obtuvo un valor máximo de recuperación, y que a concentraciones mayores ( $1E-3$  M), las recuperaciones fueron menores que esta última.

Por otro lado, para complementar esta información, debido a los resultados obtenidos por conductividades eléctricas se demuestra que sí se puede llegar a tener información confiable para predecir el comportamiento que sufre la superficie del mineral galena después de haber interaccionando con el reactivo colector y así mismo determinar la concentración adecuada para que el mineral de galena tenga las mejores características de flotabilidad.

## Etapa 2

### **Etapa 2.1 Sistema $K_2Cr_2O_7$ - Solución reguladora.**

En esta parte del trabajo, se observa en las tablas 11-16, el comportamiento que presentó el sistema reactivo depresor-dicromato de potasio.

En esta etapa se realizó un barrido de concentraciones de  $K_2Cr_2O_7$  ( $5E-4$  M hasta  $1E-1$  M) y se observó que el intervalo en el cual se encuentra la constante dieléctrica está entre 61.7 y 80, siendo este último para la concentración más baja. Esto es, los valores de constante dieléctrica fueron incrementándose a medida que se operó a más bajas concentraciones de dicromato, lo cual se puede observar en la figura 5. Esto se puede explicar sobre la misma base bajo la cual fue sustentado el caso del colector, donde al existir una alta concentración de iones ocasiona que los valores de constante dieléctrica sean bajos.

En la figura 6 se observa que la conductividad eléctrica es cada vez mayor a medida que la concentración de dicromato aumenta, desde concentraciones de  $1E-1$  M,  $\sigma = 2.2051$  hasta la concentración más diluida  $5E-4$  M cuya  $\sigma = 0.179$ . Explicando este fenómeno en otras palabras tenemos que, al incrementar la concentración del electrolito depresor, existe una conductividad más alta proporcionada por los iones en solución.

### **Etapa 2.2 Sistema $K_2Cr_2O_7$ + PbS + Solución reguladora.**

En las tablas 17-22, se muestran los resultados de las variaciones de la concentración del depresor con respecto a la superficie del mineral galena. Se puede observar en la gráfica 7, que a medida que fue aumentada la concentración del reactivo depresor ( $K_2Cr_2O_7$ ) hasta  $5E-3$  M, existió un incremento en los valores de la constante dieléctrica de  $\epsilon' = 455.3$  a concentraciones más elevadas que ésta ( $1E-2$ M,  $5E-2$ M,  $1E-1$ M) se presentaron valores de constante dieléctrica cada vez más bajos, siendo de  $\epsilon' = 127.5$  para  $1E-1$ M. Esto se cumple fundamentalmente para frecuencias superiores a los 80 MHz.

La explicación que se le puede dar a este fenómeno radica en la posible formación de un compuesto poco soluble que tiende a polarizar (pasivación) la superficie del mineral mediante las multicapas de cromato de plomo según Targgart<sup>(32)</sup> las cuales provocan que un mineral tienda a adquirir características superficiales hidrofílicas.

El comportamiento anterior se puede ver más claramente en la figura 8, en la cual se gráfico la conductividad vs las diferentes concentraciones de dicromato a 100 MHz, y se observó que la conductividad de la superficie mineral toma valores muy altos a medida que aumenta la concentración, esto es, para  $1E-1$  M de dicromato se obtuvo un valor de conductividad de 18.9399 y para la concentración menor de  $5E-4$  M la conductividad fue de 0.9281. Esto nos indica que la interacción que sufre la galena con el reactivo dicromato de potasio resulta en la generación de una superficie polar muy conductora. Se puede mencionar que el valor mínimo para que el mineral se deprima está muy cercano a los valores de conductividad de 0.9281.

Esta postulación se analiza en base a los resultados obtenidos en las pruebas mineral-colector, en donde para la concentración más elevada de colector se encontraron valores de  $\sigma = 0.7438$ , aquí estamos muy cerca de rebasar la concentración micelar crítica y por ende el mineral tomará las características de depresión.

### Etapa 3

Los resultados de esta etapa son dados desde la tabla 23 hasta la 40, en las cuales se tiene información acerca de la constante dieléctrica y de conductividad en la mezcla de reactivos (depresor-colector) en ausencia y en presencia del mineral de galena.

#### **Etapa 3.1 Sistema $K_2Cr_2O_7$ + KEX + Solución reguladora.**

De la tabla 23 hasta la 25 se presentan los resultados de la mezcla de reactivos  $K_2Cr_2O_7$  (5E-2 M) con la adición de diferentes concentraciones de KEX (1E-3 M, 1E-4 M, 5E-5 M). A partir de la gráfica 9, se observa que la mezcla de electrolitos no presentó variación significativa en los valores de constantes dieléctricas. Los valores de constante se situaron en un intervalo de 77.17 para la concentración menor de colector y 77.66 para la concentración mayor de colector. Por lo tanto, el sistema en estudio adquirió valores de constante dieléctrica ligeramente más próximos a los del colector cuando este se estudió en sistemas aislados.

Cuando se disminuyó la concentración del depresor hasta 1E-2 M, se obtuvieron aumentos en las constantes dieléctricas relativamente pequeños, ver tabla 26-28 y figura 10, de alguna forma la concentración del KEX trata de sobreponerse y aumentar la constante dieléctrica cercana a la del agua (81). De la misma forma sucedió con una concentración más pequeña de depresor 5E-3 M, ver tabla 29-31 y figura 11. Por lo tanto, se puede observar que a partir de los resultados de las constantes dieléctricas no fue posible obtener una mayor información, por lo que se procedió a analizar al sistema por medio de conductividad eléctrica, el cual es mostrado a continuación.

A partir de la gráfica de la figura 12 se observa que para una concentración fija de reactivo colector, a medida que se incrementa la concentración del depresor, existe un incremento poco pronunciado en los valores de la conductividad (5E-5M. de KEX con 5E-3M. y 1E-2 M. de  $K_2Cr_2O_7$ ,  $\sigma = 0.2258$  y  $\sigma = 0.2952$ ).

Siendo el más significativo a la concentración más alta de depresor (5E-5M. de KEX con 5E-2M. de  $K_2Cr_2O_7$ ,  $\sigma = 0.7264$ ). Este fenómeno fue el mismo en magnitud de conductividad para cada una de las concentraciones de reactivo colector experimentadas. Esto hecho confirma que el dicromato es mucho más conductor que el xantato.

### **Etapa 3.2 Sistema $K_2Cr_2O_7$ + KEX + PbS + Solución reguladora.**

De la tabla 32 hasta la 34 se observan los resultados experimentales que permitieron determinar el comportamiento de la pulpa mineral en presencia del colector y depresor. Para estas pruebas fue fijada la concentración de dicromato de 5E-2 M y se varió la concentración de KEX (1E-3M, 1E-4M, 5E-5M). A partir de esas concentraciones se obtuvieron los valores de la constante dieléctrica los cuales fueron ( $\epsilon' = 398.42$ ,  $\epsilon' = 422.13$ ,  $\epsilon' = 470.15$ ), correspondiendo al valor más alto de constante dieléctrica, la concentración más pequeña de colector. En dichas pruebas se detecta un aumento en la constante dieléctrica al disminuir la concentración de colector, ver figura 13.

Posteriormente se muestran los valores de la tabla 35 hasta 37, empleando la concentración del reactivo depresor de 1E-2 M, tomando en consideración que las concentraciones del reactivo colector fueron las mismas mencionadas en párrafo anterior. Los resultados manifestaron un incremento en la constante dieléctrica (410.17, 437.27, 459.18), correspondiendo el valor más alto de constante para la concentración más baja de colector, ver figura 14. Este comportamiento es análogo al presentado en la concentración de depresor de 5E-2 M. Así mismo, este fenómeno ocurrió para la concentración aún menor del depresor a 5E-3 M. Los valores de las constantes dieléctricas se situaron en el intervalo de  $\epsilon' = 448.41$  hasta  $\epsilon' = 488.41$  ver tabla 37 a la 40 y figura 15.

En la gráfica de la figura 16 se observan los valores de la constante dieléctrica para la mezcla de electrolitos con mineral galena en forma global, con el objeto de visualizar mejor los comportamientos antes mencionados.

A la concentración más elevada de colector en presencia del depresor se presentaron valores de constante dieléctrica semejantes a las que se obtuvieron cuando el mineral interaccionó con el reactivo colector. A concentraciones menos elevadas de colector en la mezcla, los valores de constante dieléctrica tienden hacia los valores reportados en el depresor con mineral. De alguna manera se puede establecer que en este tipo de pruebas, el mineral podría llegar a polarizarse por la presencia de la mezcla de reactivos.

Tomando en consideración que las constantes dieléctricas obtenidas en los párrafos anteriores no proporcionaron suficiente información y para complementar aún más este estudio de mezcla de reactivos con el mineral galena, fue necesario interpretar los comportamientos anteriores a partir de conductividades eléctricas, las cuales están representadas en la figura 17.

Por lo tanto, para la concentración elevada de dicromato  $5E-2$  M y una concentración de xantato de  $5E-5$  M, la conductividad eléctrica alcanza un valor máximo de 3.98, a medida que aumentamos la concentración de xantato  $1E-4$  M y  $1E-3$  M la conductividad disminuye (3.84 y 3.42) proporcionalmente. Esto demuestra que el reactivo colector sí influye de manera directa sobre la superficie del mineral y de alguna manera al existir una mayor concentración de colector le proporciona a la superficie del mineral características menos conductoras.

Posteriormente, se empleó una concentración menor de dicromato  $1E-2$  M, el cual concuerda con el comportamiento observado anteriormente, es decir, al incrementar la concentración del colector se manifestó una disminución en los valores de conductividad, obteniéndose valores de  $\sigma$  desde 1.49 a la concentración de colector  $5E-5$  M. hasta  $\sigma = 1.31$  para la concentración de  $1E-3$  M.



Considerando la concentración más baja del depresor,  $5E-3$  M, se provee evidencia en la cual el xantato a una concentración de  $1E-3$  M, el valor de la conductividad de la pulpa mineral, disminuye más  $\sigma = 1.1519$ .

Las pruebas efectuadas establecen que la adsorción del colector se ve favorecida por la acción del dicromato de potasio sobre la superficie de la galena llegándose a formar posiblemente cromato de plomo. Aunque también es posible que exista una fuerte hidratación del cromato adsorbido sobre la superficie de la galena permitiendo la adsorción del xantato, y así mismo obtener valores de conductividad eléctrica menores cada que se incrementa la concentración de colector.

En forma general se observa que a medida que se incrementa la concentración de dicromato y manteniendo los valores constantes de la concentración de xantato la conductividad aumenta en forma ascendente llegando a tener valores en un intervalo de  $\sigma = 1.1519$  hasta  $\sigma = 3.9804$ . Esto se debe a la interacción superficial que sufre la galena con la presencia de ambos reactivos y así darle características conductoras.

# **CAPÍTULO VII**

## **CONCLUSIONES**

La técnica de impedancia a altas frecuencias es una herramienta que, por medio de la obtención de constantes dieléctricas y conductividad eléctrica permitió lograr un mejor entendimiento de los mecanismos involucrados en los reactivos de flotación.

Los resultados que se obtuvieron por esta técnica son de alta reproducibilidad.

La técnica de impedancia a altas frecuencias permite efectuar a bajas y elevadas concentraciones de reactivos colectores y depresores.

La conductividad eléctrica permitió detectar la concentración óptima del reactivo colector.

Las contribuciones del colector y del depresor en sistemas aislados como electrolitos son del mismo orden de magnitud  $e' = 75$ .

# **CAPÍTULO VIII**

## **APÉNDICE**

## APÉNDICE A

### METODOLOGÍA DE CÁLCULO.

En este apéndice se presenta la metodología de cálculo para poder determinar la constante dieléctrica y conductividad eléctrica.

Previamente, se necesita saber que el equipo empleado durante la experimentación (Vector Impedance Meter 4193A, Hewlett Packard) cuenta con un par de expresiones que son utilizadas para corregir las resistencias internas del equipo y el ruido interno que se genera, para así proporcionar un valor confiable de impedancia real, con base en su resistencia y su reactancia. Estas expresiones son:

Para la parte real:

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

Para la parte imaginaria:

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

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

Donde:

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

$Z_0$  y  $\theta_0$  son la magnitud de la impedancia y el ángulo de fase del circuito abierto, en este caso, aire.

$Z_s$  y  $\theta_s$  son las magnitudes de impedancia y el ángulo de fase de un circuito cerrado, en este caso mercurio.

Una vez obtenidas 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  $Z_o$ ,  $\theta_o$ ,  $Z_s$  y  $\theta_s$  para poder obtener los valores de impedancia reales.

En este trabajo las lecturas utilizadas de estos parámetros son:

**Tabla 4.1 Valores obtenidos para los circuitos abierto y cerrado.**

Frecuencia MHz	Aire		Mercurio	
	$\theta_o$	$Z_o$	$\theta_s$	$Z_s$
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	326.3	86	9.1

Como paso a seguir se deben de calcular los valores de  $R_x$  y  $C_x$ , de igual forma para cada frecuencia mediante las siguientes ecuaciones:

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

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

Donde:

$R_x$  es la resistencia real,  $C_x$  es la capacitancia real,  $Z_x$  es la magnitud de impedancia real,  $\theta_x$  es el ángulo de fase real,  $\omega$  es la frecuencia angular =  $2 * \pi * f$  (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 perdidas de dielectricidad). Las ecuaciones que aquí se presentan son obtenidas a partir del trabajo de Gottman en 1984:

Constante dieléctrica:

$$e' = \frac{-C_x + \sqrt{C_x^2 + 4C_s K f^2 C_x}}{2C_s K f^2}$$

Perdidas de dielectricidad:

$$e'' = \frac{1}{R_x \omega C_s (1 + 2e' K f^2)}$$

Donde  $C_s$  y  $k$  son las constantes de la celda,  $C_s$  esta dada en pF y  $k$  en  $\text{MHz}^2$ ;

$f$  = Frecuencia en MHz.

$C_x$  = Capacitancia del sistema.

$R_x$  = Resistencia del sistema.

$\omega$  = Frecuencia angular (Hz).

Como se demuestra a continuación, dichos parámetros son adimensionales.

Para  $\epsilon'$ :

$$2 C_a k f^2 = 2 * C_a(\text{pF}) * k(\text{MHz}^{-2}) * f^2(\text{MHz}^2) = \text{pF}$$

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

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

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

para  $\epsilon''$ :

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

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

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

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

$$C_a = 01924657764 \text{ pF}$$

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

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

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

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 Microsoft Excel el cual tiene la siguiente forma:

Numero de Celdas																
fila	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	f	Z <sub>m</sub>	θ <sub>m</sub>	Z <sub>o</sub>	θ <sub>o</sub>	Z <sub>s</sub>	θ <sub>s</sub>	R	X	Z <sub>x</sub>	θ <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>	C <sub>x</sub>	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 acabo 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).

Para la celda H, se tiene la ecuación para R, la operación que se efectúa es la siguiente:

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

Las celdas I se obtienen el valor de X, con la siguiente fórmula:

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

Continuando con el desarrollo en las celdas J se tiene el valor de Z<sub>x</sub>, para las cuales se tiene la siguiente formula:

$$=\text{RAIZ}(H1^2 + I1^2)$$

La fórmula que toma  $\theta_x$ , está situado en la celda K, el cual es el siguiente:

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

Paso a seguir es determinar el valor de resistencia real  $R_x$ , el cual está en la celda L:

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

El sistema  $C_x$  (celdas M), está de la siguiente manera:

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

Para el cálculo de la constante dieléctrica (celdas N) se tiene:

$$=(0.1924657764+RAIZ((0.1924657764)^2+(4*0.1924657764*0.00000007268674106*(A1)^2*M1)))/(2*0.1924657764*0.00000007268674106*(A1)^2)$$

Ahora para el cálculo de las pérdidas de dieléctricas (celdas O), se tiene:

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

Como punto final se realiza el cálculo de la conductividad eléctrica (celdas P):

$$=8.854187818E-12*O1*2*3.1416*A1*10^6$$

## APÉNDICE C

Modelo Estadístico Obtenido Para Predecir Resultados Teóricos De Conductividad Eléctrica en el Sistema Galena-Colector-Depresor.

### Sistema Galena-Colector (KEX).

El modelo propuesto para determinar la conductividad eléctrica fue de tipo polinomial de cuarto grado y se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y = 0.4901 + 39.69 X - 6625.84 X^2 - 1801498.46 X^3 + 232174383.4 X^4$$

**Y** = Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ )

**X** = Concentración molar del reactivo colector (KEX)

La ecuación anterior nos proporcionó valores de conductividad eléctrica siendo presentados y comparados con los valores experimentales.

Concentración del reactivo KEX (M)	Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ ) experimental.	Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ ) del modelo estadístico.
1E-4	0.5624	0.494
6E-4	0.6258	0.511
1E-3	0.3266	0.522
5E-3	0.4584	0.443
1E-2	0.738	0.745

Los resultados obtenidos por el modelo estadístico son similares a los presentados por la experimentación y se ajustan aproximadamente en 86% según el modelo presentado anteriormente.

### Sistema Galena-Depresor ( $K_2Cr_2O_7$ ).

El modelo propuesto para determinar la conductividad eléctrica fué de tipo polinomial de segundo grado y se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y = 1.2684 + 45.8053 X + 1304.38 X^2$$

Y = Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1} m^{-1}$ )

X = Concentración molar del reactivo colector ( $K_2Cr_2O_7$ )

Los resultados experimentales son comparados con el modelo estadístico en la siguiente tabla con ajuste de un 99%.

Concentración del reactivo $K_2Cr_2O_7$ (M)	Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1} m^{-1}$ ) experimental.	Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1} m^{-1}$ ) del modelo estadístico.
5E-4	0.9281	1.292
1E-3	1.0762	1.316
5E-3	1.818	1.530
1E-2	2.3346	1.857
5E-2	6.6096	6.820
1E-1	18.9399	18.893

### Sistema Galena-Depresor ( $K_2Cr_2O_7$ )-Colector (KEX)

El modelo propuesto para determinar la conductividad eléctrica de la mezcla de reactivos con mineral PbS fue de tipo lineal múltiple, obteniéndose las expresiones siguientes:

$$Y = 1.162246101 + 2529.757046 X_1 - 3.596803653 X_2$$

Y = Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ )

$X_1$  = Concentración molar del reactivo colector (KEX)

$X_2$  = Concentración molar del reactivo colector ( $K_2Cr_2O_7$ )

Concentración del reactivo KEX (M)	Concentración del reactivo $K_2Cr_2O_7$ (M)	Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ ) experimental.	Conductividad eléctrica ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ ) del modelo estadístico.
5.00E-05	5.00E-03	1.2167	1.2707
1.00E-04	5.00E-03	1.4902	1.3972
1.00E-03	5.00E-03	3.9804	3.6740
5.00E-05	1.00E-02	1.152	1.2528
1.00E-04	1.00E-02	1.320	1.3793
1.00E-03	1.00E-02	3.428	3.6560
5.00E-05	5.00E-02	1.1519	1.1089
1.00E-04	5.00E-02	1.3199	1.2354
1.00E-03	5.00E-02	3.4278	3.5122

Los datos obtenidos a partir del modelo estadístico comparados con los experimentales que se muestran en la tabla anterior se ajustan en un 99.10 %.

# **CAPÍTULO XI**

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Taggart, F. A. Handbook of Mineral Dressing Ores and Industrial Mineral, N. Y. U.S.A. 1954. Pag 90.
- 2.- Philip Robone. Concentración de Minerales por Flotación. México 1975, pag. 94.
3. Wills B. A. Tecnología de Procesamiento de Minerales. Tratamientos de menas y recuperación de minerales. Editorial Limusa. Primera edición. Mexico. Pag. 346.
- 4.- Leja Joan. Surface Chemistry of Froth Flotation. Plenum Press. U.S.A 1982, pag. 356.
- 5.- Fuerstenau M. C., Miller J.D., Kuhn M. C., Chemistry of Flotation. AIME 1980, Cap. (I - IV).
- 6.- Fuerstenau D. W., Editor. Adsorption of Flotation Reagents of Minerals Surface.
- 7.- Bloem J. And Kroger F. A. The P-t-X Phases Diagram of the Lead-Sulphur System. Z. Phys. Chem., 7, 1956, 1-14.
- 8.- Frey G. Die Elektrische Leitfähigkeit des Kristallisierten Bleisulfides. Z. Electrochem. 36, 1930, 511-23.
- 9.- Koenigsberger J. Über ein Temperatugesetz der Elektrischen Leitfähigkeit Fester Einheiliger Substanzen und Einige. Folgerungen derauf. Phys. Z., 7, 1906, 570-8.
- 10.- Bloem J. Controlled Conductivity in Lead Sulphide Single Crystal. Philips Res. Rep., 1956, 273-336.

- 11.- Szegłowski Z. Electric Potential of Local Galvanic Elements on Galena and Their influence upon the Adsorption of Potassium Xanthate. ( Proc. 3rd Int. Congr. Surface Activity, Vol2) 1960, 110-11.
- 12.- Plaskin I. N. And Shafeev R. Sh. A Study of Influence of some Surface Semiconductivity Properties on the Interaction between Potassium Butyl-xanthate and Sulphide Mineral. In Physical interfaces, 1960, 253-68.
- 13.- Sato M. Oxidation of Sulfide Ore Bodies. II. Oxidation Mechanism of Sulfide Minerals at 25° C. Econ. Geol., 55, 1960, 1202-31.
- 14.- D. Troper y R. Tolun. Electrochemical Study and Thermodynamic Equilibria of The Galena-Oxygen Xanthate Flotation System. Institute of Mining and Metallurgy, 78, 1969, C191-7.
- 15.- Finkelstein N.P. Granville A. And Allison S.A. Review Reactions in Flotation System Galena-Xanthate-Oxygen. Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. C: Mineral Process. Extr. Metall.), C1-29.
- 16.- Sato M. Oxidation of Sulfide Ore Bodies. II. Oxidation Mechanism of Sulfide Minerals at 25° C. Econ. Geol., 55, 1960, 1202-31,32.
- 17.- Gaudin A.M. and Preles G. S. Surface Areas of Flotation Concentrates and the Thickness of Collector Coatings. Trans. Am. Inst. Ingrs. 169, 1946, Pag. 200-280.
- 18.- Laajalehto K. Y col. On The XPS Identification of the Products of Xanthate Sorption at the Surface of Galena. International Journal of Mineral Processing, 1993. p.p. 123-147.



- 19.- Richardson P.E., O'Dell C.S. Semiconducting Characteristic of Galena Electrodes. *Journal Electrochemical Society*, 1985. P.p. 1350-1356.
- 20.- Buckley A.N., Woods R. X-Ray Photoelectron Spectroscopic and Electrochemical Studies of the Interaction of Xanthate with Galena in Relation to The Mechanism Proposed by Page and Hazell. *International Journal of Mineral Processing*, 1990b. P.p. 111-119.
- 21.- Gaudin A.M. and Preles G. S. Surface Areas of Flotación 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.U.S.A 1982, Pag. 228 - 258.
- 24.- Huerta C. A.. Estudios de Cinética 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.- Yarar B., Haydon B.C. and Kitchener J.A. Electrochemistry of the Galena-Diethyldithiocarbamate-Oxygen Flotation System. *Trans. Inst. Min. Metall. (Sect C: Mineral Process Extr. Metall.)* 78, 1969, pag. 181-184.
- 26.- Huerta C. A. Estudios de Cinética de Flotación en Menas Sulfuradas a Partir de Modelos Electroquímicos. Tesis de maestría. México, 1991, Facultad de Química, U.N.A.M. Pag. 144-147.

- 27.- Buckley A.N., Woods R. X-Ray Photoelectron Spectroscopic and Electrochemical Studies of the Interaction of Xanthate with Galena in Relation to The Mechanism Proposed by Page and Hazell. *International Journal of Mineral Processing*, 1990b. P.p. 111-120.
- 28.- Fuerstenau M. C., Miller J.D., Kuhn M. C., Xanthate Adsorption on Selected Sulfides in the Virtual Absence and Presence of Oxygen, Part I. *International Journal of Mineral Processing*, 1990a, p.p. 90-95.
- 29.- Buckley A.N., Woods R. X-Ray Photoelectron Spectroscopic and Electrochemical Studies of the Interaction of Xanthate with Galena in Relation to The Mechanism Proposed by Page and Hazell. *International Journal of Mineral Processing*, 1990b. P.p. 111-125.
- 30.- Fuerstenau M. C., Miller J.D., Kuhn M. C. Xanthate Adsorption on Selected Sulfides in the Virtual Absence and Presence of Oxygen, Part I. *International Journal of Mineral Processing*, 1990a, p.p. 96-98.
- 31.- Wills B. A. *Tecnología de Procesamiento de Minerales. Tratamientos de menas y recuperación de minerales*. Editorial Limusa. Primera edición. Mexico. Pag. 346.
- 32.- Ibidem pag. 346-348.
- 33.- D. Troper y R. Tolun Electrochemical Study and Thermodynamic Equilibria of The Galena-Oxygen Xanthate Flotation System. *Institute of Mining and Metallurgy*, 78, 1969, C191-7,8,9.
- 34.- Bueche Frederick J., *Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería*. Tomo II. Editorial McGraw Hill, México 1990, pag. 238-241.

35.- Francis W. Sears, Mark W. Zemansky, Hugh D. Young., Física Universitaria, Editorial Addison - Wesley Iberoamericana, México D.F. 1986. Pags. 599-607.

36.- Halliday D. And Resnick R. Física, parte 2, C.E.C.S.A. México 1991. Pag 18- 35.

37.- Bueche Frederick J., Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería. Tomo II. Editorial McGraw Hill, México 1990, pag. 262-265.

38.- Purcell E: M. Electricidad y magnetismo. Volumen 2. Berkeley Physics Course. Segunda edición, Editorial Reverte S. A. Pag. 338-342.

39.- Pérez G. P. Correlación de los Potenciales de Reposo, Flotación y Recuperación de un Mineral de Galena con Diferentes Leyes. 1997, Facultad de Química, U.N.A.M.