



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DEL EFECTO DE DIELECTRICIDAD DEL MINERAL DE
ESFALERITA EN PRESENCIA DE LOS DEPRESORES SULFATO
DE ZINC Y CIANURO DE SODIO BAJO CONDICIONES DE
FLOTACION.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

JUAREZ CABALLERO MAURICIO



MEXICO, D.F.

2004



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	Prof. Antonio Huerta Cerdan
Vocal	Prof. Juan Genesca Llongueras
Secretario	Prof. Carlos Rodríguez Rivera
1er Suplente	Faustino Juárez Sánchez
2do Suplente	Antonio Alonso Díaz Arriaga

SITIO DONDE SE DESARROLLA EL TEMA

Laboratorio de procesos de separación y concentración, Departamento de Ingeniería
Metalúrgica,

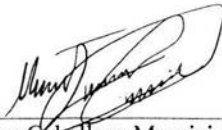
Facultad de Química
Ciudad Universitaria

ASESOR DEL TEMA



M. en C. Antonio Huerta Cerdan

SUSTENTANTE



Juárez Caballero Mauricio



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Magdalena y Gregorio y a mis hermanos Liliana y Jorge Luis por su dedicación y apoyo por este logro.

Al M. C. Antonio Huerta por su apoyo y asesoramiento para la realización de este trabajo.

A mi amiga y novia Ma. Carmen Rivera por su cariño y comprensión.

A mis amigos Tomas Flores, Oscar Rubí, L. Enrique Noriega, Rogelio, Fernanda, Edgar León, E. Ivonne Gamard, Juan M. de Rosa, Fernanda, Miguel A. Tenorio, Ricardo Raza, Héctor Vergara, Luis A. García, José Águeda (PLS), Raúl Contreras, y a todos los compañeros de generación.

A todos los profesores del Departamento de Ingeniería Química Metalúrgica.

A la UNAM mi agradecimiento y respeto por brindarme la oportunidad.

"CUANDO UN HOMBRE DE EMPRESA NO ES CAPAZ DE MOVER A SU GENTE MÁS QUE A TRAVÉS DE MOTIVOS ECONÓMICOS, ES TAN MAL PROFESIONAL COMO EL MÉDICO QUE ES INCAPAZ DE OTRA COSA QUE NO SEA ATACAR LOS SÍNTOMAS QUE EL ENFERMO DICE QUE TIENE. CUANDO ES CAPAZ DE MOVER A LAS PERSONAS A TRAVÉS DE LOS TRABAJOS QUE LES OFRECE, O DEL APRENDIZAJE PROFESIONAL QUE LES PROPORCIONA, YA ESTÁ EN OTRO NIVEL PROFESIONAL; YA NO ES TAN SÓLO UN NEGOCIANTE, SINO QUE ES UN DIRECTIVO. CUANDO ES CAPAZ DE LLEGAR A LOS MOTIVOS MÁS HONDOS DE LA ACCIÓN HUMANA, HACIENDO VER A SUS SUBORDINADOS EL VALOR Y SENTIDO DE LO QUE ESTÁN HACIENDO, ENTONCES Y SÓLO ENTONCES, ES UN LÍDER".

INDICE

Resumen	1
Introducción	2
Objetivos	4
CAPITULO I	
FLOTACIÓN	
1.1 Flotación por espuma	6
1.2 Colectores	8
1.3 Espumantes	11
1.4 Reguladores	13
1.5 Depresores	15
IMPEDANCIA A ALTAS FRECUENCIAS	
1.6 Corriente alterna	18
1.7 Circuito con resistencia ohmica solamente	20
1.8 Circuito con autoinducción	20
1.9 Circuito que tiene capacidad solamente	21
1.10 Impedancia	24
1.11 Dieléctricidad	25
1.12 Constante dieléctrica de las disoluciones iónicas	25
CAPITULO II	
METODOLOGIA DE CÁLCULO	
Cálculo de la constante dieléctrica	29
CAPITULO III	
DESARROLLO EXPERIMENTAL	36
CAPITULO IV	
RESULTADOS	44

CAPITULO V	
ANALISIS DE RESULTADOS	56
CAPITULO VI	
CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFIA	66
APENDICE 1	
GRAFICAS	68
APENDICE 2	
TABLAS	87

RESUMEN

La flotación en espuma continua siendo el proceso de concentración más importante y versátil en el beneficio de las menas, debido a su alta selectividad en separaciones específicas de menas complejas tales como: plomo-zinc, cobre-zinc, etc. En el presente trabajo se desarrolló un estudio de caracterización de las interacciones que ocurren en el sistema ZnS-NaCN-ZnSO_4 (mineral-depresor) bajo las condiciones de flotación-depresión, con el objeto de conocer los efectos de las concentraciones de los reactivos ZnSO_4 , NaCN y mezclas de éstos, que permitan efectuar las depresiones del mineral de esfalerita en los procesos de flotación. A partir de este estudio se pretende contribuir en gran medida en el ámbito industrial, al proponer y utilizar la concentración óptima de reactivo depresor; mejorando la calidad y eficiencia en el proceso.

Este estudio fue realizado bajo la técnica de impedancia a altas frecuencias, en donde fueron determinadas las características dieléctricas de la esfalerita, la cual se vio modificada por el uso de los dos agentes depresores. El tipo de sistemas estudiados fueron: a) electrolitos, b) mena-electrolitos y c) licores, determinando en cada uno de estos sistemas la constante dieléctrica y conductividad. El NaCN fue estudiado en el intervalo de concentraciones $2 \cdot 10^{-6} \text{M}$ a $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$ y el ZnSO_4 de $4 \cdot 10^{-6} \text{M}$ a $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$.

La concentración óptima que se propone para la depresión de la esfalerita mediante el sulfato de zinc fue de $1 \cdot 10^{-5} \text{M}$, mientras que para el caso de cianuro de sodio la concentración óptima propuesta fue de $1 \cdot 10^{-5} \text{M}$.

A concentraciones iguales o mayores a $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$, NaCN se inhibió el comportamiento de hidrofiliidad, el cual es dado por el efecto de asimetría del cianuro con la correspondiente disminución de conductividad eléctrica. El incremento en el tiempo de acondicionamiento del NaCN afectó a las propiedades superficiales del ZnS proporcionando características más hidrofílicas a concentraciones por debajo de $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$.

INTRODUCCIÓN.

El ion zinc es la especie responsable de la depresión de la esfalerita: Como se ha indicado antes, la esfalerita no responde a los colectores de hidrocarburos a menos que se tenga una previa activación con el ion cobre. Por esta razón los minerales de zinc de algunas menas de sulfuro son naturalmente deprimidas. Esto es particularmente cierto para el caso de menas que tienen poco o nada contenido de cobre.

Existe tal fuerza de afinidad entre los iones de zinc y cobre que la presencia de tan solo una pequeña cantidad de óxido o cobre soluble en menas sulfurosas de plomo-zinc o cobre-zinc puede fácilmente ocasionar una excesiva activación de la esfalerita. El sulfato de zinc es normalmente el vehículo para introducir iones zinc, aunque el cloruro de zinc y otros compuestos solubles de zinc han sido efectivamente usados. En el caso de alta pirita en menas de zinc, tanto natural o inducido, tiene una tendencia a alentar la flotación de la pirita en concentrados de plomo y exitosamente en concentrados de zinc.

La introducción de cianuro o sulfito desahoga la condición. Si una mena contiene sulfato de calcio y un mineral de óxido de cobre, es recomendable introducir sulfitos dentro del circuito inicial de molienda así como favorecer la conversión del sulfato de calcio a sulfito de calcio. Esto contrarresta la tendencia a formar sulfato de cobre con el óxido de cobre, de ese modo reduciendo el peligro de activación de la esfalerita. El cianuro puede ser introducido en forma posterior para ayudar en la depresión de la pirita. La reacción del sulfito y el cianuro con el sulfato de zinc presumiblemente resulta en la formación de sulfito de zinc y cianuro de zinc, ambos deprimen la esfalerita.

El interés de analizar el método de dielectricidad a altas frecuencias de una interfase sólido-solución de pulpas de mineral ha sido marcado para el caso de la activación de la esfalerita (ZnS) por iones metálicos.

Extendiendo este método al análisis de la adsorción del colector en un mineral de azufre conductor es el propósito de este estudio. El diseño de nuevos captos adecuados para el control "in situ" del procesamiento del mineral bajo condiciones industriales es también un objetivo importante.

Para mejorar la flotación selectiva se requiere conocer el tipo de interacción entre el adsorbido y el adsorbente. Se ha establecido que la fuerza de unión química existe entre el electrolito y los átomos de zinc de la superficie del mineral. Ahora bien, es interesante determinar si la característica dieléctrica “in situ” de este tipo de interacción es posible cuando la pulpa del mineral es conductor.

El principal objetivo de la detección dieléctrica de la adsorción es obtener información referente a la pulpa en presencia de especies iónicas por la regulación del pH, por el mismo sólido u otro reactivo, por los fenómenos causados por esas cargas y su dependencia por sus concentraciones a diferentes frecuencias.

OBJETIVOS

1. Aplicar la técnica de Impedancia a altas frecuencias, para analizar el comportamiento de un mineral de esfalerita.
2. Evaluar el efecto en relación al contacto del mineral con el depresor, respecto a los valores de la constante dieléctrica y de conductividad.
3. Evaluar las propiedades dieléctricas y conductoras de electrolitos y licores según sea el caso, en relación a concentración y tiempo de acondicionamiento.
4. Obtener el tiempo óptimo de acondicionamiento entre el mineral y el depresor.
5. Evaluar, la mezcla de los 2 depresores en base a las mejores condiciones, en contacto con el mineral (licor, y pulpa), de acuerdo al efecto dieléctrico.
6. Determinar y proponer las condiciones óptimas de concentración de los depresores aplicables a los procesos selectivos de flotación, para deprimir al ZnS, en base a los estudios realizados en esta tesis.

CAPITULO 1

MARCO TEORICO

FLOTACIÓN

La flotación es indudablemente la técnica de procesamiento de minerales más importante y versátil y cada vez usa y aplica más en el tratamiento de tonelajes cada vez más grandes y para cubrir nuevas áreas.

La flotación es un proceso selectivo que se usa para llevar a cabo separaciones específicas de minerales complejos tales como plomo-zinc, cobre-zinc, etc. Inicialmente se desarrolló para tratar los sulfuros de cobre, plomo y zinc; el campo de la flotación se ha extendido para incluir los minerales oxidados y los no metálicos, incluyendo el carbón fino.

1.1 FLOTACIÓN EN ESPUMA.

La flotación en espuma aprovecha las diferencias en las propiedades físico-químicas de la superficie de las partículas minerales. Después del tratamiento con reactivos, las diferencias en las propiedades superficiales de los minerales que contienen la pulpa de flotación son aparentes y para que pueda haber flotación, una burbuja de aire se debe unir a una partícula de mineral y elevarla hasta la superficie del agua. El proceso se aplica únicamente a partículas relativamente finas, ya que si son demasiado grandes, la adhesión entre la partícula y la burbuja será menor que el peso de la partícula y por lo tanto la burbuja deja caer su carga.

En la concentración por flotación, el mineral normalmente es transferido a la espuma o fracción flotante, dejando la ganga en la pulpa o las colas. Esta es la flotación directa opuesta a la flotación inversa, en la cual la ganga se separa en la fracción flotada.

Las burbujas de aire solamente se adhieren a las partículas minerales si éstas desplazan agua de la superficie mineral, lo cual únicamente sucede si el mineral repele en cierta medida al agua o es hidrofóbico. Una vez que las burbujas de aire alcanzan la superficie, únicamente pueden continuar sosteniendo la partícula mineral si forman una espuma estable; de otro modo esta espuma revienta y cae la partícula mineral. Para alcanzar estas condiciones, es necesario usar los numerosos reactivos químicos conocidos como reactivos de flotación.

La actividad de una superficie mineral con relación a los reactivos de flotación en el agua depende de las fuerzas que operan sobre esa superficie. En la figura 1.1 se muestran las fuerzas que tienden a separar una partícula y una burbuja. Las fuerzas de tensión conducen al desarrollo de un ángulo entre la superficie mineral y la superficie de la burbuja.

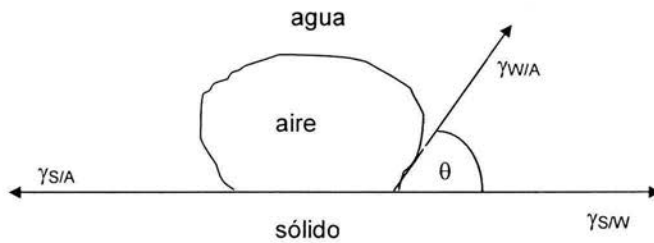


Fig.: 1.1 Ángulo de contacto entre burbujas y partícula en medio acuoso.

En el equilibrio,

$$\gamma_{S/A} = \gamma_{S/W} + \gamma_{W/A} \cos\theta, \quad (1.1)$$

Donde: $\gamma_{S/A}$, $\gamma_{S/W}$ y $\gamma_{W/A}$ son las energías de superficie entre las fases sólido-aire, sólido-agua y agua-aire respectivamente y θ es el ángulo de contacto entre la superficie mineral y la burbuja.

La fuerza necesaria para romper la interfase partícula-burbuja es el llamado trabajo de adhesión, $W_{S/A}$, y es igual al trabajo necesario para separar la interfase sólido-aire y produce las interfaces separadas aire-agua y sólido-agua, es decir,

$$W_{S/A} = \gamma_{W/A} + \gamma_{S/W} - \gamma_{S/A} \quad (1.2)$$

Al combinar con la ecuación (1), se tiene:

$$W_{S/A} = \gamma_{W/A}(1 - \cos\theta) \quad (1.3)$$

Mientras mayor sea el ángulo de contacto más grande será el trabajo de adhesión entre la partícula y la burbuja; además el sistema es más elástico ante las fuerzas de rompimiento. Por consiguiente la flotabilidad de un mineral aumenta con el ángulo de contacto y se dice que los minerales con alto ángulo de contacto son aerofílicos, es decir que tienen mayor afinidad por el aire que por el agua. La mayor parte de los minerales en estado natural no son repelentes al agua y por tanto conviene agregar reactivos de flotación a la pulpa. Los reactivos más importantes para desarrollar esta función son los colectores, los cuales son adsorbidos sobre la superficie de los minerales y los convierte en hidrofóbicos (aerofílicos), facilitando su adhesión a la burbuja. Los espumantes ayudan a mantener una espuma razonablemente estable. Los reguladores se usan para controlar el proceso de flotación, activando o deprimiendo la adherencia de las partículas minerales a las burbujas de aire y también se utilizan para controlar el pH del sistema.

1.2 COLECTORES.

Todos los minerales se clasifican en tipos no-polares o 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 del agua y en consecuencia son hidrofóbicos. Los minerales de este tipo, como el grafito, azufre, molibdenita, diamante, carbón, y talco tienen alta flotabilidad natural con ángulos de contacto entre 60° y 90° . Aunque es posible flotar estos minerales sin ayuda de agentes químicos, es universal incrementar su capacidad hidrofóbica por la adición de aceites hidrocarburos o agentes espumantes. La creosota, por ejemplo, se usa ampliamente como ayuda para que el carbón flote mejor. Los minerales con un fuerte enlace superficial covalente o iónico se conocen como de tipo polar y exhiben altos valores de energía libre en la superficie polar. Las superficies polares reaccionan fuertemente con las moléculas de agua y estos minerales son naturalmente hidrofílicos.

El grupo de los minerales polares se subdivide en varias clases que dependen de la magnitud de la polaridad, la que se incrementa de los grupos 1 a 5. Los minerales en el grupo 3 tienen grados similares de polaridad, pero los del grupo 3a, se consideran hidrofóbicos por sulfidización de la superficie mineral en un medio acuoso alcalino. Además de los metales nativos, los minerales del grupo 1 son todos sulfuros, sólo débilmente polares debido a su enlace covalente y es relativamente débil si se compara con el enlace iónico de los minerales de carbonato y sulfato. En general, por lo tanto, el grado de polaridad aumenta desde los minerales de sulfuro, a través de los sulfatos hasta los carbonatos, haluros, fosfatos, etc., luego los hidróxidos-óxidos y finalmente los silicatos y el cuarzo.

Para flotar los minerales se les debe impartir cierta calidad hidrofóbica. Para lograrlo se le agregan a la pulpa reactivos surfactantes, conocidos como colectores y el tiempo concedido para la adsorción durante la agitación se conoce como período de acondicionamiento. Los colectores son compuestos orgánicos que convierten a los minerales seleccionados en repelentes al agua por la adsorción de moléculas o iones sobre la superficie mineral, reduciendo la estabilidad de la capa hidratada que separa la superficie mineral de la burbuja de aire, hasta un nivel tal que la adhesión de la partícula a la burbuja puede hacerse por contacto.

Las moléculas de colector pueden ser compuestos ionizados, los cuales se disocian en iones dentro del agua, o compuestos no ionizados, que son prácticamente insolubles y vuelven repelente al agua el mineral cubriendo su superficie con una delgada capa.

Los colectores ionizados tienen una muy amplia aplicación en la flotación. Tienen moléculas complejas que contienen un grupo hidrocarburo no-polar y un grupo polar que puede ser de varios tipos. El radical de hidrocarburo no-polar tiene propiedades definidas repelentes al agua mientras que el grupo polar reacciona con el agua.

Los colectores ionizados se clasifican de acuerdo con el tipo de ion, anión, catión, que produce el efecto de repulsión al agua dentro de ella.

Debido a la atracción química, eléctrica o física entre las porciones polares y los sitios de la superficie, los colectores se adsorben sobre las partículas con su extremo no-polar orientado hacia la masa de la solución, impartiendo de ese modo características hidrofóbicas a las partículas.

En general los colectores se usan en pequeñas cantidades, sólo las necesarias para formar una capa monomolecular sobre la superficie de la partícula (nivel de inanición), ya que al aumentar la concentración, aparte del costo, tienden a flotar otros minerales, reduciendo la selectividad. Siempre es más difícil eliminar el colector ya adsorbido que evitar su adsorción.

Una concentración excesiva de un colector también puede tener un efecto adverso sobre la recuperación de los minerales valiosos, posiblemente debido al desarrollo de multicapas de colector sobre las partículas reduciendo la proporción de radicales hidrocarburo orientados hacia la masa de la solución. De este modo se reduce la hidrofobicidad de las partículas y por tanto, su capacidad de flotación. El límite de flotación se puede extender sin perder la selectividad usando un colector de hidrocarburo con una cadena más grande, produciendo de ese modo una mayor repulsión al agua que si se aumentara la concentración de un colector de cadena más corta. Sin embargo, la longitud de la cadena generalmente está limitada desde dos hasta cinco átomos de carbono, en vista de que la solubilidad del colector en el agua aumenta y que aumentando la longitud de la cadena hay un decremento correspondiente en la solubilidad de los productos formados metal-colector, los cuales por consiguiente se adsorben muy rápidamente sobre la superficie mineral. Por lo tanto, será necesario que el colector se ionice en el agua para que tenga lugar la quimiadsorción sobre las superficies minerales. La solubilidad del colector no solamente se ve afectada por la longitud de la cadena, sino también por la estructura de la misma, ya que los colectores de cadenas ramificadas tienen mayor solubilidad que los de cadena recta.

El colector agregado a la cabeza del sistema de flotación normalmente es relativamente fuerte y no selectivo para promover una recuperación máxima y muchas veces se agrega colector más débil, más selectivo al concentrado primario para mejorar el concentrado final que se produzca.

1.3 ESPUMANTES

Cuando las superficies minerales se vuelven hidrofóbicas por el uso del colector, la estabilidad de la adhesión de la burbuja, especialmente en la superficie de la pulpa, depende en gran parte de la eficiencia del espumante.

El comportamiento ideal del espumante ocurre totalmente en la fase líquida y no influye sobre el estado de la superficie del mineral. Sin embargo, en la práctica hay una interacción entre el espumante, el mineral y otros reactivos y la selección de un espumante apropiado para una mena en particular solamente puede hacerse después de un amplio trabajo de experimental.

En la flotación de minerales sulfurados es prácticamente común emplear al menos dos espumantes y más de un colector. Los espumantes específicos se seleccionan para proporcionar las propiedades físicas adecuadas a la espuma, mientras que el segundo espumante interactúa con los colectores para controlar la dinámica del proceso de flotación.

Los espumantes son similares químicamente a los colectores iónicos y en realidad muchos de los colectores, como los quelatos, son poderosos espumantes, demasiado poderosos para usarlos como espumantes eficientes, ya que la espuma que producen es muy estable para permitir el transporte eficiente hacia otro procesamiento. El aumento de espuma sobre la superficie de los espesadores y el espumado excesivo en las celdas de flotación, son problemas que se presentan en muchas plantas del procesamiento de minerales. Un buen espumante debe tener un poder colector despreciable y también producir una espuma que sea sólo bastante estable para facilitar la transferencia de mineral flotado desde la superficie de la celda hasta el canal colector.

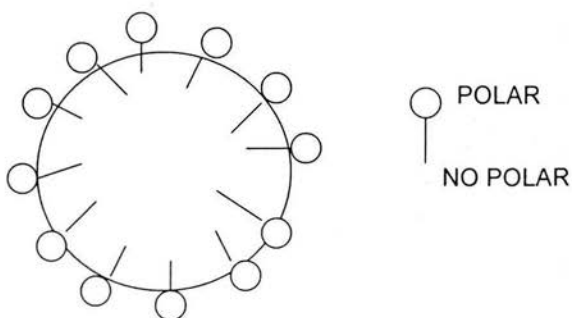


Figura 1.2 Acción del espumante.

Los espumantes generalmente son reactivos orgánicos de superficie activa heteropolar, capaces de ser adsorbidos en la interfase aire-agua. Cuando las moléculas de superficie activa reaccionan con el agua, los dipolos del agua se combinan rápidamente con los grupos polares hidratándolos, pero prácticamente no hay reacción con el grupo de hidrocarburo no-polar, la tendencia es forzar al último hacia el interior de la fase aire. De este modo la estructura heteropolar de la molécula de espumante lleva a su adsorción, es decir, que las moléculas se concentran en la superficie con los grupos no-polares orientados hacia el aire y los grupos polares hacia el agua (Figura 1.2).

De este modo la acción espumante se debe a la habilidad del espumante para adsorberse sobre la interfase aire-agua. Debido a su actividad superficial también es capaz de reducir la tensión superficial, estabilizando a sí la burbuja de aire.

Los espumantes deben ser hasta cierto grado solubles en agua, de otra manera se distribuyen muy irregularmente en una solución acuosa y sus propiedades de activador de superficies no resultan completamente efectivas.

Los ácidos, aminas y alcoholes son los más solubles de los espumantes. Los alcoholes (-OH) se usan más ya que prácticamente no tienen propiedades colectoras y en este aspecto se prefieren en lugar de otros espumantes, tales como los carboxilos, los cuales también son colectores poderosos; la presencia de propiedades colectoras y espumantes en el mismo reactivo dificulta la flotación selectiva. Los espumantes con un grupo amina y ciertos espumantes del grupo sulfo, también tienen propiedades colectoras débiles.

El aceite de pino, que contiene alcoholes aromáticos, cuyo componente espumante más activo es el terpinol, $C_{10}H_{17}OH$ se usa ampliamente como espumante. El Cresol (ácido crecílico), $CH_3C_6H_4OH$, también es usado con gran aceptación.

En muchas plantas se utiliza ahora una gran variedad de espumantes sintéticos, basados principalmente en alcoholes de alto peso molecular. Estos tienen la importante ventaja sobre los productos industriales tales como el aceite de pino y el cresol de que sus compuestos son mucho más estables, lo cual facilita el control del proceso de flotación y mejora el rendimiento. Un espumante de alcohol sintético de múltiples usos es el carbinol isobutil metil (MIBC). Otro tipo de espumantes sintéticos se basa en los ésteres de poliglicol y resultan muy

efectivos. Se venden bajo varios nombres tales como Dowfroth 250, Cyanamid R-65 y el Unión Carbide PG-400.

Aunque los espumantes generalmente son reactivos activadores de superficie, se ha demostrado que los reactivos desactivadores de superficie, tales como el alcohol diacetónico y el acetilético, se comportan como espumantes en los sistemas sólido-líquido-aire, aunque no en los sistemas de dos fases líquido-aire. Las moléculas de estos reactivos tienen dos grupos polares y rápidamente se disuelven en agua. Se adsorben sobre las superficies sólidas pero no cambian apreciablemente su hidrofobicidad. Cuando la superficie mineral, sobre la cual se adsorbe el espumante inactivador de superficie, es abordada por una burbuja de aire, las moléculas se reorientan y producen una espuma de tres fases suficientemente estable. La superficie es inactiva, no reducen la tensión superficial y aparte de la ligera reducción debida a los colectores, las fuerzas disponibles en estos reactivos para la flotación se mantienen al máximo.

1.4 REGULADORES.

Los reguladores o modificadores se usan mucho en flotación para modificar la acción del colector, ya sea intensificando o reduciendo el efecto repelente al agua sobre la superficie mineral y de esa manera hacen más selectiva la acción de colector hacia ciertos minerales. Los reguladores se pueden clasificar como activantes, depresores o modificadores de pH.

Activadores. Estos reactivos alteran la naturaleza química de las superficies del mineral de tal modo que se convierten en hidrofóbicas debido a la acción futura del colector. Los activadores generalmente son sales solubles que se ionizan en solución y los iones reaccionan entonces con la superficie mineral.

Un ejemplo clásico es la activación de la esfalerita por el cobre en solución. La esfalerita no flota satisfactoriamente por un colector de xantato de zinc, son relativamente solubles en agua y por lo tanto no proporcionan una película hidrofóbica alrededor de la partícula del mineral. La flotabilidad se puede mejorar por el uso de grandes cantidades de xantato de cobre como activador, el cual se disuelve rápidamente y se disocia en iones de cobre dentro de la solución. La activación se debe a la formación de moléculas de sulfuro de

cobre sobre la superficie mineral debido al hecho de que el cobre es más electronegativo que el zinc y por consiguiente se ioniza menos rápidamente:



El sulfuro de cobre que se deposita sobre la superficie de la esfalerita reacciona rápidamente con el xantato para formar un xantato de cobre insoluble, que hace hidrofóbica la superficie de la esfalerita.

Se debe tener un cuidadoso control en la alimentación de reactivo cuando se usa sulfato de cobre como activante en conjunción con un colector xantato. Es indispensable que los minerales se acondicionen por separado con el activante, antes de agregar el colector y cuando la pulpa acondicionada entra al acondicionador del colector, hay poco sulfato de cobre residual en solución. Esto sucede porque los xantatos reaccionan rápidamente con los iones de cobre, consumiendo innecesariamente ambos reactivos.

El principal uso del sulfato de cobre como activador se efectúa en la flotación diferencial de las menas plomo-zinc, donde después de la flotación del plomo la esfalerita se activa y luego es flotada. En la misma extensión los iones de cobre también activan la galena, calcita y pirita.

Los minerales oxidados de plomo, zinc y cobre, tales como la cerucita, smithsonita, azurita y malaquita flotan ineficientemente con los colectores sulfhídricos y requieren una cantidad extremadamente grande de éstos. Tales minerales se activan usando sulfuro o hidrosulfuro de sodio.

En la flotación de menas mezcladas de óxido y sulfuro, los minerales de sulfuro son flotados primero, antes de la sulfidización de la superficie del óxido. Esto evita la depresión de los sulfuros por el sodio y el sulfidizador se agrega posteriormente en etapas a la pulpa, a niveles reducidos.

1.5 DEPRESORES.

La depresión se usa para incrementar la selectividad de la flotación volviendo hidrofílicos (ávidos de agua) a ciertos minerales y evitando así su flotación.

Existen muchos tipos de depresores cuyas acciones son complicadas y variadas y en la mayoría de los casos se conocen poco, lo que dificulta controlar la depresión más que si se aplicaran otros tipos de reactivos.

El recubrimiento de lama es un ejemplo de una forma de depresión que se presenta naturalmente. En una mena triturada y molida las lamas dificultan la flotación, ya que recubren a las partículas de mineral, retardando la adsorción del colector. Algunas veces se eliminan de la superficie mediante una vigorosa agitación, pero un método más confiable es usar un dispersante de lamas. El silicato de sodio en solución incrementa la carga de doble capa sobre las partículas, de manera que las capas de lama que se forman desaparecen rápidamente y entonces la superficie limpia de mineral interactúa con el colector. Por lo tanto, en este caso, el silicato de sodio se usa como activador, evitando que las lamas depriman las partículas. En algunos sistemas el silicato de sodio también se usa como depresor para los silicatos y calcita en la separación de fluorita-calcita y scheelita-calcita.

Los cianuros se utilizan mucho en la flotación selectiva de las menas de plomo-cobre-zinc, como depresores para la esfalerita, pirita y ciertos sulfuros de cobre.

Está totalmente establecido que la esfalerita limpia pura no adsorbe los xantatos de cadena corta hasta que su superficie sea activada por los iones de cobre. Sin embargo, los iones resultantes de la disolución muy ligera de los minerales de cobre presentes en la mena ocasionan una activación no intencional y evitan la flotación selectiva. El cianuro se agrega a la pulpa para desadsorber el cobre de la superficie y reaccionar con el cobre en la solución formando complejos solubles de cianuro. El cianuro de sodio es el que más se utiliza; se hidroliza en solución acuosa para formar álcali libre y ácido cianhídrico relativamente insoluble.



Puesto que la producción aun de pequeñas trazas de ácido cianhídrico es extremadamente peligrosa, los cianuros siempre se deben usar en medio alcalino, ya que el álcali libre en solución forzaría la reacción de hidrólisis hacia la izquierda.

Los cianuros son, extremadamente tóxicos y se deben manejar con gran cuidado. Además tienen la desventaja de ser costosos y también deprimen y disuelven el oro y la plata, reduciendo la extracción de esos metales dentro del producto espuma. A pesar de estas desventajas, los cianuros se usan mucho debido a su alto grado de selectividad en la flotación.

Además de las reacciones del cianuro con los iones metálicos en solución, éste puede reaccionar con los xantatos metálicos para formar complejos solubles, impidiendo la adsorción del xantato sobre la superficie del mineral. Mientras más grande sea la solubilidad del xantato metálico en el cianuro, tanto menos estable será la adhesión del colector al mineral. Se ha demostrado que los xantatos de plomo tienen muy baja solubilidad en el cianuro, los xantatos de zinc, níquel, hierro y oro son altamente solubles. Por consiguiente, el hierro y el zinc se separan fácilmente del plomo en las menas complejas.

El efecto depresivo del cianuro depende de concentración y de la longitud de la cadena del hidrocarburo de xantato. Mientras más grande sea la cadena, tanto más grande será la estabilidad del xantato metálico en las soluciones de cianuro y tanto más alta la concentración de cianuro necesaria para deprimir el mineral. Los xantatos de hidrocarburo de cadena corta se usan por lo tanto, para la flotación selectiva en la que los cianuros se usan como depresores.

Mientras que muchas plantas funcionan eficientemente con cianuro solo, en otras se agrega un reactivo adicional, generalmente sulfato de zinc, para asegurar la depresión satisfactoria de la esfalerita. Si están presentes iones de cobre, la introducción de iones zinc, evita la depositación de cobre sobre la superficie de la esfalerita trasladando la ecuación hacia la izquierda.

Sin embargo, se presentan otras reacciones más complejas, para auxiliar la depresión y se considera que el cianuro reacciona con el sulfato de zinc para formar cianuro de zinc, el cual es relativamente insoluble y se deposita sobre la superficie de la esfalerita, volviéndola hidrofílica y evitando la adsorción del colector.



En una pulpa alcalina, también se forma hidróxido de zinc el cual adsorbe los iones de cobre y se deposita sobre la superficie de esfalerita, impidiendo la adsorción del colector.

El uso del sulfato de zinc reduce de este modo el consumo de cianuro y se sabe de casos en los que la depresión de la esfalerita se logra sólo usando sulfato de zinc.

La flotación se lleva a cabo generalmente en un medio alcalino ya que la mayor parte de los colectores bajo esas condiciones son estables y la corrosión de las celdas, tubería, etc., es minimizada. El control de pH es extremadamente importante, especialmente en la flotación selectiva y la alcalinidad se controla por la adición de cal, hidróxido de sodio, carbonato de sodio y ácido sulfúrico.

La cal evita los efectos adversos de las sales solubles sobre la flotación, precipitándolas como hidróxidos metálicos. También se usa mucho como depresor de la piritita y arsenopiritita. El ion hidróxilo y el ion calcio participan en el efecto depresivo de la cal sobre la piritita para la formación de películas mezcladas de Fe(OH) , FeO(OH) , CaSO_4 y CaCO_3 sobre la superficie, reduciendo la adsorción del xantato. La cual no tiene efecto depresor en los minerales de cobre, pero deprime la galena en cierto grado. Por consiguiente, en la flotación de la galena, el control del pH frecuentemente se modifica por el uso de ceniza de sosa (Na_2CO_3), deprimiendo la piritita y la esfalerita por el cianuro.

El dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) se usa para deprimir la galena en las separaciones plomo-cobre, la acción depresiva se debe a la reacción química entre la superficie de la galena y los aniones CrO_4^{2-} , los cuales producen dicromato de plomo insoluble que aumenta la mojabilidad y evita la flotación.

Los reactivos orgánicos tales como el almidón, tanino, quebracho (madera dura) y dextrina no se ionizan en la solución, pero forman partículas coloidales en el interior de la pulpa las cuales se depositan sobre las superficies del mineral, evitando la flotación de una manera similar a un recubrimiento de cal. Todos los minerales se deprimen con grandes cantidades de esos reactivos, que no son tan selectivos como los depresores electrolíticos. Estos se usan en pequeñas cantidades para deprimir el talco, calcita y grafito. La fécula de almidón también se usa para deprimir la molibdenita en las separaciones cobre-molibdeno.

IMPEDANCIA A ALTAS FRECUENCIAS

1.6 CORRIENTE ALTERNA.

En el momento actual más del 90% de la energía eléctrica utilizada por la industria y los particulares se produce en forma de corriente alterna. La energía se produce y se transporta casi siempre en forma de corriente alterna y se convierte después en corriente continua.

La corriente alterna puede producirse a tensiones relativamente altas que pueden elevarse o reducirse fácilmente pro medio de transformadores estáticos. Con ello es posible el transporte económico de energía como corriente alterna hasta distancias considerables valiéndose de altas tensiones de transporte, lo que representa una gran ventaja, ya que el peso del conductor varía en razón inversa del cuadrado de la tensión de transporte al alcanzar el punto de utilización de la energía. Por ahora no se ha llegado a conseguir ningún método práctico para elevar y reducir la tensión de la corriente continua cuando se manejan potencias importantes. Los convertidores rotatorios permiten elevar o reducir la tensión, pero sólo cuando ésta y la potencia son limitadas.

La teoría y el análisis de la corriente alterna se fundan en el empleo de las sinusoides (o cosenusoides) de la tensión, de la intensidad de la corriente y de la potencia, lo que se debe a que las funciones seno y coseno son sencillas y, en consecuencia, fáciles de expresar matemáticamente. También porque las variaciones sinusoidales de la tensión y la intensidad son las únicas que permiten la circulación de la corriente sin distorsión por todos los tipos de circuitos lineales (es decir, circuitos cuyos parámetros, tales como la resistencia y la autoinducción, no sufren variación).

La ecuación que nos da el valor instantáneo de una diferencia de potencial entre dos puntos que varía con el tiempo es:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \text{ sen } \omega t \quad (1.1)$$

donde ε_0 es la amplitud de la tensión, δ es el ángulo de fase y ω la frecuencia angular (120π rad/seg.).

Análogamente a la ecuación anterior, para representar la onda senoidal de corriente:

$$i = I_0 \sin \omega t \quad (1.2)$$

donde ϕ , el ángulo de fase, representa la posición de una onda con otra cuando ambas tienen la misma frecuencia.

Ohmio; voltio. Si una resistencia de un ohmio, medida como se hace para corrientes continuas, no tiene autoinducción ni capacidad y está dispuesta de manera que una corriente alterna que circule por ella no produzca ningún efecto secundario, tales como corrientes parásitas o efecto superficial, opondrá simplemente una resistencia de un ohmio al paso de la corriente alterna.

Cuando una corriente alterna de un amperio circula por la mencionada resistencia, la caída de tensión entre sus terminales es de un voltio.

Cuando la intensidad y la tensión están en fase, la potencia media es igual al producto de la intensidad media por la tensión media.

Cuando la tensión y la intensidad tienen un diferencia de fase de 90° , o sea que están en cuadratura, la potencia media es nula. Si la intensidad está en avance de 90° respecto a la tensión, la potencia media es también nula.

Si la diferencia de fase entre la tensión y la intensidad de la corriente es un ángulo θ , lo que sucede cuando en el circuito existe una resistencia óhmica y una autoinducción o capacidad, la potencia media no es EI ni cero, sino que viene dada por:

$$P = EI \cos \theta \quad (1.3)$$

1.7 CIRCUITO CON RESISTENCIA OHMICA SOLAMENTE.

La figura 1.3(a) representa un circuito de corriente alterna que contiene solamente resistencias y en el cual la corriente es:

$$i = I_m \text{ sen } \omega t \quad (1.4)$$

tratemos de determinar la f.e.m. aplicada, cuyo valor instantáneo es e y cuyo valor eficaz es E .

$$e = Ri = RI_m \text{ sen } \omega t = E_m \text{ sen } \omega t \quad (1.5)$$

Si E_m es el valor máximo de la tensión.

La intensidad y la tensión tienen la misma frecuencia ω : 2π . Ambos están además en fase; cuando $t = 0$, $\text{sen } \omega t = 0$, y las dos curvas, de intensidad y de tensión, cortan el eje de abscisas y crece en sentido positivo, como se ve en la figura 1.3 (b).

Si se utilizan los valores eficaces, $E=RI$. La caída de tensión RI está en fase con la corriente I y es igual a la tensión E , puesto que no existe otra en el circuito.

Como la tensión y la intensidad están en fase, la potencia es:

$$P = EI \quad (1.6)$$

1.8 CIRCUITO CON AUTOINDUCCION.

La autoinducción se opone siempre a toda variación de la corriente. Por ejemplo, cuando en un circuito con autoinducción la corriente empieza a crecer, la f.e.m. de autoinducción se opone a este aumento de corriente.

Cuando la tensión aumenta positivamente, la corriente tiende a crecer en la misma dirección. Sin embargo, la f.e.m. de autoinducción $-L \cdot di/dt$ produce un retraso de la intensidad; y antes que esta última pueda alcanzar el valor dado por la ley de ohm, $E:R$, la tensión empieza a decrecer. Por consiguiente, la corriente no puede llegar a alcanzar el valor $E:R$.

Consideremos un circuito con autoinducción solamente, por el que circula una corriente sinusoidal i figura 1.3(c). Cuando la corriente varía, con rapidez máxima, en sentido positivo. En este instante, la f.e.m. de autoinducción debe tener su máximo valor negativo. En el instante que la corriente alcanza su máximo valor, de manera que su velocidad de variación es nula, en este instante, la f.e.m. de autoinducción es cero. Cuando la corriente varía negativamente a su velocidad máxima, la f.e.m. de autoinducción deberá alcanzar su valor positivo máximo, debido al signo negativo de la expresión $-L \cdot di:dt$. Continuando de esta manera se obtiene la curva de la f.e.m. inducida fig. 1.3(d). Esta curva es una senoide retrasada 90° con relación a la corriente.

Nótese que la tensión aplicada está en avance de 90° sobre la intensidad, o ésta se encuentra en retraso de 90° respecto a la tensión. Con un circuito que sólo tenga autoinducción, la corriente está en retraso de 90° con relación a la tensión aplicada.

Por consiguiente, en un circuito que tienen sólo autoinducción, la intensidad es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la frecuencia y al coeficiente de autoinducción.

Es decir que $2\pi fL$ es el efecto de resistencia a la circulación de la corriente producido por la autoinducción, que se llama resistencia inductiva o reactancia del circuito. Se representa por X_L y se expresa en ohmios.

La tensión aplicada es:

$$E = 2\pi fLI = IX_L \text{ voltios.} \quad (1.7)$$

1.9 CIRCUITO QUE TIENE CAPACIDAD SOLAMENTE.

Cuando se aplica una tensión continua entre las placas de un condensador perfecto, hay un primer flujo de corriente que carga el condensador a la tensión aplicada. Después ya no circula más corriente si la tensión se mantiene constante. Si las placas del condensador se ponen en corto circuito, reduciendo a cero su diferencia de potencial, sale una corriente de la placa positiva.

La figura 1.3(e) representa una f.e.m. alternativa E aplicada a las placas de un condensador C . Cuando la tensión parte de su valor cero, y aumenta positivamente, la corriente fluye al condensador por el conductor positivo. Esta corriente es, por lo tanto, positiva. Mientras que la f.e.m. aplicada a las placas continúa aumentando, debe seguir fluyendo corriente desde el conductor positivo y esta corriente será de signo positivo.

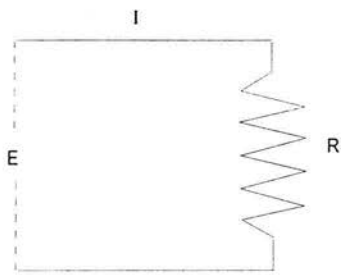
Esta inversión de la corriente está indicada en la figura 1.3(f) por la curva i . Después que la curva V_C la carga del condensador se invierte, de manera que la corriente se mantiene negativa, prosiguiendo así hasta que la f.e.m. alcanza su máximo valor negativo. En este instante, la corriente, invirtiendo el sentido de circulación, se vuelve de nuevo positiva.

La capacidad en un circuito de corriente alterna es algo análogo a la conductancia en un circuito de corriente continua. Por ejemplo, en el circuito de corriente continua, la intensidad vale $I = EG$, siendo G la conductancia; de igual manera, si hay capacidad en el circuito de alterna, la intensidad $I = E(C)$. La cantidad C corresponde a la G y recibe el nombre de susceptancia, por lo tanto:

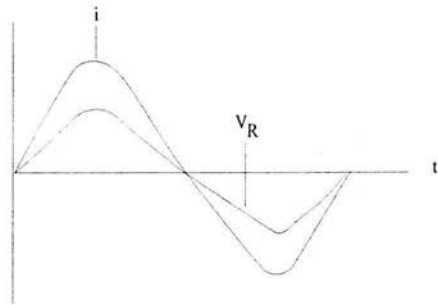
$$I = \frac{E}{1/2\pi fC} = \frac{E}{X_C} \quad (1.8)$$

donde X_C es la llamada resistencia de capacidad o capacitancia del circuito, que se expresa en ohmios y es igual a $1/2\pi fC$. También tenemos,

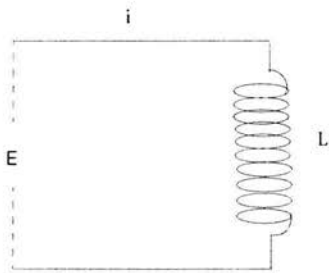
$$E = \frac{I}{2\pi fC} = IX_C. \quad (1.9)$$



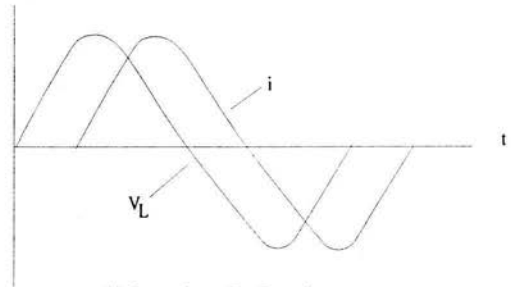
(a) Circuito con resistencia óhmica.



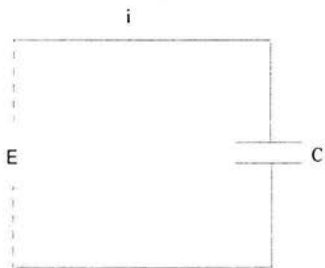
(b) Curvas de tensión y de corriente en fase



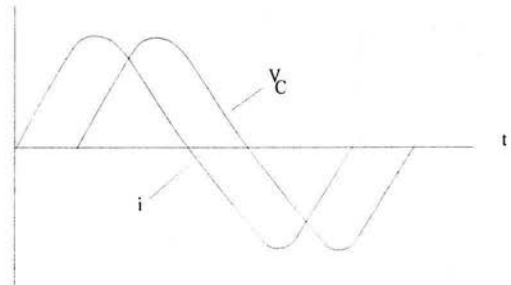
(c) Circuito inductivo.



(d) Curvas de tensión de corriente.



(e) Circuito capacitivo.



(f) Curvas de tensión de corriente.

Figura 1.3 Circuitos con reactancia, inductancia y capacitancia con una f.e.m. y curvas de tensión y corriente.

1.10 IMPEDANCIA.

Es el término que relaciona el flujo de corriente en un elemento de circuito y la tensión en el elemento, puede expresarse como una relación entre los números complejos y la corriente en circuitos de corriente alterna. La impedancia se define como la diferencial de voltaje respecto a la diferencial de corriente y se representa con la letra Z.

La impedancia es un número complejo, que no cambia con el tiempo. Al analizar los valores de impedancia en un sistema, a 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.

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:

$$Z=R+Jx \quad (1.10)$$

La resistencia es la oposición que presenta el sistema al paso de un voltaje y la Reactancia genera un ángulo de fase entre el voltaje aplicado y la corriente resultante.

Cuando en el sistema se genera una reactancia negativa, entonces el sistema es un circuito capacitivo y cuando esta reactancia resulta positiva, el sistema se comporta como un inductor.

1.11 DIELECTRICIDAD.

La mayor parte de los capacitores tienen entre sus placas un material sólido no conductor o dieléctrico. Se pueden emplear dos formas distintas para tener una explicación de las propiedades eléctricas de los sólidos, líquidos y gases. Se puede tratar de describir en detalle el campo eléctrico y a las cargas dentro del material. Describir las variaciones del campo eléctrico, aun dentro de un único átomo, resulta ser muy complejo. Se consideran los campos de muchos átomos en movimiento térmico, se observa que es muy deseable hacer simplificaciones.

Un dieléctrico es cualquier material que no contiene un número apreciable de cargas libres, es decir cualquier no conductor, el cual se supone que no tiene carga neta, aun cuando el campo eléctrico varía mucho de punto a punto dentro de él y se tiene de interés sólo sobre el campo promedio en regiones suficientemente grandes como para contener muchos átomos. Este campo promedio es cero, ya que no existe una carga neta promedio en el dieléctrico.

Suponemos que se aplica una campo eléctrico a la porción del dieléctrico. Todos los átomos y moléculas del dieléctrico tendrán cargas positivas que se desplazan hacia la derecha, mientras que las cargas negativas se desplazarán hacia la izquierda. Esto causa que aparezca una capa de cargas positivas sobre el lado derecho de la porción del dieléctrico y que aparezcan una capa de cargas negativas del lado izquierdo de la misma. Este tipo de carga es llamada polarización o carga de enlace y se dice que el dieléctrico se encuentra polarizado. El término enlace hace referencia al hecho de que las cargas en las capas están todavía ligeramente enlazadas con los átomos o a las moléculas. A diferencia de las cargas libres sobre el conductor, la carga no puede dejar al dieléctrico.

1.12 CONSTANTE DIELECTRICA DE LAS DISOLUCIONES IONICAS.

Se deduce que cuando crece la concentración iónica, aumenta también la fracción de agua de una disolución que es atrapada por los campos iónicos en las capas de solvatación. Se manifiesta esta extensión de las interacciones ion-agua que depende de la concentración en

alguna propiedad macroscópica del electrólito? La constante dieléctrica de un electrólito es una de estas propiedades.

La constante dieléctrica aparece siempre en la expresión de la capacidad de un capacitor eléctrico. Por tanto, por qué no empezamos a tratar de comprender las constantes dieléctricas en función del comportamiento de los capacitores?

Consideremos un capacitor con placas de $A \text{ cm}^2$ de área que se encuentran a distancia d (fig.1.4). supongamos que entre las placas existe un vacío.

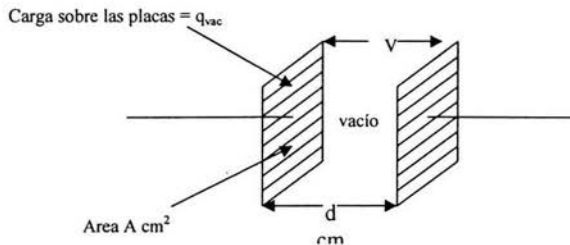


Fig.1.4 un capacitor con el vacío entre las placas.

Para establecer una diferencia de potencial V entre las placas, es necesario suministrarles una carga q_{vac} a partir de una fuente externa. La capacidad C_{vac} se define como la carga que puede almacenar el capacitor por unidad de diferencia de potencial entre las placas, es decir,

$$C_{vac} = \frac{q_{vac}}{V} \quad (1.11)$$

Supongamos ahora que se coloca entre las placas algún material que no conduzca electrónicamente, es decir un material dieléctrico tal como parafina (sí el material es un conductor electrónico permitirá que fluya una corriente entre las placas. Esta corriente dificultará el almacenamiento de carga y por tanto frustrará toda argumentación simple). En presencia de un material dieléctrico entre las placas, cuánta carga en exceso deberá ser suministrada a las placas para establecer la misma diferencial de potencial V a través del

capacitor?. Experimentalmente se encuentra que en presencia de un dieléctrico es necesario acumular una cantidad de carga mayor. Supongamos que esta carga es q_{diel} (fig.1.5)

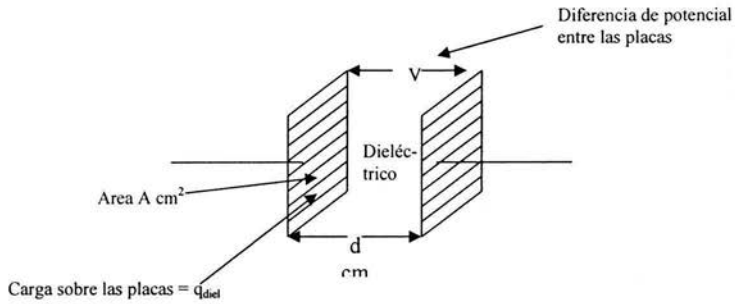


Fig.1.5 Un condensador con un material dieléctrico entre las placas.

Entonces.

$$C_{diel} = \frac{q_{diel}}{V} \quad (1.12)$$

La relación entre la capacidad C_{diel} en presencia del dieléctrico y el valor en el vacío C_{vac} define la constante dieléctrica.

$$\frac{C_{diel}}{C_{vac}} = \epsilon \quad (1.13)$$

CAPITULO II

METOLOGIA DE CÁLCULO

CÁLCULO DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.

En este capítulo se presenta la metodología de cálculo para poder determinar la permitividad compleja de cualquier sistema:

En primer lugar, se necesita saber que el equipo empleado durante la experimentación 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, en base a su resistencia y su reactancia. Estas expresiones son:

Para la parte real:

$$R_x = \frac{(|Z_0| \cos \theta_m - |Z_m| \cos \theta_0) \times |Z_m| \times |Z_0|}{(|Z_0| \cos \theta_m - |Z_m| \cos \theta_0)^2 + (|Z_m| \sin \theta_0 - |Z_0| \sin \theta_m)^2} - |Z_s| \cos \theta_s \quad (2.1)$$

Para la parte imaginaria:

$$X_x = \frac{(|Z_0| \sin \theta_m - |Z_m| \sin \theta_0) \times |Z_m| \times |Z_0|}{(|Z_0| \cos \theta_m - |Z_m| \cos \theta_0)^2 + (|Z_m| \sin \theta_0 - |Z_0| \sin \theta_m)^2} - |Z_s| \sin \theta_s \quad (2.2)$$

Estas ecuaciones son validas cuando $Z_0 \gg Z_s$.

Donde:

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

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

$|Z_s|$ y θ_s son la magnitud de la impedancia y el ángulo de fase de un circuito cerrado, en este caso, mercurio.

Una vez obtenidas las componentes reales de la impedancia, se procede a conocer la magnitud y el ángulo de fase real del vector impedancia, mediante las siguientes expresiones:

$$|Z_x| = \sqrt{(R_x^2 + X_x^2)} \quad (2.3)$$

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{X_x}{R_x} \quad (2.4)$$

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

En este trabajo las lecturas utilizadas de esos parámetros son:

Frecuencia (Mhz)	Aire	Aire	Mercurio	Mercurio
	θ_o	$Z_o (\Omega)$	θ_s	$Z_s (\Omega)$
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 calcular los valores de R_x y C_x , para cada frecuencia mediante las siguientes ecuaciones:

$$R_x = \frac{|Z_x|}{\cos \theta_x} = (\Omega) \quad (2.5)$$

$$C_x = -\frac{\text{sen } \theta_x}{\omega |Z_x|} \times 1 \times 10^{12} = (pF) \quad (2.6)$$

Donde:

R_x es la resistencia real, C_x es la capacitancia real, $|Z_x|$ es la magnitud de la impedancia real, θ_x es el ángulo de fase real, ω es la frecuencia angular = $2 \cdot \pi \cdot f$ (Hz).

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

Constante dieléctrica:

$$\epsilon' = \frac{-C_a + \sqrt{C_a^2 + 4C_a K f^2 C_x}}{2C_a K f^2} \quad (2.7)$$

Perdidas por dielectricidad:

$$\epsilon'' = \frac{1}{R_x \omega C_a (1 + 2\epsilon' K f^2)} \quad (2.8)$$

Donde C_a y K son las constantes de la celda, C_a esta dada en pF y K en Mhz^{-2} .

F = Frecuencia en Mhz^{-2} .

C_x = Capacitancia del sistema.

R_x = Resistencia del sistema.

ω = Frecuencia angular (Hz).

Dichos parámetros son adimensionales, como se mencionó antes, C_a y K son las constantes de la celda.

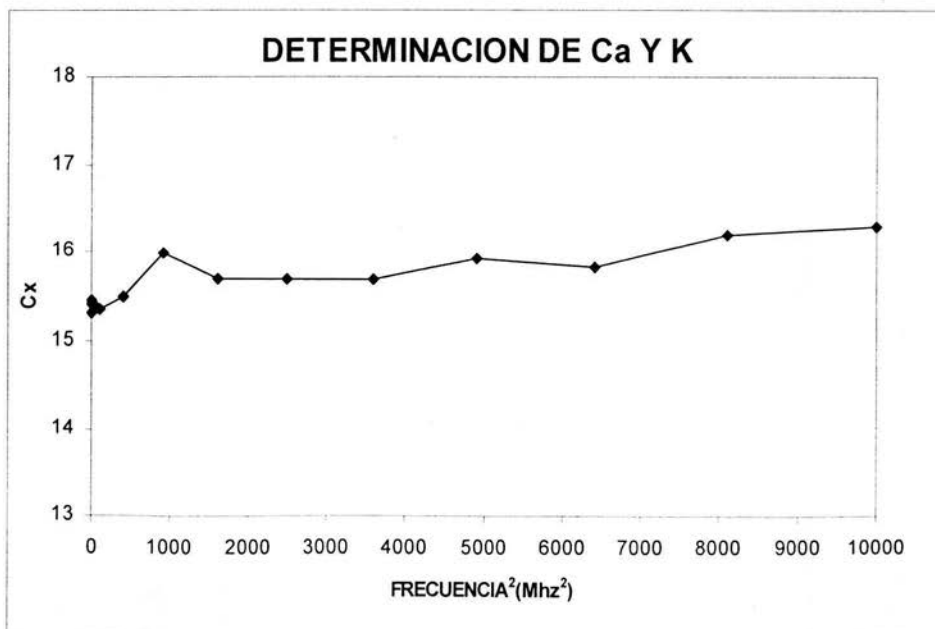
Para determinar dichas constantes es necesario realizar un barrido de frecuencias desde 0.5 a 100 Mhz, con la celda llena de agua bidestilada (generalmente se elige agua, para simplificar, ya que su constante dieléctrica se conoce y tiene un valor igual a 81, y por otro lado no tiene pérdidas de dielectricidad).

Una vez obtenida esta información, se procede a generar una tabla como se muestra a continuación:

METODO DE DETERMINACION DE Ca Y K.

Frecuencia (MHz)	Frecuencia ²	Zm	Θm	Zx	θx	Cx (pf)
0.5	0.25	15630	-85.9	20556.42	-84.61	15.42
1	1	7900	-87.9	10383.67	-87.24	15.31
2	4	3920	-89	5149.98	-88.75	15.45
5	25	1573	-89.6	2066.34	-89.55	15.40
10	100	788	-89.8	1036.15	-89.83	15.36
20	400	391	-89.7	513.75	-89.83	15.49
30	900	260	-89.8	331.67	-89.99	16.00
40	1600	192	-89.9	253.64	-89.87	15.69
50	2500	153.9	-89.7	202.87	-89.92	15.69
60	3600	126	-89.5	169.15	-89.72	15.68
70	4900	106	-89.6	142.77	-89.90	15.92
80	6400	81.6	-89.3	125.70	-89.58	15.82
90	8100	79.1	-89	109.16	-89.33	16.20
100	10000	69.6	-89	97.54	-89.39	16.32

A partir de los datos obtenidos, se procede a graficar la capacitancia en función de la frecuencia (elevada al cuadrado):



Donde:

- La ordenada al origen = $80 C_a$, despejando de la igualdad anterior se obtiene el valor de C_a .
- La pendiente = $(80)^2 * K * C_a$; despejando de la igualdad anterior se determina el valor de K .

Entonces, aplicando una regresión lineal a los valores obtenidos y eliminando a los valores de $f = 2 \times 10^6, 30 \times 10^6, 70 \times 10^6$, se obtiene:

$$a = 15.39726211 \quad b = 8.953414434 \times 10^{-5} \quad r = 0.9696084509$$

los cuales están representados por la siguiente ecuación: $Y = a + bX$

- cálculo de C_a :

Ordenada al origen = $80 * C_a$

$$C_a = \frac{15.39726211}{80} = 0.1924657764$$

$$C_a = 0.1924657764 \text{ pF}$$

- Cálculo de K :

Pendiente = $80^2 * K * C_a$

$$K = \frac{8.953414434 * 10^{-5}}{80^2 * 0.1924657764} = 7.268674106 * 10^{-8}$$

$$K = 7.268674106 * 10^{-8} \text{ Mhz}^{-2}$$

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

$$\sigma = \epsilon_0 \epsilon'' \omega \quad 2.9$$

donde ϵ_0 es la constante de permitividad o la constante dieléctrica del vacío la cual contiene un valor de $8.854187818 * 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} * \text{m}^2$ y la conductividad eléctrica está dada en $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$.

A continuación se presenta paso por paso un ejemplo para el cálculo de la constante dieléctrica, el sistema que se ejemplifica es ZnS-Buffer a una frecuencia de 100Mhz.

Donde:

$$|Z_0| = 326.3\Omega$$

$$|\theta_0| = -89.3^\circ$$

$$|Z_s| = 9.1\Omega$$

$$|\theta_s| = 86.0^\circ$$

primeramente se debe conocer la magnitud real del vector de impedancia:

$$R_x = \frac{(326.3|\cos(-58.7)| - |6.45|\cos(-89.3)) * |6.45| * |326.3|}{(326.3|\cos(-58.7)| - |6.45|\cos(-89.3))^2 + (6.45|\sin(-89.3)| - |326.3|\sin(-85.1))^2} - |9.1|\cos(86) = 26.67165035\Omega$$

$$X_x = \frac{(326.3|\sin(-85.1)| - |127|\sin(-89.3)) * |127| * |326.3|}{(326.3|\cos(-85.1)| - |127|\cos(-89.3))^2 + (127|\sin(-89.3)| - |326.3|\sin(-85.1))^2} - |9.1|\sin(86) = -214.6200417\Omega$$

$$|Z_x| = \sqrt{(26.67165035^2 + (-214.6200417)^2)} = 216.2709856\Omega$$

Una vez conocido el valor real de la impedancia, entonces se prosigue a conocer cual es el ángulo de fase real:

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{-216.270985}{26.67165035} = -82.91595479$$

Posteriormente se deben calcular los valores de R_x y C_x :

$$R_x = \frac{|214.6200417|}{\cos(-82.91595479)} = 1753.66498\Omega$$

$$C_x = -\frac{\sin(-82.91595479)}{628.3185307 * 10^6 * |214.6200417|} * 1 * 10^{12} = 7.302875348 pF$$

Paso a seguir se calcula la permitividad compleja, es decir, la constante dieléctrica y las pérdidas de dielectricidad:

El cálculo de la constante dieléctrica es:

$$\epsilon' = \frac{0.1924657764 + \sqrt{0.1924657754^2 + (4 * 0.1924657764 * 7.268674106 * 10^{-8} * 100^2 * 7.302875348)}}{2 * 0.1924657764 * 7.268674106 * 10^{-8} * 100^2} = 36.951278:$$

El cálculo de las pérdidas de dielectricidad es:

$$\epsilon'' = \frac{1}{1753.66498 * 628.3185307 * 10^6 * 0.1924657764 * (1 + (2 * 36.952745 * 7.268674106 * 10^{-8} * 100^2))} = 4.47502495$$

Por último, se calcula la conductividad eléctrica:

$$\sigma = 8.854187818 * 10^{-12} * 10^{-12} * 4.475028855 * 627.3263346 * 10^6 = 2.4856392 * 10^{-2} \Omega^{-1} m^{-1}$$

Ordenando la información ésta se presenta de la siguiente manera:

Frecuencia (Mhz)	θ_x	Z_x	R_x	C_x	ϵ'	ϵ''	σ
100	-82.91	216.2	1753.6	7.3028	36.951	4.47502	0.0248

CAPITULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

El desarrollo experimental consistió fundamentalmente de dos etapas de caracterización, la primera de ellas tuvo como objetivo el comprobar y asegurar la alta pureza del material a estudiar. Las técnicas aplicadas fueron microscopía de barrido electrónico, realizada en un microscopio Jeol 35CF, y la técnica de espectroscopia de absorción atómica, la cual fue llevada a cabo en el equipo Perkin Elmer 3100. La segunda etapa de caracterización tuvo como objetivo el estudiar las interacciones que ocurren en el sistema ZnS - NaCN - ZnSO₄, a partir de la técnica de impedancia a altas frecuencias, en el equipo Vector Impedance Meter 4193A, Hewlett Packard, el cual proporciona como señal de respuesta el ángulo de fase y la magnitud del vector impedancia, bajo la perturbación de la frecuencia, cubriendo ésta el intervalo de 0.4 a 110 MHz. 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.

Metodología

- Como primer punto de trabajo fue preparada una muestra de esfalerita de 2.5 cm de longitud para la caracterización de microscopía electrónica, por medio de una cortadora de disco de diamante de baja velocidad, Buehler ISOMET 1000, seguido del montaje de la probeta en una resina de colada en frío y su correspondiente análisis en el equipo de microscopía.
- En la etapa siguiente se realizó la preparación del material para ser caracterizado por la técnica de espectroscopia de absorción atómica, así como para la realización del estudio por impedancia a altas frecuencias. Esta consistió en la reducción de tamaño de partícula desde trozos de esfalerita de 3 cm de longitud a 1 cm. La reducción se realizó en una trituradora de quijadas Denver Lab.
- Posteriormente se efectuó la pulverización y clasificación de las partículas de esfalerita de 1 cm a tamaños en el intervalo de -70 a +100 mallas (212-150 μm); esto se realizó utilizando un mortero y las cribas correspondientes.

- Una vez cribado el material, fue separada una muestra de 3g. para la realización del análisis de absorción atómica y material suficiente aproximadamente 150 g para las pruebas de impedancia a altas frecuencias. Este material era conservado en un frasco de vidrio etiquetado.
- Como siguiente paso, se procedió a preparar los electrolitos de estudio. Para simular las condiciones de flotación, a pH 9.1, se prepararon soluciones buffer de borato de sodio.
- Posteriormente fueron preparados los reactivos depresores, siendo estos el NaCN y ZnSO₄ en las concentraciones abajo mostradas:

ZnSO ₄ (M.)	4*10 ⁻⁶	8*10 ⁻⁶	1*10 ⁻⁵	2*10 ⁻⁵
NaCN (M.)	2*10 ⁻⁶	5*10 ⁻⁶	1*10 ⁻⁵	2*10 ⁻⁵

- El paso a seguir fue la preparación de la pulpa. En estudios de adsorción de colectores realizadas por N. Martínez⁽⁵⁾, bajo esta misma técnica, se mostró que la concentración de sólidos en peso de pulpa al 4%, es apropiada para realizar el acondicionamiento en el tubo de ensayo con la respectiva agitación proporcionada en un equipo Ro-tap, ésto es con la finalidad de favorecer el equilibrio sólido-líquido. El porcentaje de sólidos que se usó en la celda fue de 18.18%, debido a que con esto se garantiza el equilibrio líquido-sólido y además, se asegura que la separación que existe entre las dos placas conductoras del capacitor que se forma en la celda, se encuentre totalmente saturada de mineral.
- Debido a que esta fracción es relativamente baja, en el sentido de que físicamente no es muy densa, al vaciar a la celda se perdía una gran cantidad de sólidos, los cuales quedaban adheridos a las paredes del tubo de acondicionamiento. Por lo tanto, se efectuó un ajuste incrementando 0.05 g. más de mineral en la pulpa, con la finalidad de eliminar las pérdidas en el sistema.

- Después de tener la pulpa en el tubo de ensayo de capacidad de 50 ml., se procedió a la realización del acondicionamiento del mineral con el reactivo depresor, utilizando diferentes tiempos (30, 60, 120 y 180 min.), para esto, la pulpa debe presentar una agitación vigorosa para favorecer la interacción entre el mineral y el reactivo. Esto se logró utilizando el Ro-tap, un recipiente (en este caso el pan), y una base para fijar a los tubos de ensayo.

- Una vez acondicionada la pulpa en los tubos de ensayo, el paso siguiente era vaciar la pulpa a la celda. Esto se realizaba de la siguiente manera:
 - Para pruebas con pulpas, primero se decanta los sólidos presentes en el tubo de ensayo que contenía a la pulpa, una vez que se observaba dos fases, de inmediato se separa el electrolito (que es de menor densidad) y los sólidos son vaciados a la celda de medición en forma rápida y cuidadosa.
 - Para pruebas con electrolito, se adiciona únicamente la muestra del electrolito en estudio dentro de la celda de medición.
 - Para pruebas con licor, se decanta los sólidos y el licor es vaciado a la celda de medición.

- Posteriormente se realizaban las conexiones correspondientes de la celda con el equipo encendido, de acuerdo a la Figura No. 3.1

- La celda era colocada en la base de medición y se dejaba reposar al sistema durante 2 minutos, con el objeto de favorecer la separación de fases (mineral-solución). Una vez que se tenía en la celda el 18.18% sólidos, se dejaba decantar la pulpa otros 3 minutos, para asegurar que se obtendría el equilibrio de fases en el sistema.

- Teniendo el sistema listo, se realiza el barrido a las siguientes frecuencias: 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 MHz., como se mencionó con anterioridad, se obtenían los ángulos de fase y la magnitud del vector impedancia para cada frecuencia.
- Una vez terminada las mediciones, se procedía a limpiar perfectamente la celda, esto después de cada experimentación. De esta manera se evitaron errores por contaminación.

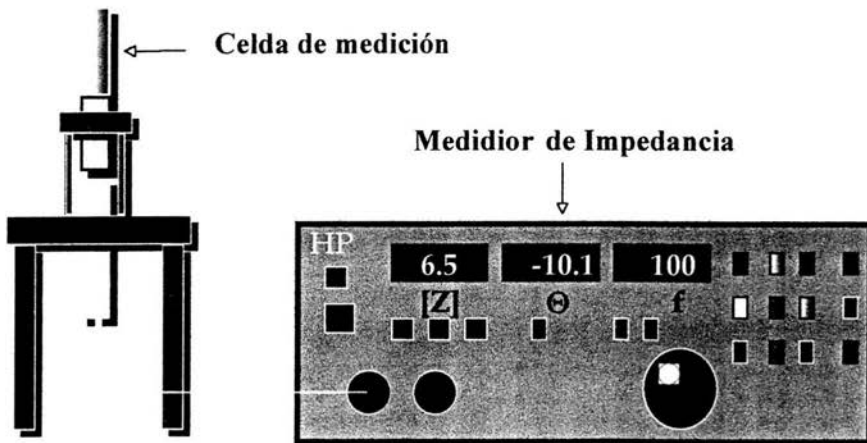
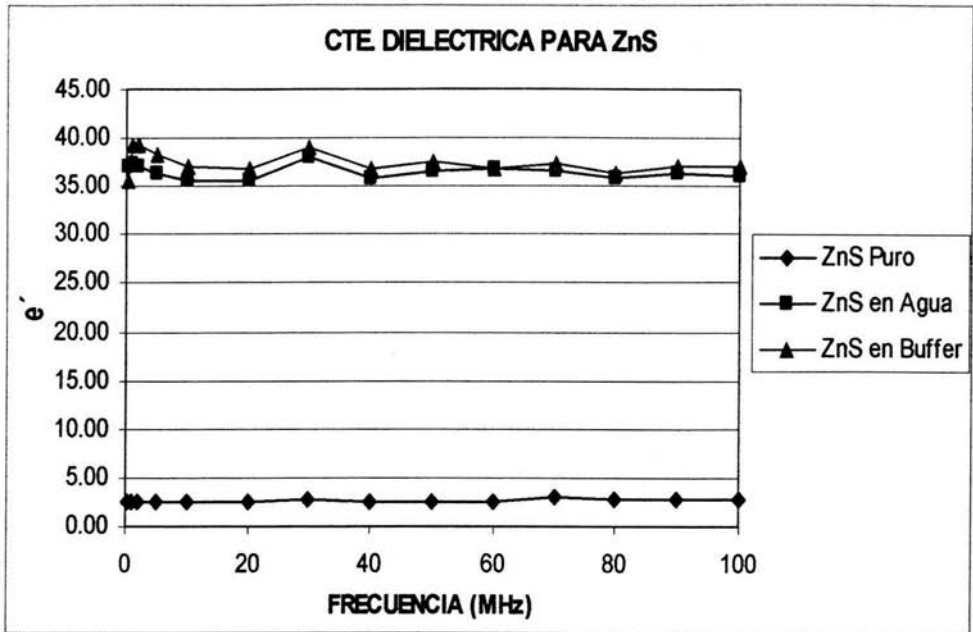


Figura 3.1 Arreglo del medidor (Vector Impedance Meter 4193A, Hewlett Packard) de impedancia a altas frecuencias- celda de medición

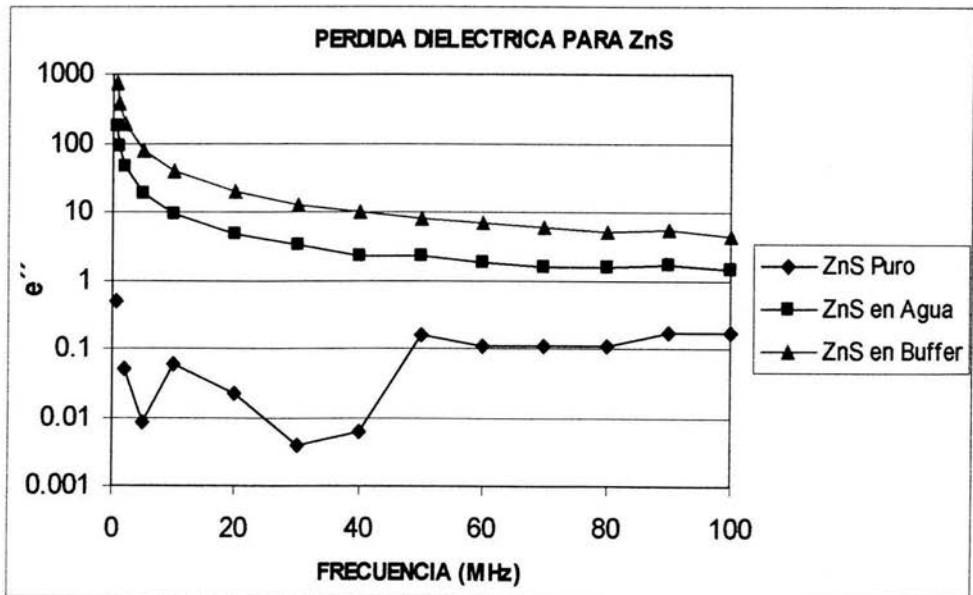
ESTUDIOS REALIZADOS

- 1) Estudio de constantes dieléctricas y conductividad de los reactivos depresores $ZnSO_4$ y $NaCN$ a diferentes concentraciones.
- 2) Estudio de constantes dieléctricas y conductividad del mineral de esfalerita, acondicionado con $ZnSO_4$, a diferentes concentraciones con tiempos de acondicionamiento de 1 y 2 horas.
- 3) Estudio de constantes dieléctricas y conductividad del mineral de esfalerita acondicionado con $NaCN$ a diferentes concentraciones con tiempos de acondicionamiento de 1 y 2 horas.
- 4) Estudio de constantes dieléctricas y conductividad de los electrolitos acondicionados durante 1 y 2 horas con mineral de esfalerita.
- 5) Estudio de constantes dieléctricas y conductividad del mineral de esfalerita acondicionado con una mezcla de $ZnSO_4$ y $NaCN$ a concentraciones a las cuales se obtuvieron mejores propiedades dieléctricas en base al fenómeno de depresión.
- 6) Para fines comparativos, de análisis y evaluación se presentan las gráficas 3.1, 3.2 y 3.3 con resultados de valores de dielectricidad, pérdida dieléctrica y conductividad para el mineral ZnS en presencia de agua y solución buffer, en estudios realizados por N. Martínez₍₁₀₎.

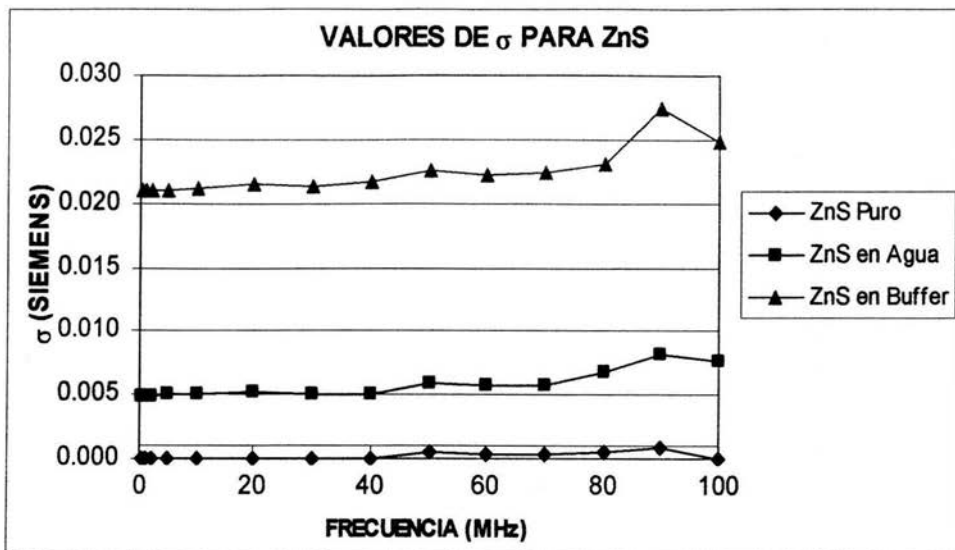
Gráfica 3.1 Constante Dieléctrica de ZnS en diferentes medios, N. Martínez₍₁₀₎.



Gráfica 3.2 Pérdida de Dielectricidad de ZnS en diferentes medios, N. Martínez₍₁₀₎.



Gráfica 3.3 Conductividad Eléctrica de ZnS en diferentes medios, N. Martínez₍₁₀₎.



CAPITULO IV

RESULTADOS

RESULTADOS.

Para facilitar la comprensión de los resultados, se hicieron las siguientes consideraciones:

- Los reactivos depresores ($ZnSO_4$ y $NaCN$) que no han estado en contacto con el mineral se denominan Electrolitos.
- Los reactivos depresores ($ZnSO_4$ y $NaCN$) que estuvieron en contacto con el mineral a un determinado tiempo se nombran como Licores.
- El mineral (ZnS) expuesto a diferentes intervalos de tiempo de acondicionamiento con reactivos depresores ($ZnSO_4$ y $NaCN$) se denomina Sistema o Pulpa.

De esta forma fueron realizadas las pruebas de los estudios antes citados y los resultados se presentan de la siguiente forma:

1. Inicialmente se presentan los resultados gráficos de valores de constante dieléctrica y conductividad vs concentración de reactivo depresor ($ZnSO_4$ y $NaCN$), para electrolitos, pulpas y licores a 100 MHz, con tiempos de acondicionamiento de 1 y 2 horas, gráficas 4.1- 4.10.
2. Posteriormente en las graficas 4.11 y 4.12 se presentan los resultados de constante dieléctrica y conductividad vs concentración a la frecuencia de 100 MHz, para electrolitos, pulpas y licores obtenidos con el depresor $NaCN$ a la concentración $2 \cdot 10^{-5}M$ con 30min, 1, 2 y 3horas de acondicionamiento.
3. Finalmente se presentan los resultados gráficos de constante dieléctrica, pérdidas por dielectricidad y conductividad para la mezcla de los depresores $NaCN(1 \cdot 10^{-5}M)$ -

ZnSO₄(2*10⁻⁵M) y NaCN(2*10⁻⁵M)-ZnSO₄(4*10⁻⁵M) a un tiempo de acondicionamiento de 160 minutos (se muestran en las graficas 413-418).

4. El apéndice 1 muestra las gráficas de constante dieléctrica, pérdidas por dielectricidad y conductividad de los electrolitos, pulpas y licores, para cada uno de los depresores utilizados con diferentes concentraciones y tiempos de acondicionamiento
5. En el apéndice 2 se presentan tablas con resultados numéricos de valores de dielectricidad, pérdida dieléctrica y conductividad para electrolitos, pulpas y licores para cada uno de los depresores utilizados, con diferentes tiempos de acondicionamiento.

Los resultados que se presentan se obtienen del estudio de electrolito a diferentes concentraciones, electrolito a diferentes concentraciones que estuvo en contacto con mineral (licor) a un tiempo establecido, y también del mineral en presencia del electrolito a diferentes concentraciones (pulpas) a un tiempo determinado.

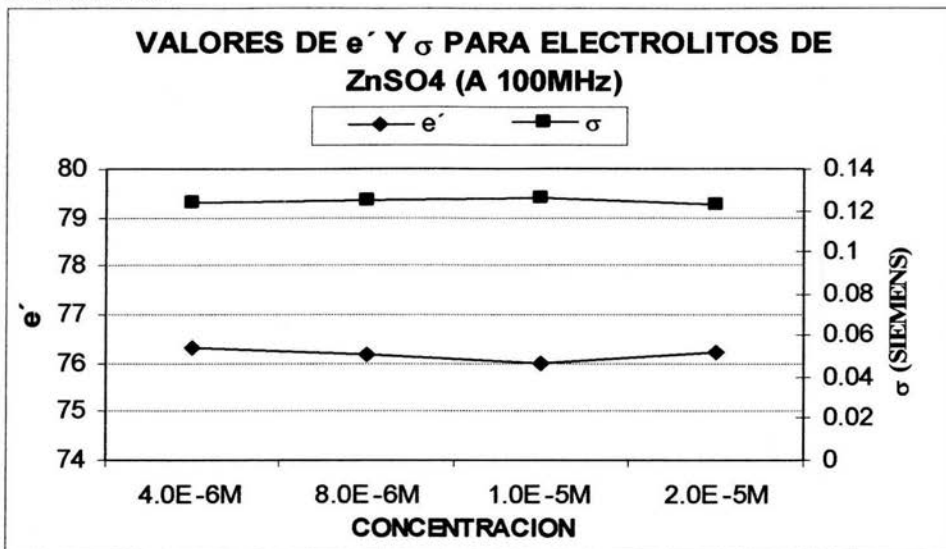
Resultados de la Técnica de Microscopía de Barrido Electrónico

Elemento %	Zn	S	Fe
	68.49	27.83	1.25

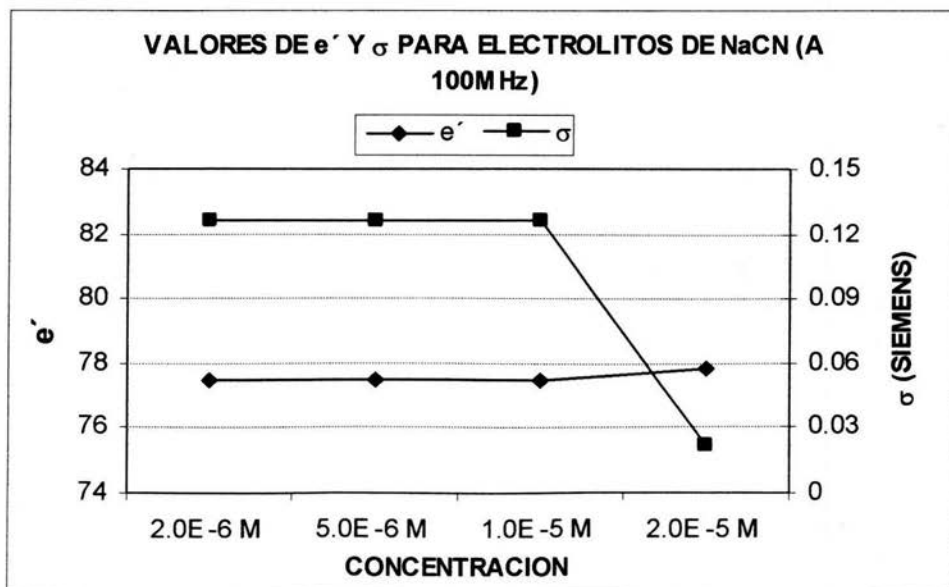
Resultados de la Técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica

Elemento %	Zn	S	Fe
	65.66	----	2

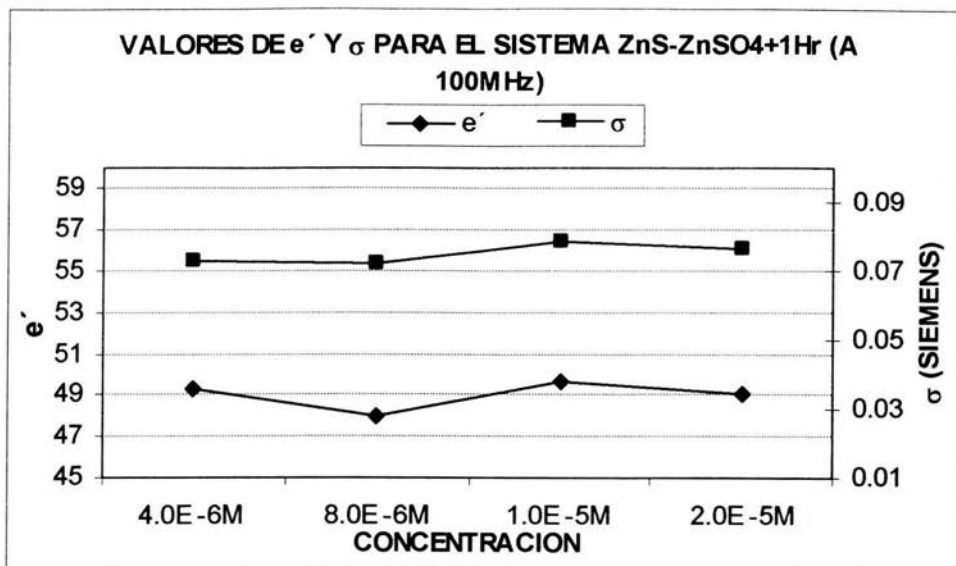
Gráfica 4.1 Valores de ϵ' y σ para electrolitos de $ZnSO_4$ a 100 MHz y diferentes concentraciones.



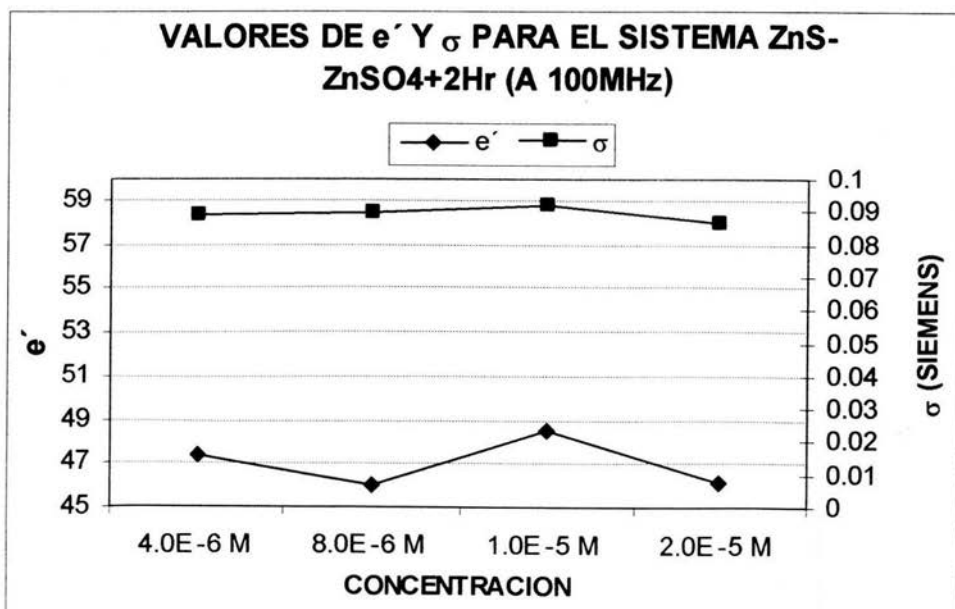
Gráfica 4.2 Valores de ϵ' y σ para electrolitos de $NaCN$ a 1000MHz y diferentes concentraciones.



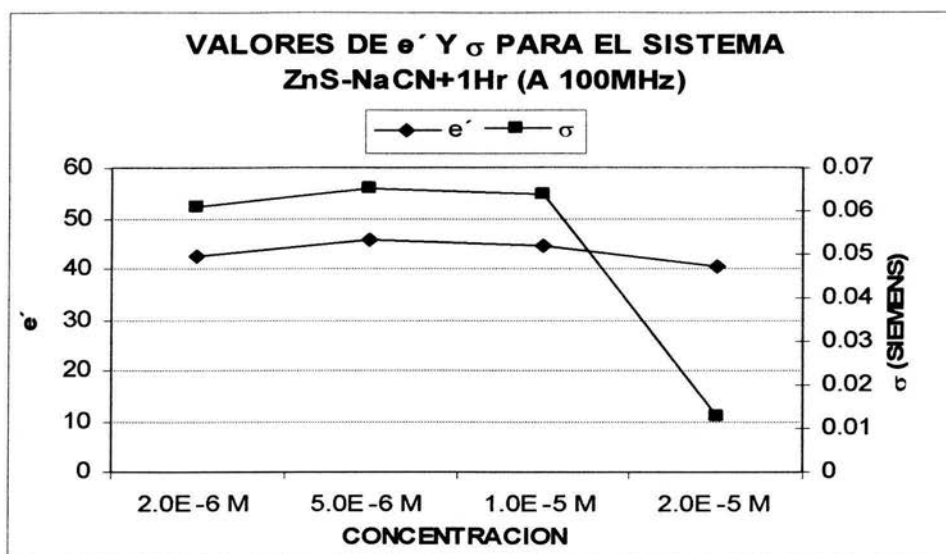
Gráfica 4.3 Valores de ϵ' y σ para el sistema ZnS-ZnSO₄ + 1Hr. acond. a 100MHz.



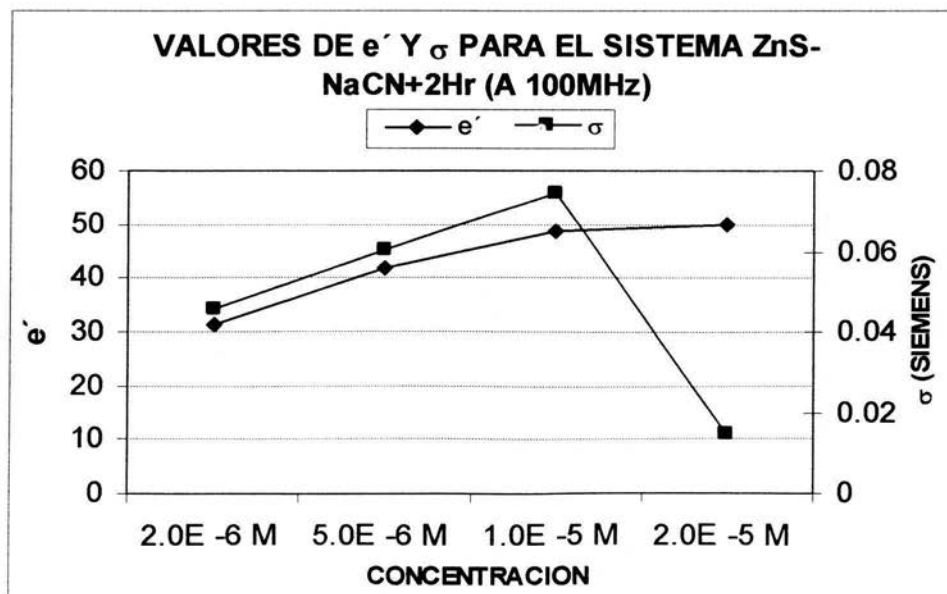
Gráfica 4.4 Valores de ϵ' y σ para el sistema ZnS-ZnSO₄ + 2Hr. acond. a 100MHz.



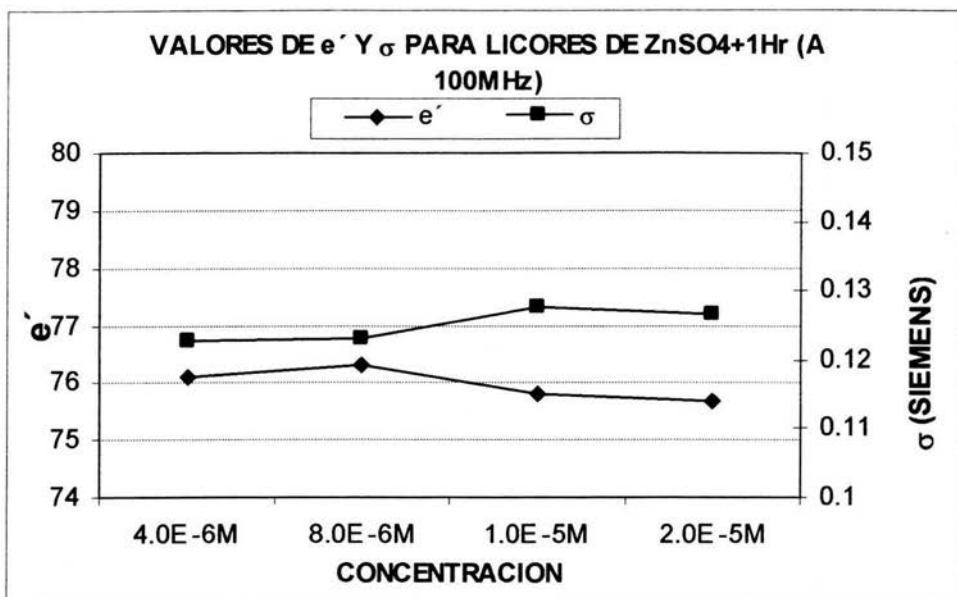
Gráfica 4.5 Valores de ϵ' y σ para el sistema ZnS-NaCN + 1Hr. acond. a 100MHZ.



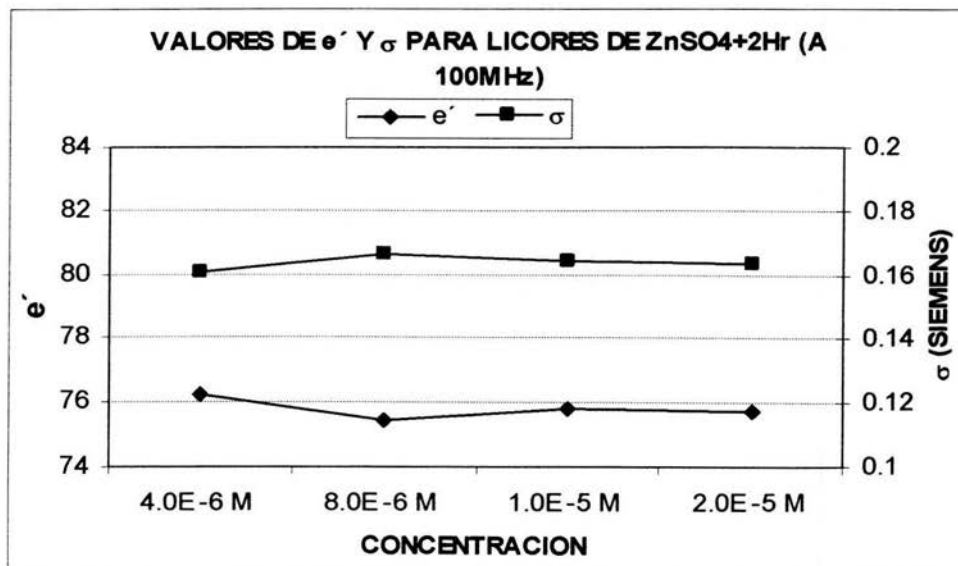
Gráfica 4.6 Valores de ϵ' y σ para el sistema ZnS-NaCN + 2r. acond. a 100MHZ.



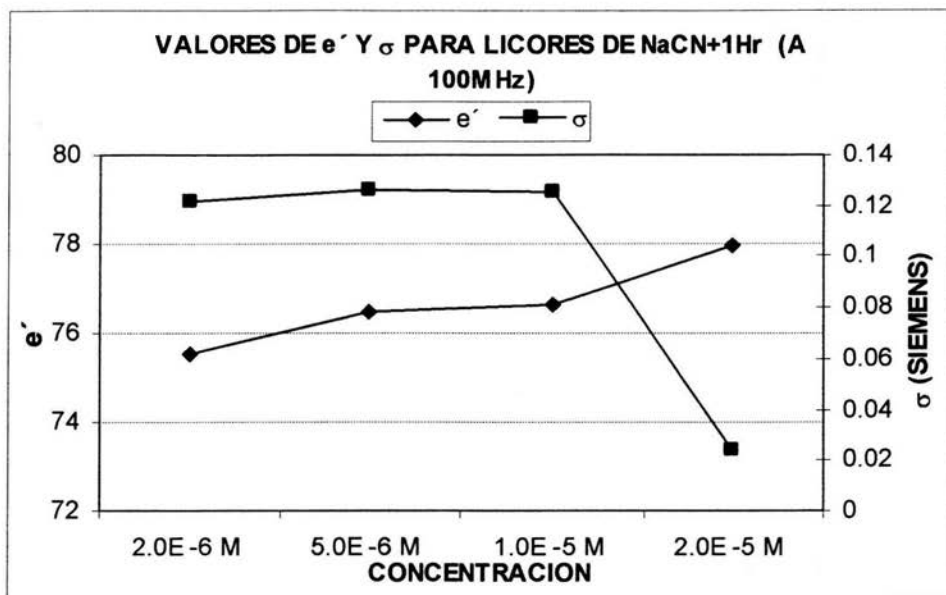
Gráfica 4.7 Valores de ϵ' y σ para licores de ZnSO₄+1Hr. acond. a 100MHZ.



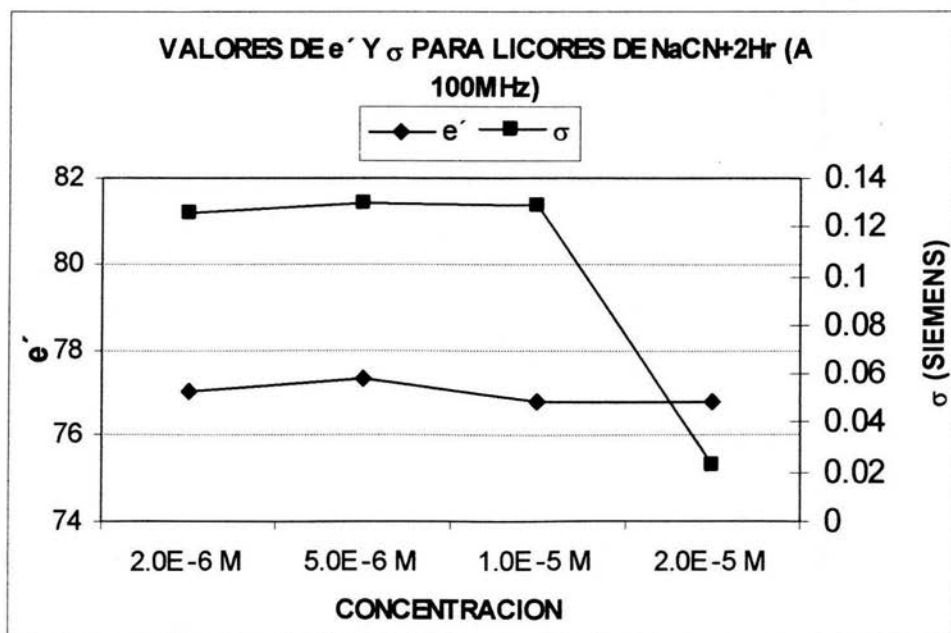
Gráfica 4.8 Valores de ϵ' y σ para licores de ZnSO₄+2Hr. acond. a 100MHZ.



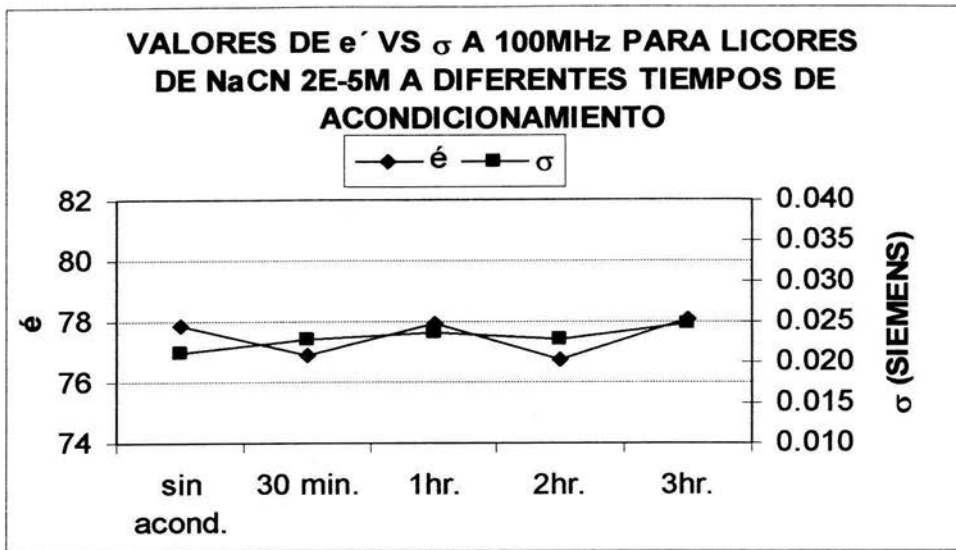
Gráfica 4.9 Valores de ϵ' y σ para licores de NaCN+1Hr. acond. a 100MHZ.



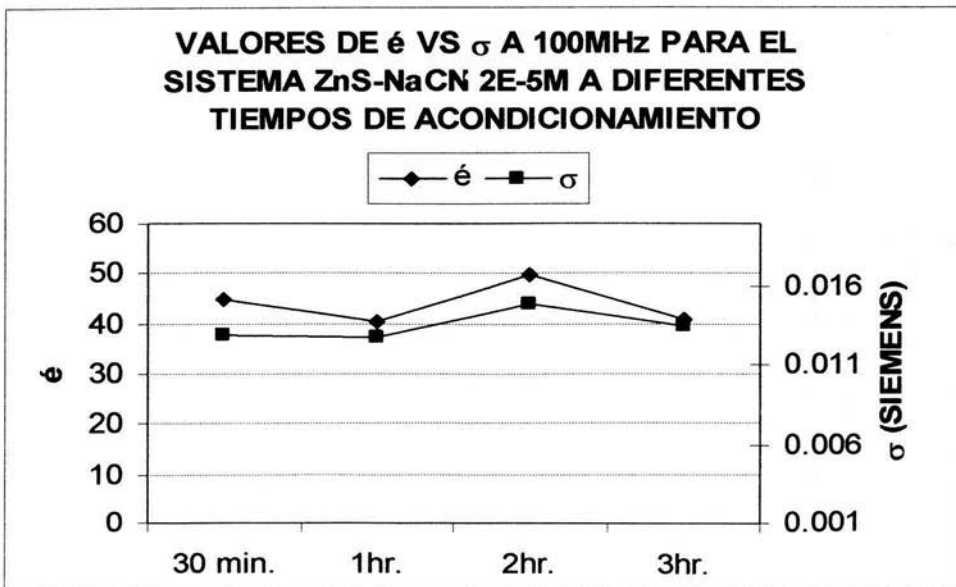
Gráfica 4.10 Valores de ϵ' y σ para licores de NaCN+2Hr. acond. a 100MHZ.



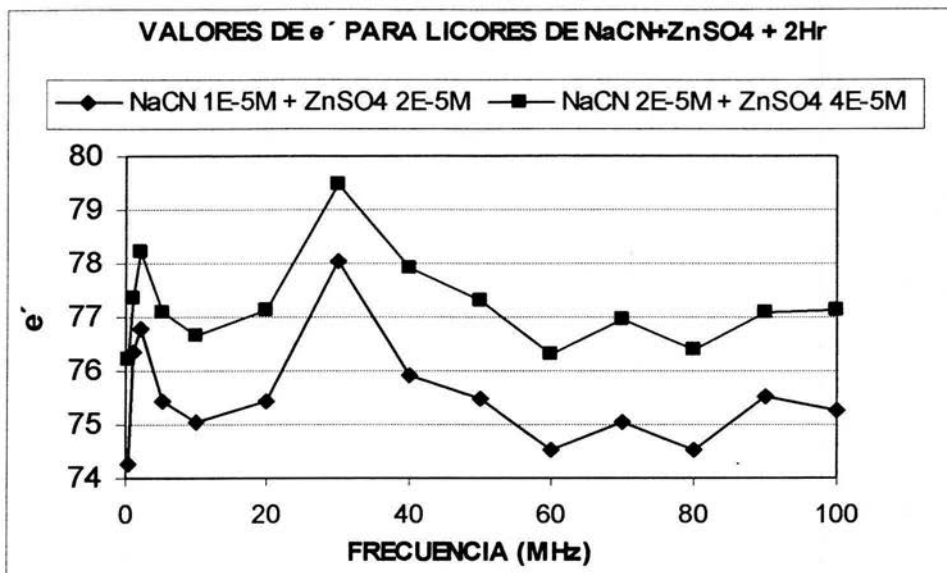
Gráfica 4.11 Valores de ϵ' y σ para licores y electrolito de NaCN [2E-5M] a diferentes tiempos de acondicionamiento.



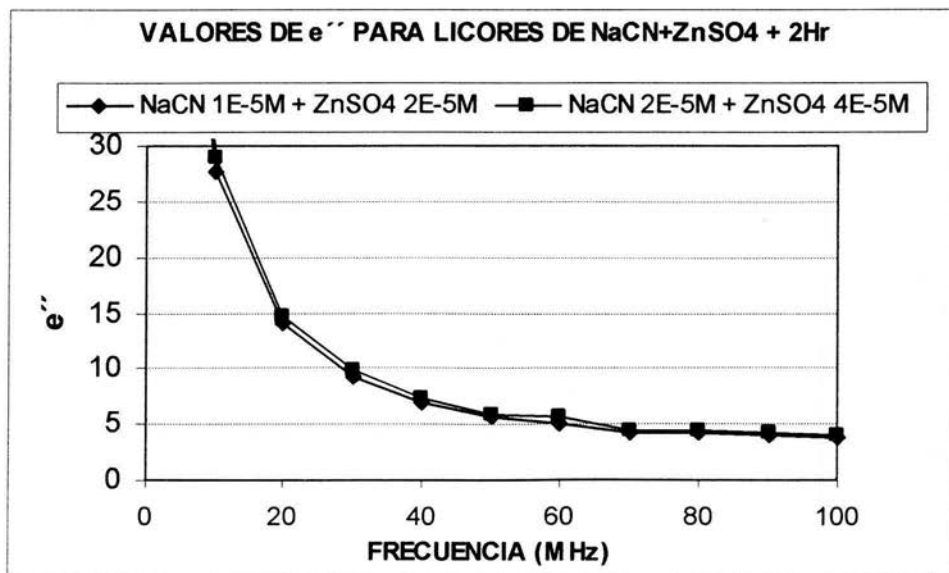
Gráfica 4.12 Valores de ϵ' y σ para el sistema ZnS-NaCN [2E-5M] a diferentes tiempos de acondicionamiento.



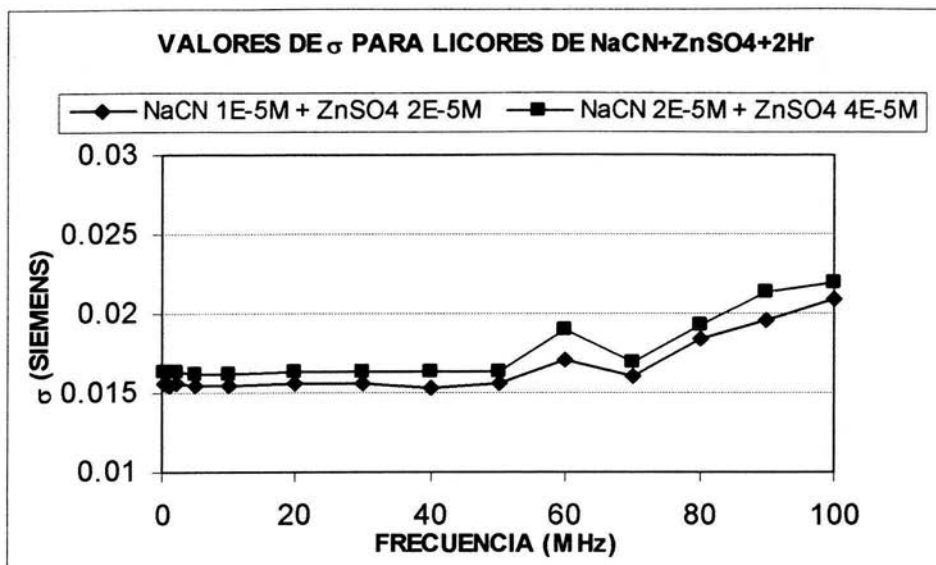
Gráfica 4.13 Constante Dieléctrica para licores NaCN–ZnSO4+2Hr de acond.



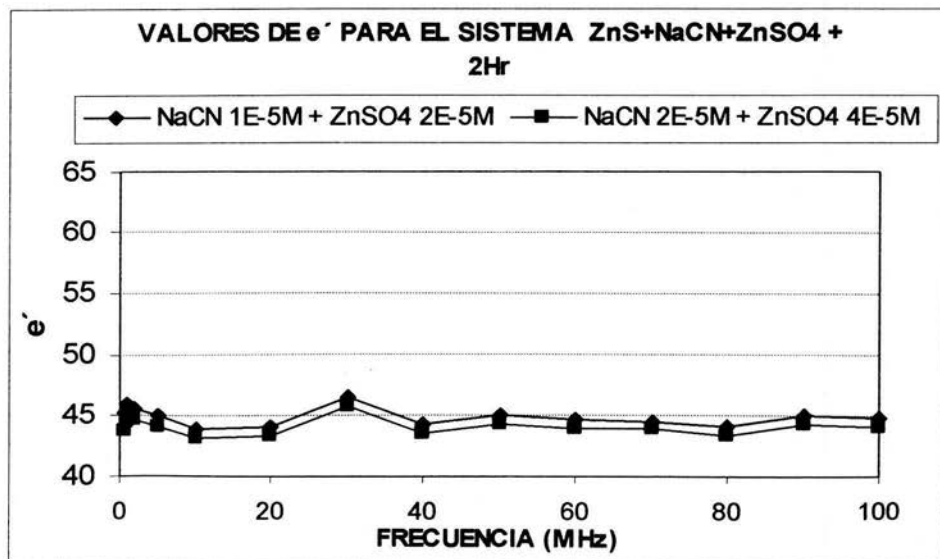
Gráfica 4.14 Pérdida de Dielectricidad para licores de NaC-ZnSO4+2Hr de acond.



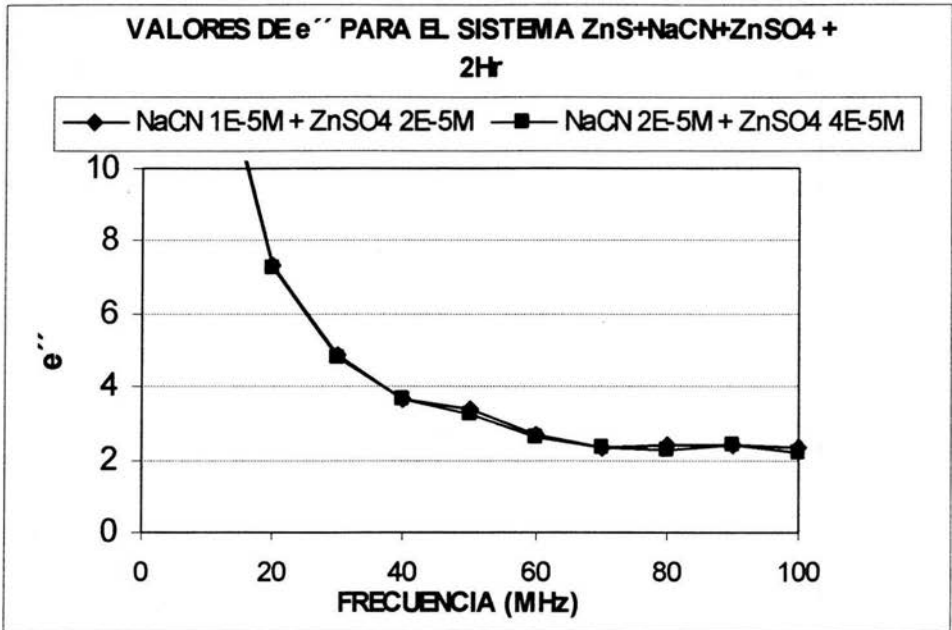
Gráfica 4.15 Conductividad Eléctrica para licores de NaCN-ZnSO₄+2Hr de acond.



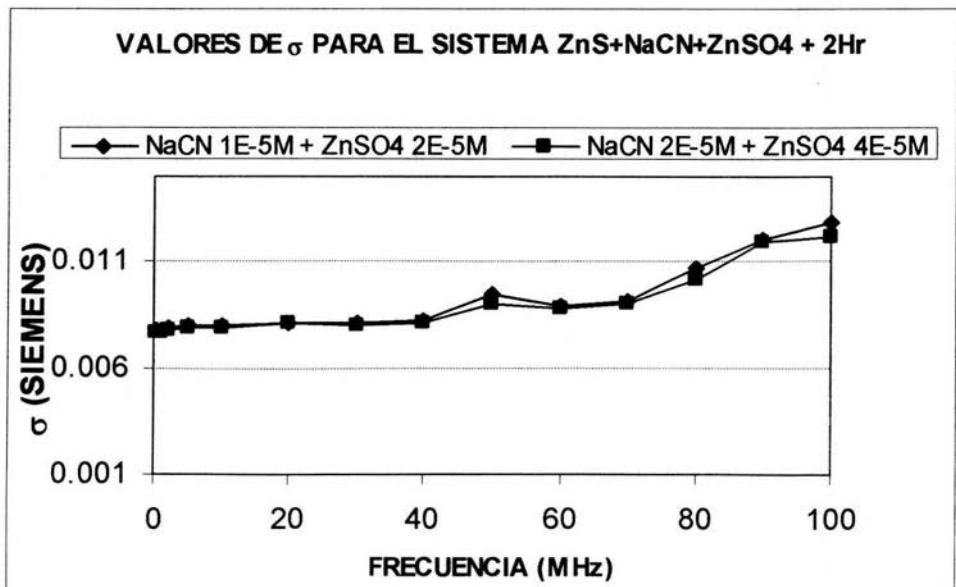
Gráfica 4.16 Constante Dieléctrica para el sistema ZnS-NaCN-ZnSO₄+2Hr de acond.



Gráfica 4.17 Pérdida de Dielectricidad para el sistema ZnS-NaC-ZnSO4+2Hr de acond.



Gráfica 4.18 Conductividad Eléctrica para el sistema ZnS-NaCN-ZnSO4+2Hr de acond.



ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos se presentan de la siguiente forma:

1. El análisis llevado a cabo por la técnica de microscopía de barrido electrónico mostró que los elementos presentes en la muestra del material en estudio fueron: Zn = 68.49% y S = 27.83. Los cuales presentan una relación estequiométrica (Zn 67/S 33) de $Zn/S=2.03$ y de esta manera se puede mencionar que el material en estudio es de alta calidad.
 - El análisis de espectroscopia de absorción atómica detectó a los elementos de Zn, S y Pb con lo cual se puede afirmar que el material en estudio, una esfalerita de alta calidad.
2. Análisis de electrolitos de $ZnSO_4$ ($4 \cdot 10^{-6}M$, $8 \cdot 10^{-6}M$, $1 \cdot 10^{-5}M$, $2 \cdot 10^{-5}M$) y NaCN ($2 \cdot 10^{-6}M$, $5 \cdot 10^{-6}M$, $1 \cdot 10^{-5}M$, $2 \cdot 10^{-5}M$):
 - Los electrolitos de $ZnSO_4$ a diferentes concentraciones mostraron valores de constante dieléctrica muy similares entre sí, con ϵ' promedio de 76.23 ± 0.57 a la frecuencia de 100 MHz. Referente a la propiedad de conductividad, no se presentaron cambios significativos para las diferentes concentraciones de sulfato de zinc, en donde el valor promedio de conductividad $\sigma = 0.152 \pm 0.003$ siemens. (gráfica 4.1).
 - Electrolitos de NaCN: Los valores de la constante dieléctrica y de la conductividad permanecen constantes en el intervalo de las concentraciones de $2 \cdot 10^{-6}$ a $2 \cdot 10^{-5}$ M NaCN, siendo éstos $\epsilon' = 77.56 \pm 0.19$ y $\sigma = 0.10 \pm .052$ respectivamente. Esta desviación en cuanto a conductividad se refiere, se observó a la concentración más elevada de $2 \cdot 10^{-5}M$, ya que se tuvo un fuerte decremento de $\sigma = 0.0212$ siemens, esto debido al efecto de asimetría y electroforético en el incremento de la concentración del cianuro de sodio, ambas propiedades, son comparadas en la gráfica 4.2.

- Se puede observar que las propiedades dieléctricas y conductoras de estos 2 electrolitos, resultan ser de mayor magnitud comparadas a las propiedades del mineral cuando se encuentra solo, en presencia de agua y solución buffer (gráficas 3.1 y 3.3) . A su vez los electrolitos de NaCN son ligeramente mayores que los de ZnSO₄ en cuanto a los valores de constante dieléctrica se refiere y ligeramente menores con respecto a la conductividad, excepto a la concentración 2*10⁻⁵M, que se presentó un valor mínimo de ésta propiedad, debido al efecto de relajación antes mencionado

3. Análisis de los sistemas ZnS + Depresor ZnSO₄ (4*10⁻⁶M, 8*10⁻⁶M, 1*10⁻⁵M, 2*10⁻⁵M) y NaCN (2*10⁻⁶M, 5*10⁻⁶M, 1*10⁻⁵M, 2*10⁻⁵M) + 1 y 2 horas de acondicionamiento.

- Sistemas ZnS + ZnSO₄ (4*10⁻⁶M, 8*10⁻⁶M, 1*10⁻⁵M, 2*10⁻⁵M) + 1 hora de acondicionamiento: En la gráfica 4.3 se observa que no hay variación de ϵ' y σ a diferentes concentraciones de depresor, ya que sus valores promedio fueron de $\epsilon' = 49.0 \pm 0.753$ y $\sigma = 0.074 \pm 0.002$ Siemens. Al comparar estos valores obtenidos con respecto al mineral en ausencia de depresor (gráficas 3.1 y 3.3), las propiedades dieléctricas y conductoras del ZnS acondicionado durante 1 hora están siendo afectadas por el electrolito, debido a que la pulpa presentó valores ligeramente mayores en ambas propiedades, con diferencias de 12 unidades en la constante dieléctrica y 0.049 Siemes a la frecuencia de 100 MHz, con lo que se propone que el mineral de esferita ha adquirido una mayor afinidad por el medio acuoso y por lo tanto puede tener características hidrofílicas.

- Sistema ZnS+ ZnSO₄ (4*10⁻⁶M, 8*10⁻⁶M, 1*10⁻⁵M, 2*10⁻⁵M) + 2 horas de acondicionamiento: En la gráfica 4.4 se observa que los valores de la constante dieléctrica presentan una pequeña oscilación con el incremento en la concentración, dado que $\epsilon' = 47.005 \pm 1.17$ a 100 MHz en todo el intervalo de concentraciones del depresor. Estos valores son ligeramente menores comparados a los de 1 hora de acondicionamiento. La conductividad no mostró variación alguna sobre el mineral para las diferentes concentraciones del depresor, teniendo valores promedio de $\sigma = 0.0892 \pm 0.002$ siemens a 100 MHz. Nuevamente al efectuar la comparación de esta mezcla con el mineral en

solución reguladora y en ausencia de depresor, se puede visualizar que existió una variación de 10 unidades de constante dieléctrica y un mayor incremento $\Delta\sigma = 0.06$ unidades, confirmando así que la interacción de mineral-depresor tuvo un efecto de modificación superficial, brindando a la esfalerita una superficie más conductora y afín al agua.

- De estos resultados se puede observar que al incrementar el tiempo de acondicionamiento a 2 horas entre el mineral y el reactivo depresor, los valores de constante dieléctrica fueron ligeramente menores, mientras que el comportamiento de conductividad esperado, fue mayor a los obtenidos en una hora, lo que significa que el depresor está modificando la superficie del mineral en un grado mínimo, al incrementar el tiempo de acondicionamiento.
- Sistema ZnS + NaCN ($2 \cdot 10^{-6}M$, $5 \cdot 10^{-6}M$, $1 \cdot 10^{-5}M$, $2 \cdot 10^{-5}M$) + 1 hora de acondicionamiento: El comportamiento de la constante dieléctrica, presentó valores promedio $\epsilon' = 44.23 \pm 1.24$, es decir, el efecto de la concentración del depresor sobre los valores de la constante dieléctrica del mineral fue mínimo. En cuanto al comportamiento de la conductividad, se repite nuevamente el efecto obtenido en los electrolitos de NaCN, en donde a las concentraciones menores o iguales a $1 \cdot 10^{-5}M$, no hubo cambios significativos de conductividad, $\sigma = 0.06$ Siemens en promedio. Sin embargo, una vez alcanzado el punto de asimetría a la concentración antes mencionada, existió una muy considerable disminución en la conductividad alcanzando el valor de $\sigma = 0.0128$ Siemens, (gráfica 4.5). Al efectuar la comparación del mineral en solución reguladora en ausencia de reactivo depresor y en presencia de NaCN, se puede analizar que las propiedades del mineral están siendo afectadas o modificadas de dos maneras, una de ellas, mostrando una mayor afinidad por la fase acuosa (hidrofílica) a concentraciones menores o iguales a $1 \cdot 10^{-5}M$ de NaCN. La segunda forma indica que la superficie del mineral adquirió propiedades hidrofóbicas a la concentración de $2 \cdot 10^{-5}M$, ya que los valores de conductividad a esta concentración están por debajo del reportado para cuando se encuentra ausente el depresor y en presencia de la solución reguladora ($\sigma = 0.0128$ Siemens y $\sigma = 0.025$ Siemens respectivamente).

- Sistema ZnS + NaCN ($2 \cdot 10^{-6} \text{M}$, $5 \cdot 10^{-6} \text{M}$, $1 \cdot 10^{-5} \text{M}$, $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$) + 2 horas de acondicionamiento: En la gráfica 4.6, se observa una mayor variación entre los valores de la constante dieléctrica, de tal forma que al incrementar la concentración del depresor se incrementan los valores desde $\epsilon' = 31.37$ hasta $\epsilon' = 49.7$, teniéndose como valor promedio $\epsilon' = 42.95 \pm 8.45$. Los valores de conductividad presentaron un comportamiento similar, que es creciente conforme se aumenta la concentración del depresor, pero presenta nuevamente un fuerte decremento a la máxima concentración de $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$ NaCN, $\sigma = 0.0149$ siemens. Al efectuar la comparación de este depresor con un menor tiempo de residencia, esto es, a 1 hora de acondicionamiento, se puede observar que se repiten exactamente los tipos de modificación superficial, esto es, a concentraciones menores o iguales a $1 \cdot 10^{-5} \text{M}$ NaCN se manifiesta la hidrofiliidad de la esfalerita, mientras que a esta concentración, el material presentaría características hidrofóbicas.
- La constante dieléctrica se ve incrementada con valores ligeramente menores que a los del mineral acondicionado con ZnSO₄ durante 1 y 2 horas. La conductividad presentó valores menores comparados a este último sistema, lo que indica muy probablemente que el efecto de los iones cianuro a la concentración de $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$ NaCN tendrá un menor o poco efecto sobre la depresión de la esfalerita. Sin embargo, es importante mencionar que se llegaría a presentar características de depresión a la concentración de $1 \cdot 10^{-5} \text{M}$ de NaCN, ya que la conductividad obtenida fue $\sigma = 0.074$ Siemens, la cual está prácticamente igual a la conductividad promedio obtenida con el depresor de ZnSO₄ con $\sigma = 0.0749$ Siemens, a una hora de acondicionamiento y con $\sigma = 0.0892$ Siemens con dos horas de acondicionamiento.
- Las propiedades eléctricas de estos dos sistemas son mucho menores y muy diferentes comparadas a las propiedades del mineral en presencia de los reactivos activador (CuSO₄) y colector (KEX), que de acuerdo a N. Martínez⁽⁵⁾ que obtuvo valores máximos de $\epsilon'' = 169$ a 100 MHz en la presencia de éstos, lo que indica que las propiedades hidrofóbicas son mayores principalmente por la interacción que se lleva a cabo entre el Cu⁺² y el XEK, debido a que el ion Cu⁺² presenta una mayor afinidad por el S, en comparación con el Zn²⁺. Por lo que podemos decir que el comportamiento de las propiedades eléctricas del ZnS con

reactivos depresores es el que se esperaba, adquiriendo el mineral características hidrofílicas.

4. Análisis de licores de ZnSO_4 ($4 \cdot 10^{-6}\text{M}$, $8 \cdot 10^{-6}\text{M}$, $1 \cdot 10^{-5}\text{M}$, $2 \cdot 10^{-5}\text{M}$) y NaCN ($2 \cdot 10^{-6}\text{M}$, $5 \cdot 10^{-6}\text{M}$, $1 \cdot 10^{-5}\text{M}$, $2 \cdot 10^{-5}\text{M}$) + 1 y 2 horas de acondicionamiento, con barridos de 0.5 a 100 MHz:

- Licores de ZnSO_4 ($4 \cdot 10^{-6}\text{M}$, $8 \cdot 10^{-6}\text{M}$, $1 \cdot 10^{-5}\text{M}$, $2 \cdot 10^{-5}\text{M}$) + 1hr. de acondicionamiento: Los valores de dielectricidad presentaron una pequeña variación para todo el intervalo de concentraciones del depresor, con valores promedio de $\epsilon' = 74.74 \pm 2.25$, así como los valores conductividad, los cuales tuvieron un valor promedio de $\sigma = 0.15 \pm 0.005$ Siemens, éstos a su vez son muy similares a los valores de conductividad obtenidos en los electrolitos de ZnSO_4 , lo que indica que el mineral no sufrió algún ataque químico considerable por parte del depresor (gráfica 4.7).
- Licores ZnSO_4 ($4 \cdot 10^{-6}\text{M}$, $8 \cdot 10^{-6}\text{M}$, $1 \cdot 10^{-5}\text{M}$, $2 \cdot 10^{-5}\text{M}$) + 2hr de acondicionamiento: Para este sistema los valores de dielectricidad nuevamente presentan una variación mínima, son muy similares a los electrolitos acondicionados durante 1 hora a diferentes concentraciones, en cuanto a conductividad también es nula la variación, pero estos valores son diferentes a los electrolitos ($\sigma = 0.1524$ Siemens en promedio para el electrolito de ZnSO_4 y $\sigma = 0.163$ Siemens en promedio para el licor), por lo que en este caso el mineral está siendo alterado en forma química, puesto que estos electrolitos están adquiriendo mayor conductividad, muy probablemente, por una mínima cantidad de zinc que se disuelve del mineral (gráfica 4.8).
- Referente a la comparación del tiempo de acondicionamiento en dichos licores, se observa que existió una pequeña disminución en cuanto a constante dieléctrica se refiere así como el correspondiente incremento de conductividad eléctrica a un mayor tiempo de

acondicionamiento y de esta manera se indica que existió una ligera lixiviación de sulfuro de zinc al incrementar el tiempo de acondicionamiento.

- Licores de NaCN ($2 \cdot 10^{-6} \text{M}$, $5 \cdot 10^{-6} \text{M}$, $1 \cdot 10^{-5} \text{M}$, $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$) + 1hr de acondicionamiento: En la gráfica 4.9 se puede ver que los valores de la constante dieléctrica y de la conductividad permanecen constantes en el intervalo de las concentraciones de $2 \cdot 10^{-6}$ a $2 \cdot 10^{-5}$ M NaCN, siendo éstos $\epsilon' = 76.63 \pm 1.00$ y $\sigma = 0.09 \pm .05$ respectivamente. Esta desviación en cuanto a conductividad se refiere, se observó nuevamente a la concentración más elevada de $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$, como en el caso de los electrolitos de cianuro de sodio, ya que se tuvo un fuerte decremento de $\sigma = 0.0237$ siemens, esto debido al efecto de asimetría y electroforético en el incremento de la concentración del cianuro de sodio.
 - Licores NaCN ($2 \cdot 10^{-6} \text{M}$, $5 \cdot 10^{-6} \text{M}$, $1 \cdot 10^{-5} \text{M}$, $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$) + 2hr de acondicionamiento: Los valores de la constante dieléctrica a diferentes concentraciones muestran variación mínima teniendo un valor promedio de 76.97 ± 0.285 unidades (gráfica 4.10). El comportamiento de la conductividad presentó el mismo efecto y prácticamente los mismos valores comparados a los licores acondicionados 1hr. y estos a su vez presentan valores ligeramente menores comparados a los electrolitos, lo que indica que existió una muy pequeña disolución del mineral de zinc, provocando que las propiedades dieléctricas y conductoras del licor se vean modificadas ($\sigma = 0.1005$ Siemens en promedio para el electrolito de NaCN y $\sigma = 0.1016$ Siemens en promedio para el licor).
5. Después de analizar los resultados de electrolitos, licores y pulpas a 100 MHz, usando los dos depresores con diferentes concentraciones, se observó que el NaCN a la concentración de $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$, fue uno de los casos que presentó valores ligeramente mas altos de dielectricidad y valores mínimos de conductividad en diferentes casos, por lo que se realizó un estudio adicional, comparando las propiedades dieléctricas del electrolito con licores acondicionados durante 30min, 1hr, 2 hr y 3hrs, y posteriormente se analizan las pulpas con estos tiempos de acondicionamiento y en base a las gráficas obtenidas se observa lo siguiente:

- Comparando las propiedades del electrolito y licores se observan valores muy parecidos de constante dieléctrica, ($\epsilon' = 77.85$ para el electrolito y $\epsilon' = 77.42 \pm 0.68$ para licores a diferentes tiempos de acondicionamiento) (grafica 4.11). Para la conductividad se mantienen valores bajos y con mínima variación, en promedio de $\sigma = 0.023 \pm 0.0009$, lo que indica que a esta concentración no existe disolución del mineral.
 - Para el sistema ZnS-NaCN $2 \cdot 10^{-5}M$, en la grafica 4.12 se observa que los valores de dielectricidad muestran una variación entre $\epsilon' = 40$ y 50 , teniendo como máximo a 2 horas, intermedio a 30min y mínimos para 1hr y 3hrs. Para los valores de conductividad, se tiene una mínima variación entre los valores, siendo ligeramente mayor a 2hrs de acondicionamiento, con valores promedio de $\sigma = 0.013 \pm 0.0009$ Siemens. Estos valores siguen siendo bajos comparados con las concentraciones menores de NaCN y de ZnSO₄, lo que indica muy probablemente que a esta concentración de cianuro, el mineral adquiere propiedades hidrofóbicas y que además no existe la disolución del mineral.
6. Por último para evaluar el efecto de la mezcla de los 2 depresores, se utilizaron las concentraciones donde se tuvieron los valores mas altos de dielectricidad, además de utilizar una concentración de ZnSO₄ ligeramente mas alta, de $4 \cdot 10^{-5}M$ para evaluar su efecto en la mezcla con NaCN, por lo que se analizaron los sistemas ZnS-NaCN ($1 \cdot 10^{-5}M$)-ZnSO₄ ($2 \cdot 10^{-5}M$) y el sistema ZnS-NaCN ($2 \cdot 10^{-5}M$)-ZnSO₄ ($4 \cdot 10^{-5}M$), así como sus electrolitos acondicionados durante 2hrs. De las graficas obtenidas se tiene lo siguiente:
- Para el análisis de los licores, en la grafica 4.13 se observan los valores de dielectricidad, donde son ligeramente mayores para la mezcla a concentraciones altas, promediando 77 a 100mhz comparado a 75 que promedio a concentraciones menores. En cuanto a perdida dieléctrica (grafica 4.14) se tienen valores iguales para las dos mezclas. Para valores de conductividad muestran valores bajos de 0.02 a 100mhz. con una mínima variación (grafica 4.15).

- Para el sistema $\text{ZnS}+\text{NaCN}+\text{ZnSO}_4+2\text{hrs}$, podemos observar en la grafica 4.16 que el comportamiento de los valores de dielectricidad para las 2 mezclas es idéntico (promedio de 44.57 a 100 MHz), así como los valores de perdida dieléctrica y conductividad, que estos últimos presentan valores aun mas bajos comparado con otros sistemas en presencia con mineral, teniendo valores de 0.0125 a 100 MHz de conductividad. Lo que comprueba que usando estas mezclas de electrolitos con la esfalerita, los valores de conductividad disminuyen considerablemente, abatiendo las propiedades hidrofílicas del mineral, esto es, el cianuro a esta concentración elevada continua conservando el efecto de asimetría, dominando sobre el efecto del sulfato de zinc.

CONCLUSIONES.

Existe una modificación superficial del mineral de esfalerita (ZnS), con la adición del reactivo depresor sulfato de zinc, detectada por las constantes dieléctricas y conductividad, obtenidas por la técnica de impedancia a altas frecuencias.

No existe una variación considerable de la constante dieléctrica y de conductividad en el intervalo de concentraciones de ZnSO_4 estudiado. Sin embargo, existe un aumento de 12 unidades de constante dieléctrica y de 0.05 Siemens de conductividad, con respecto a un mineral en ausencia de depresor, lo cual indica una modificación importante en las propiedades superficiales de la esfalerita.

Las propiedades superficiales de la esfalerita en cuanto a depresión se refiere, se ven favorecidas por el incremento en el tiempo de acondicionamiento, ya que los valores de constante dieléctrica disminuyen con el correspondiente aumento de la conductividad eléctrica sobre el mineral.

La concentración óptima que se propone para la depresión de la esfalerita es $1 \cdot 10^{-5}$ M. ZnSO_4

Existe una modificación superficial del mineral de esfalerita (ZnS), con la adición del reactivo depresor cianuro de sodio, detectada por las constantes dieléctricas y conductividad, obtenidas por la técnica de impedancia a altas frecuencias.

El mineral de ZnS se ve afectado por la variación en la concentración del cianuro de sodio a través de dos mecanismos; a concentraciones menores de $1 \cdot 10^{-5}$ M no hay variación en la constante dieléctrica así como en la conductividad. Sin embargo, se presenta un incremento de 5 unidades de constante dieléctrica y de .035 Siemens de conductividad, con respecto a un mineral en ausencia de depresor, lo cual indica una modificación importante en las propiedades superficiales de la esfalerita.

A concentraciones iguales o mayores a $2 \cdot 10^{-5}$ M. NaCN se inhibe el comportamiento de hidrofiliidad, el cual es dado por el efecto de asimetría del cianuro con la correspondiente disminución de conductividad eléctrica.

El incremento en el tiempo de acondicionamiento del NaCN afecta a las propiedades superficiales del sulfuro de zinc proporcionando características más hidrofílicas a concentraciones por debajo de $2 \cdot 10^{-5} \text{M}$.

La concentración óptima de propuesta para deprimir a la esfalerita es de $1 \cdot 10^{-5} \text{M}$. NaCN

El efecto de la mezcla de depresores ZnSO_4 y NaCN en las concentraciones experimentadas sobre el ZnS es el de inhibir la hidrofílicidad, es decir, no se obtendrá una depresión sobre la esfalerita.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Castro Flores and Jaime Alvarez Moisan. Froth Flotation, Editorial Society of Mining Engineers of AIME, New York, 1962.
2. John O'M. Bockris y A Molya. Electroquímica Moderna.
3. Purcell E. M. Electricidad y Magnetismo Vol. 2, Segunda edición, Editorial Reverte S. A., España 1990.
4. Maurice C. Fuerstenau, Jan D. Miller, Martín C. Kuhn. Chemistry of Flotation, Editorial AIME, New York 1970.
5. Zavala M. Manual de Flotación, , Septiembre 1962.
6. Joseph Newton. Extractive Metallurgy, Editorial Jhon Wiley & Sons, Inc.
7. J. D. Gilchrist. Extraction Metallurgy Trid Edition, Editorial Pergamon Press.
8. C. H. Mathewson. Zinc The Science and Technology of the Metal, Its Alloys and Compound Editorial Reinhold Publishing Corporation.
9. Prof. V. A. Glembotskii. Flotation, Editorial Primary Sources. New York 1972.
10. Martínez Hernández Nicolás. Estudio de Dielectricidad del activador CuSO_4 y el Colector XEK Sobre ZnS Bajo las Condiciones de Flotación, Tesis de licenciatura, México 1997, Facultad de Química, UNAM.

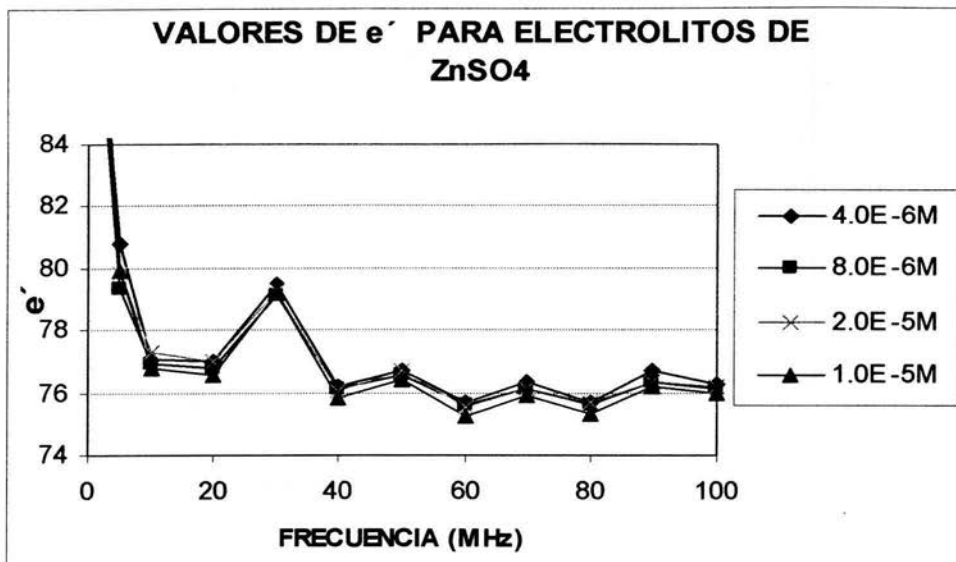
11. J. Bessiere and A. Etahiri. Dielectrical Analysis of Xanthate Adsorption on Galena in the Presence of Dextrin, *International Journal of Mineral Processing*, 38 (1993), pages 125-139.
12. A. Etahiri, B. Humbert, K. El Kacemi, B Marouf, J Bessiere. Dielectric Study of Sodium Dodecyl Sulphate (SDS) Adsorption onto Galena, *International Journal of Mineral Processing*, 52 (1997), pages 49-63.
13. L. Coudurier, D. W. Hopkins, I. Wilkomirsky. *Fundamentals of Metallurgical Processes*, 2nd Edition, Editorial Pergamon, pages 120-130.
14. Arthur F. Taggart. *Handbook of Mineral Dressing Ores and Industrial Minerals*, Wiley Handbook Series. Sec.12 pages 98-130
15. Samuel Glasstone. *Thermodynamics for Chemists*, Fifth Printing, D. Van Nostrand Company, Inc., pages 228-237
16. Octave Levenspiel. *Ingeniería de las Reacciones Químicas*, Editorial Reverté, S. A., pages 395-420
17. McKelvey J. P. and Grotch Howard, *Física para Ciencias e Ingeniería* , Tomo 2, Editorial Harla, México 1981, pages 596-604
18. Thiebaut, J. M., Chlihi K., Bessiere J., Roussy G. 1989. Dielectric study of activation of blend with cupric ions. *Modelisation J. Electroanalysis Chemical*. 3262, 131-144
19. Francis W. Sears, Mark W. Zemansky and Hugh D. Young., *Física Universitaria*, Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, México D.F. 1986, pages 599-604
20. John O'M. Bockris, *Surface Electrochemistry*, pages 95 – 97.

21. C. B. Gill, Metalúrgia Extractiva no Ferrosa, Editorial Limusa 1989, pags 287 – 325.
22. Robert G. Krieger, Guía de Electrónica Práctica, McGraw W-Hill, pags 40 – 65.

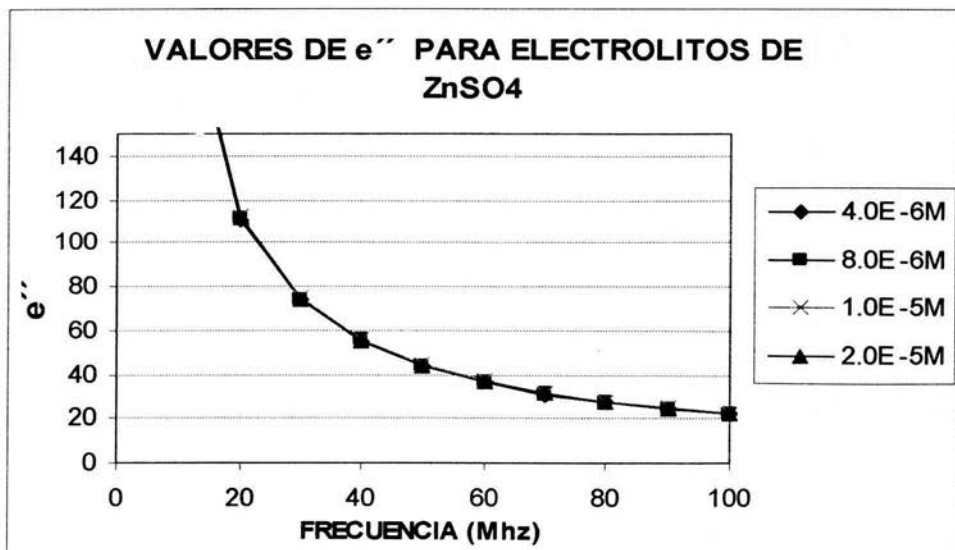
APENDICE 1

GRAFICAS

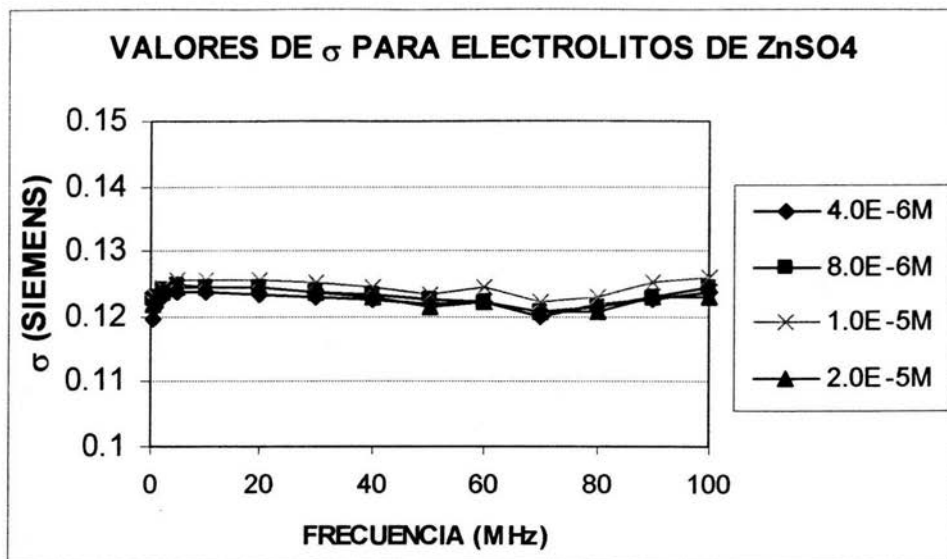
Gráfica 4.1 Cte. Dieléctrica de ZnSO₄ a diferentes concentraciones.



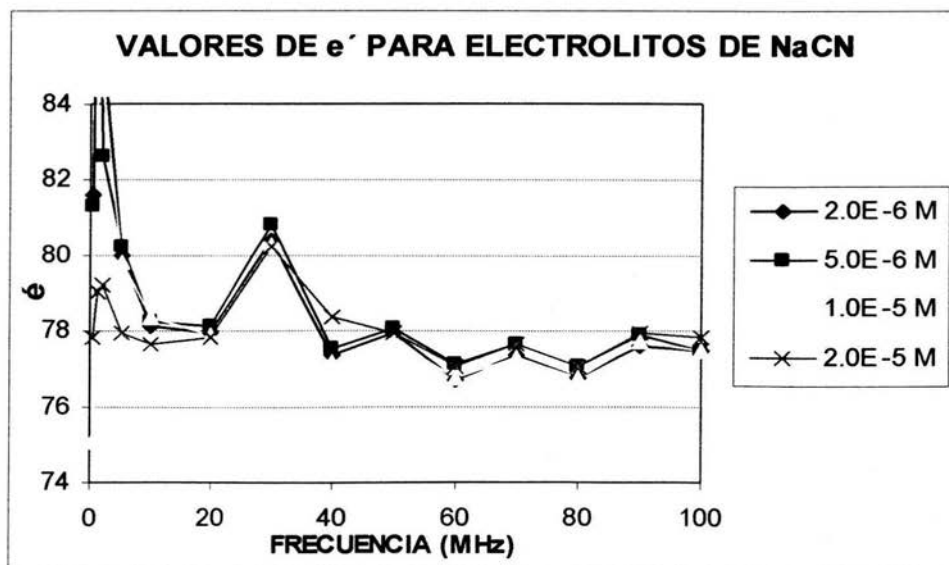
Gráfica 4.2 Pérdida de Dielectricidad de ZnSO₄ a diferentes concentraciones.



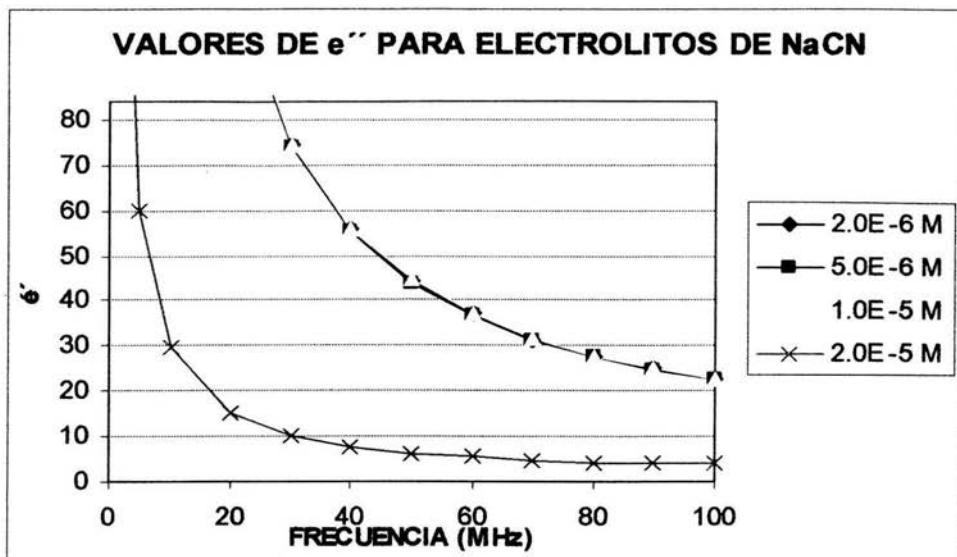
Gráfica 4.3 Conductividad Eléctrica de ZnSO₄ a diferentes concentraciones.



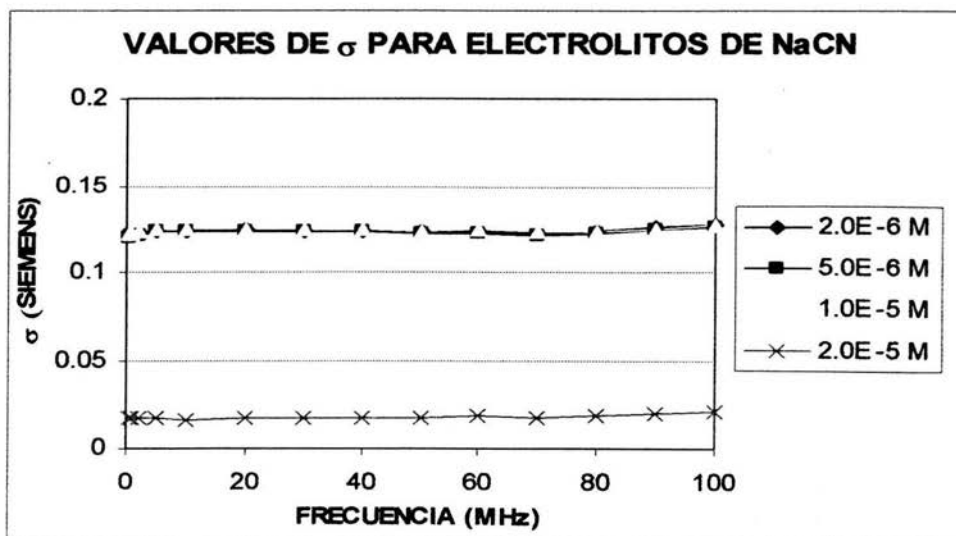
Gráfica 4.4 Cte. Dieléctrica de NaCN a diferentes concentraciones.



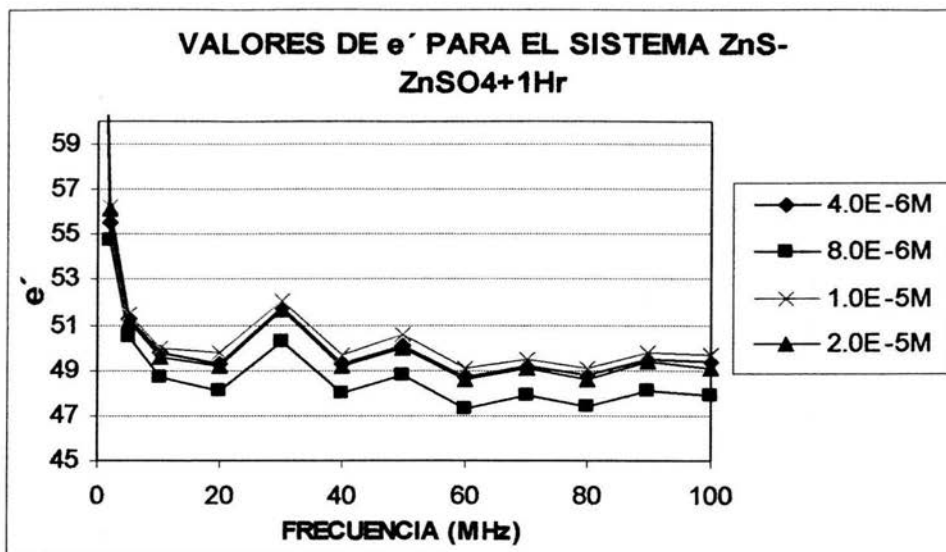
Gráfica 4.5 Pérdida de Dielectricidad de NaCN a diferentes concentraciones.



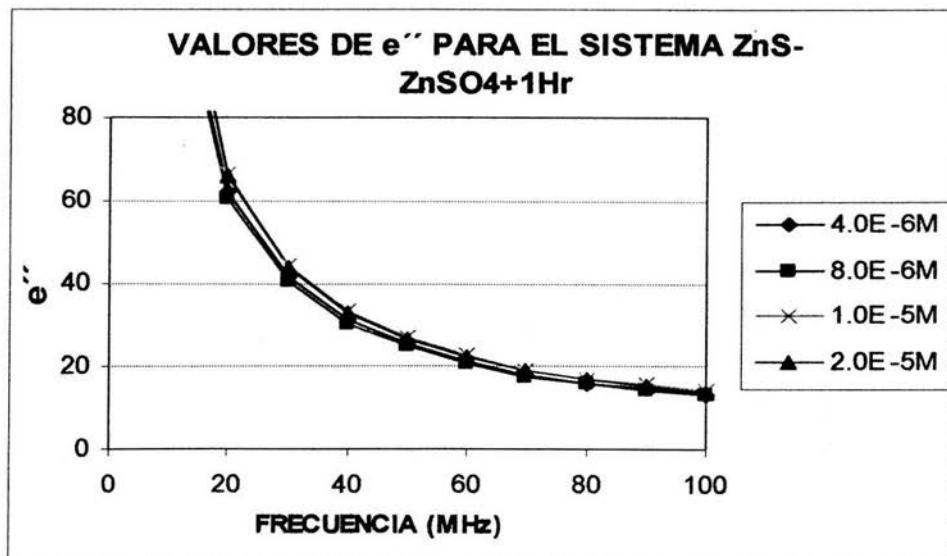
Gráfica 4.6 Conductividad Eléctrica de NaCN a diferentes concentraciones.



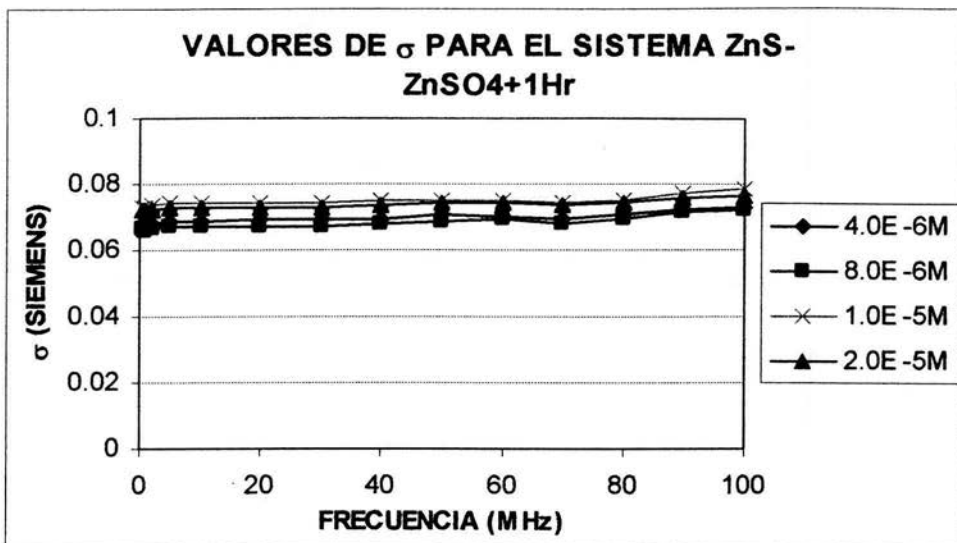
Gráfica 4.7 Cte. Dieléctrica para el sistema ZnS + ZnSO4 + 1Hr. de acond.



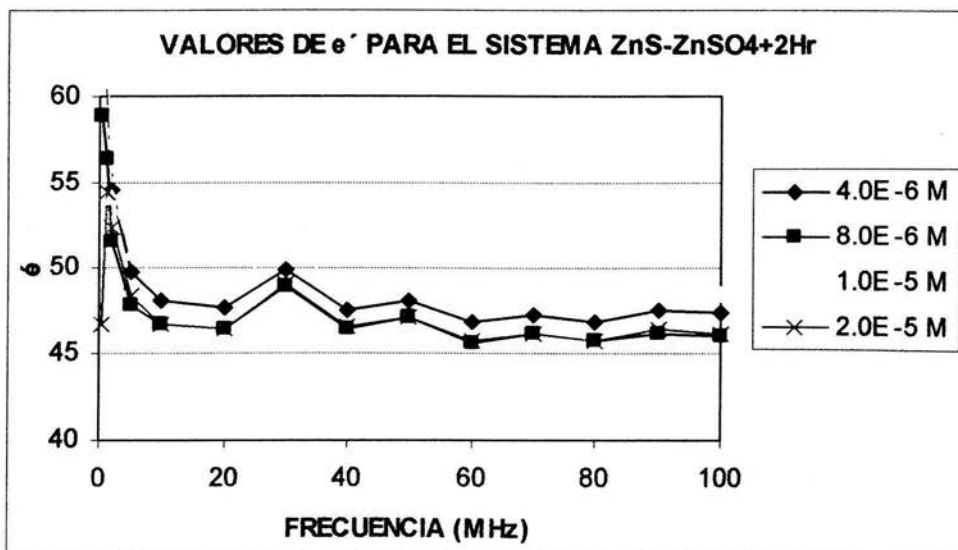
Gráfica 4.8 Pérdida de Dielectricidad para el sistema ZnS + ZnSO4 + 1Hr. acond.



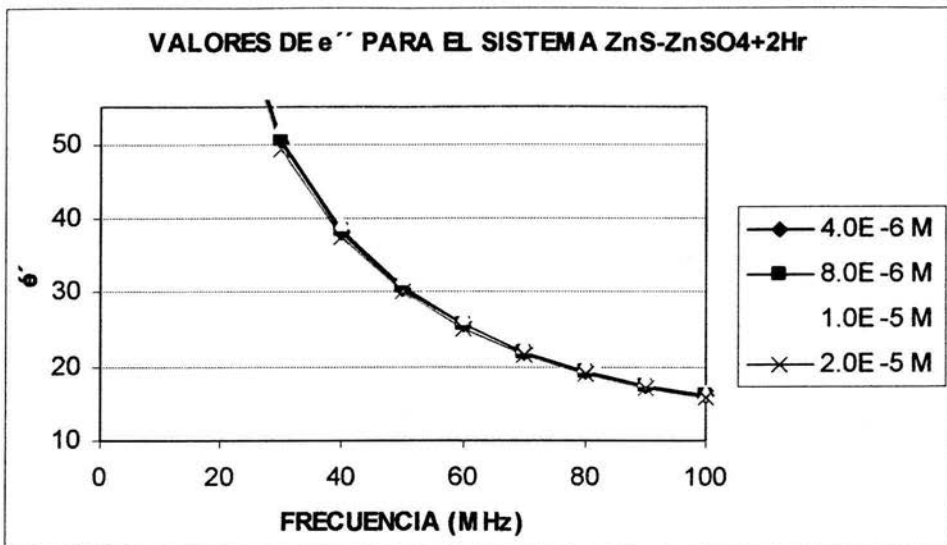
Gráfica 4.9 Conductividad Eléctrica para el sistema ZnS + ZnSO4 + 1Hr. acond.



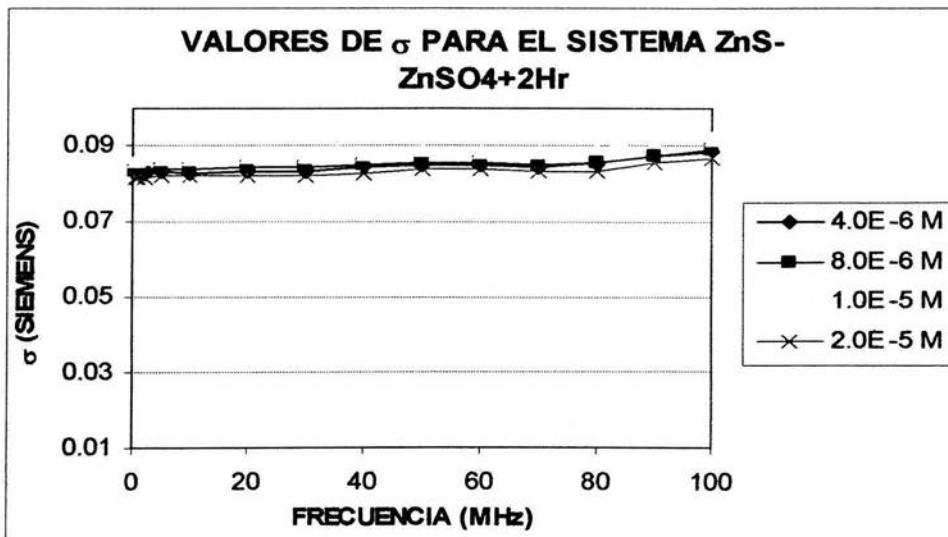
Gráfica 4.10 Cte. Dieléctrica para el sistema ZnS + ZnSO4 + 2Hr. de acond.



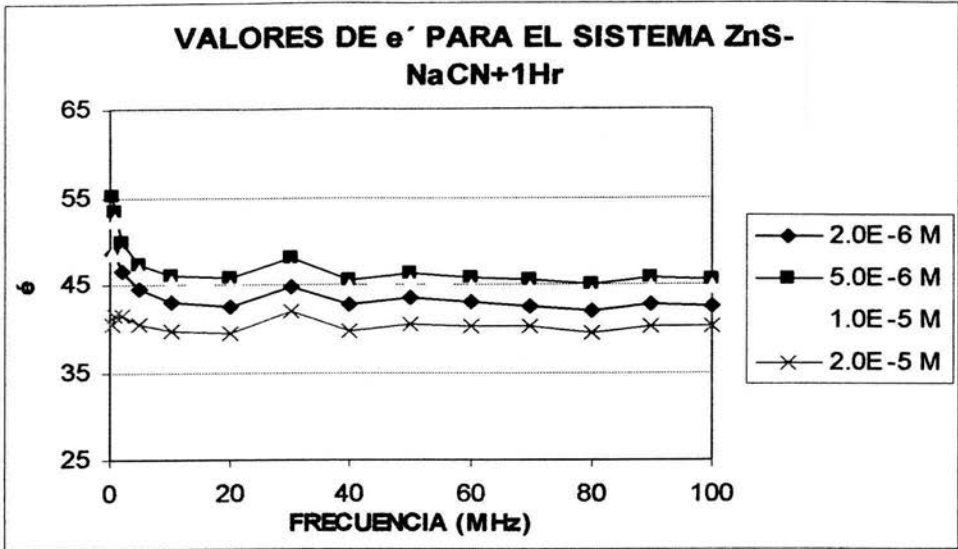
Gráfica 4.11 Pérdida de Dielectricidad para el sistema ZnS + ZnSO4 + 2Hr. de acond.



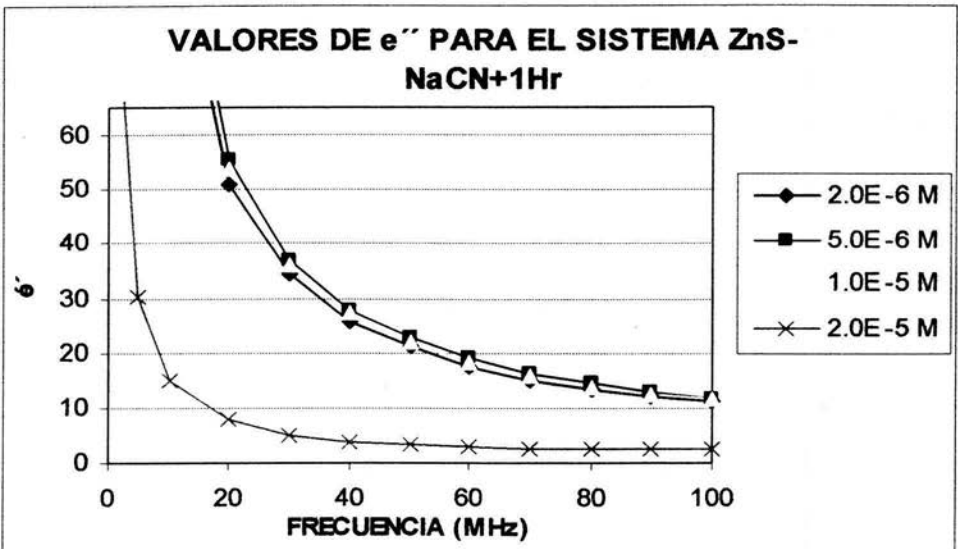
Gráfica 4.12 Conductividad Eléctrica para el sistema ZnS + ZnSO4 + 2Hr. acond.



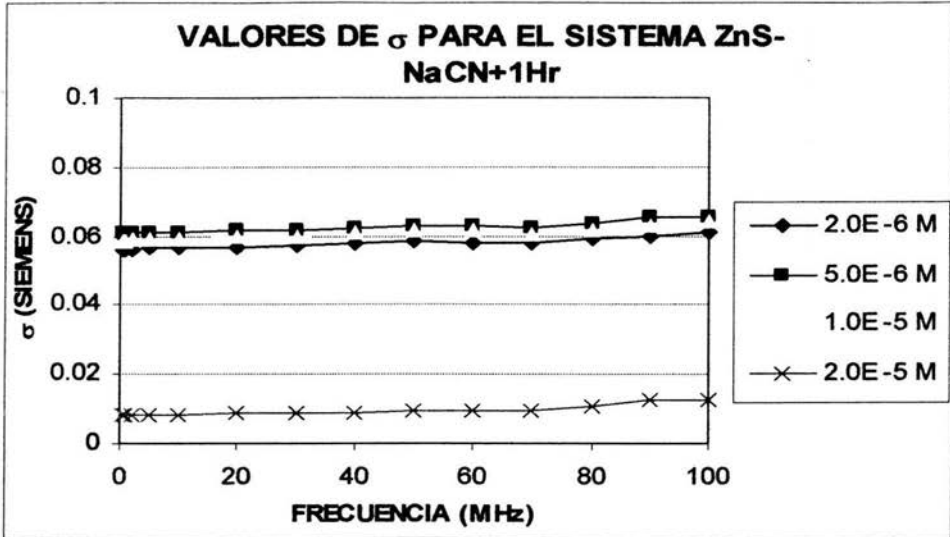
Gráfica 4.13 Cte. Dieléctrica para el sistema ZnS - NaCN + 1Hr. de acond.



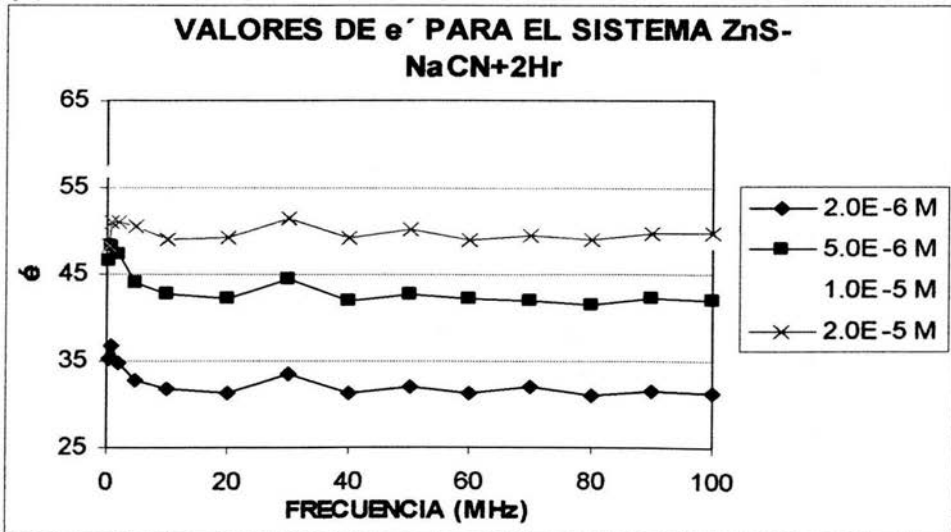
Gráfica 4.14 Perdida de Dielectricidad para el sistema ZnS - NaCN + 1Hr. de acond.



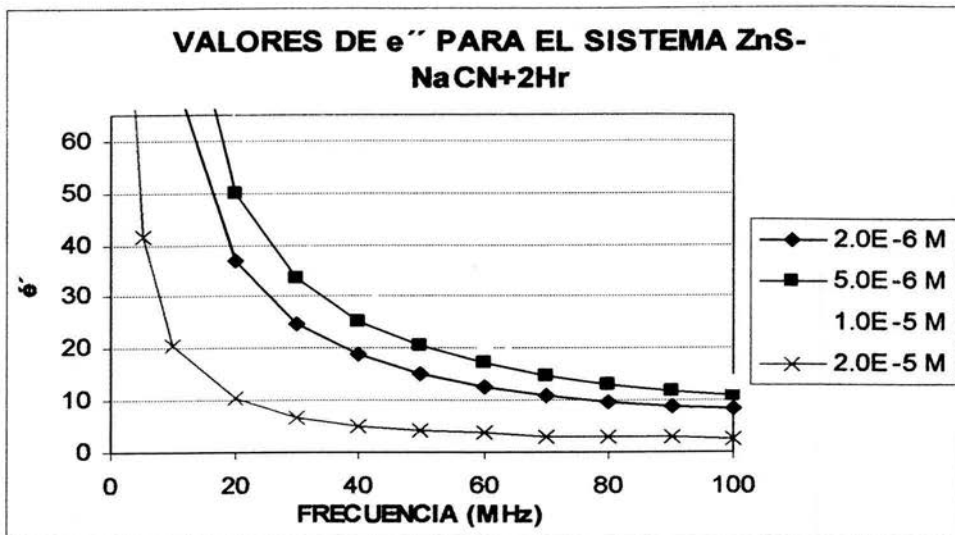
Gráfica 4.15 Conductividad Eléctrica para el sistema ZnS - NaCN + 1Hr. acond.



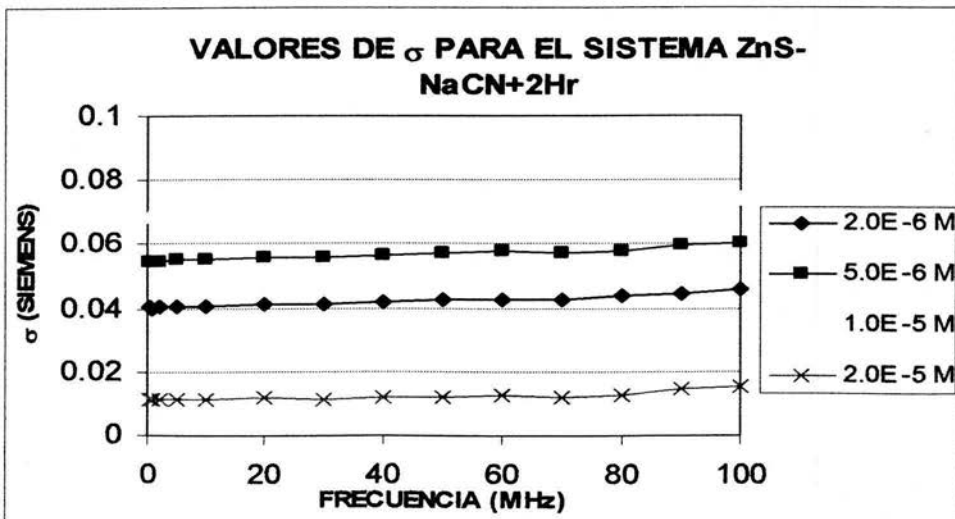
Gráfica 4.16 Cte. Dieléctrica para el sistema ZnS + NaCN + 2Hr. de acond.



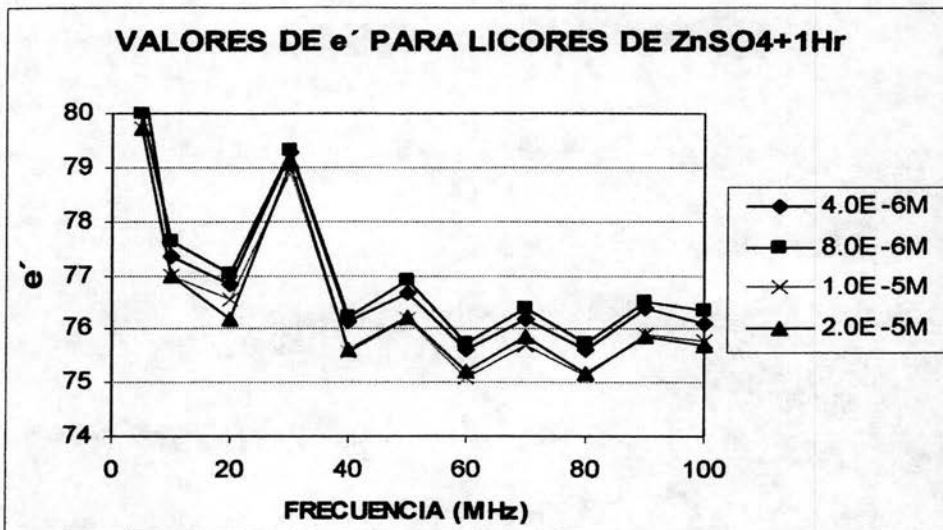
Gráfica 4.17 Pérdida de Dielectricidad para el sistema ZnS + NaCN + 2Hr. de acond.



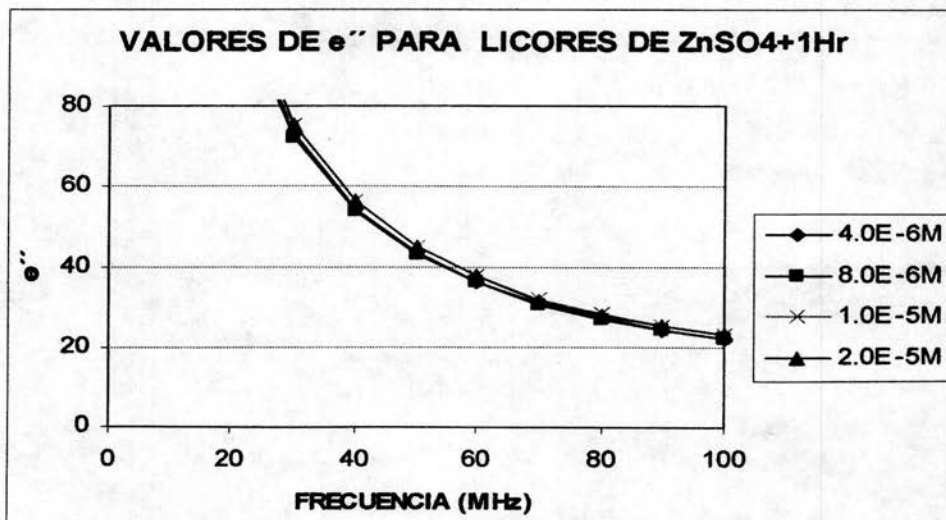
Gráfica 4.18 Conductividad Eléctrica para el sistema ZnS + NaCN + 2Hr. acond.



Gráfica 4.19 Cte. Dieléctrica para Licores de ZnSO₄+1Hr. de acond.

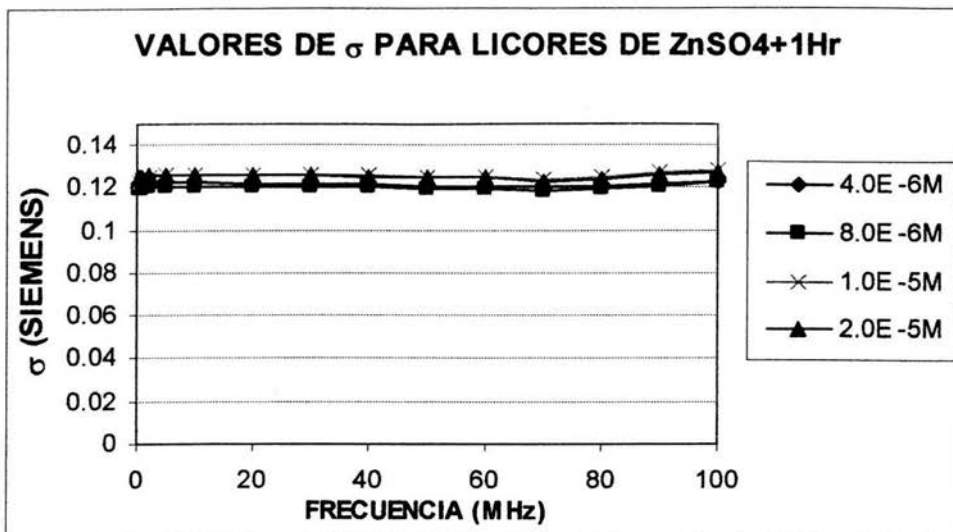


Gráfica 4.20 Pérdida de Dielectricidad para Licores de ZnSO₄+1Hr. de acond.

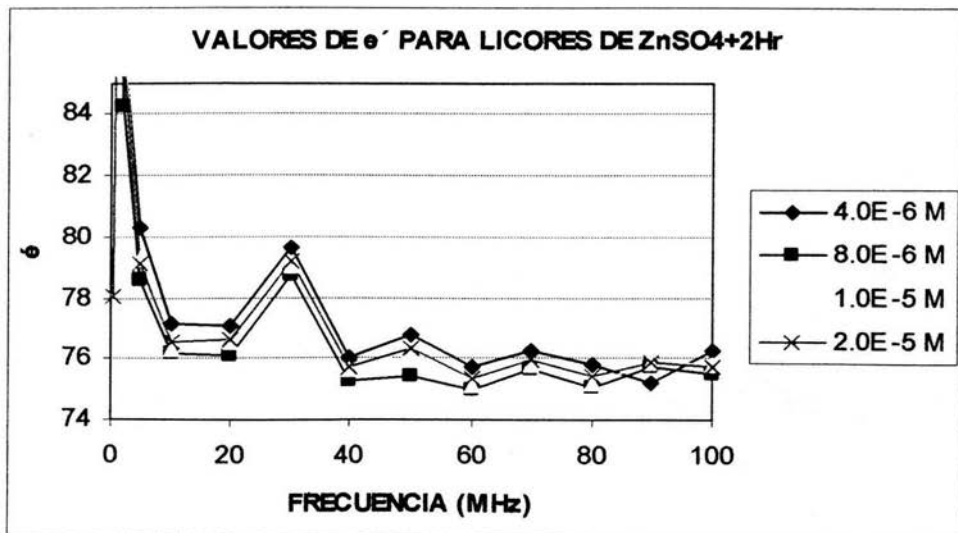


ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

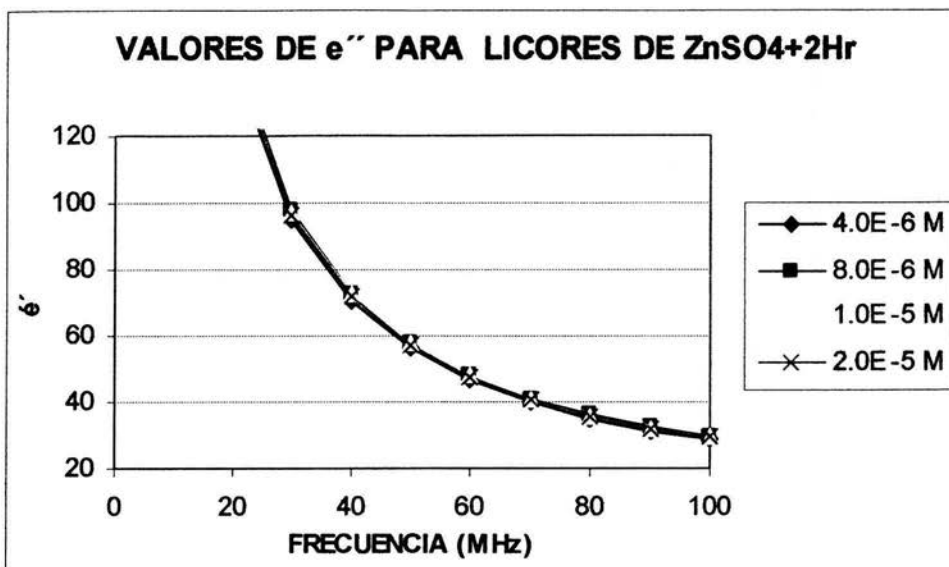
Gráfica 4.21 Conductividad Eléctrica para Licores de ZnSO₄+1Hr. acond.



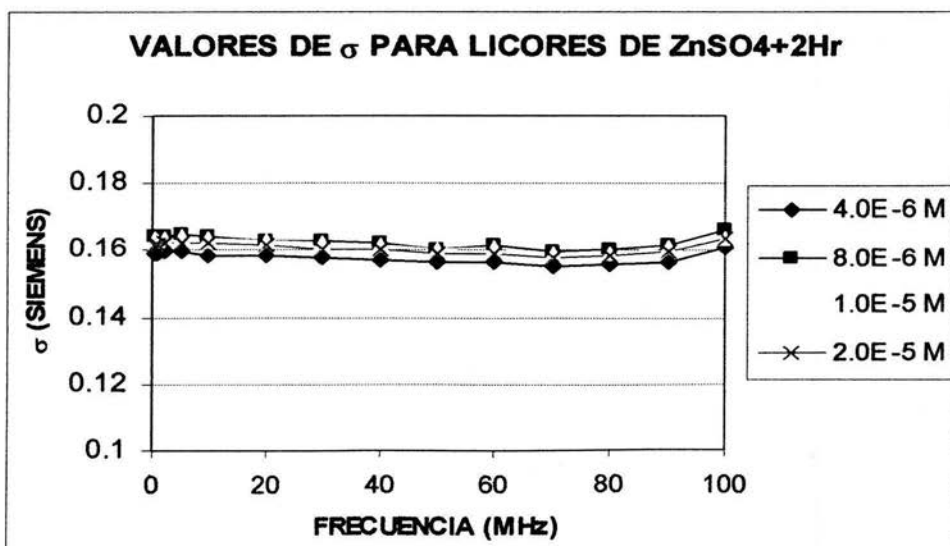
Gráfica 4.22 Cte. Dieléctrica para Licores de ZnSO₄+2Hr. de acond.



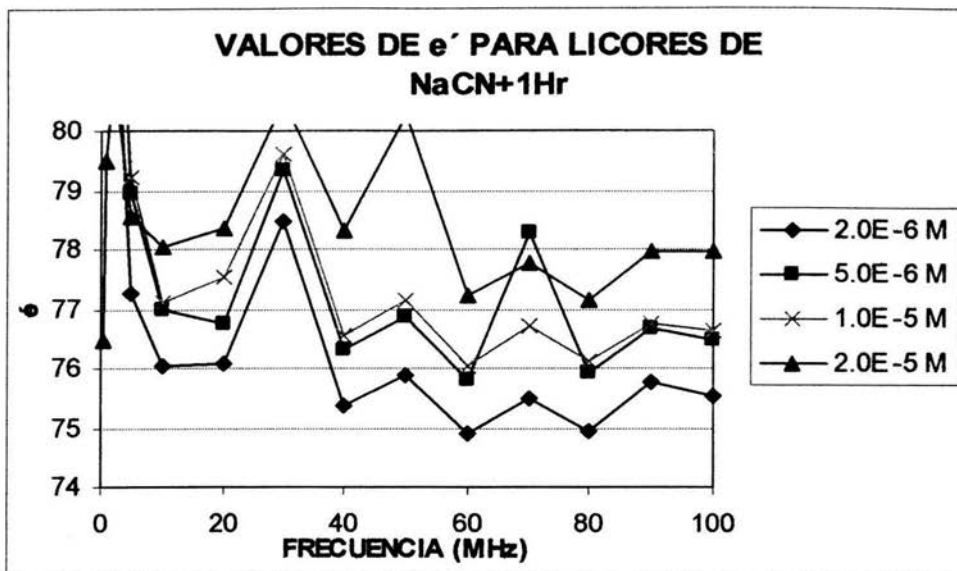
Gráfica 4.23 Pérdida de Dielectricidad para Licores de ZnSO₄+2Hr. de acond.



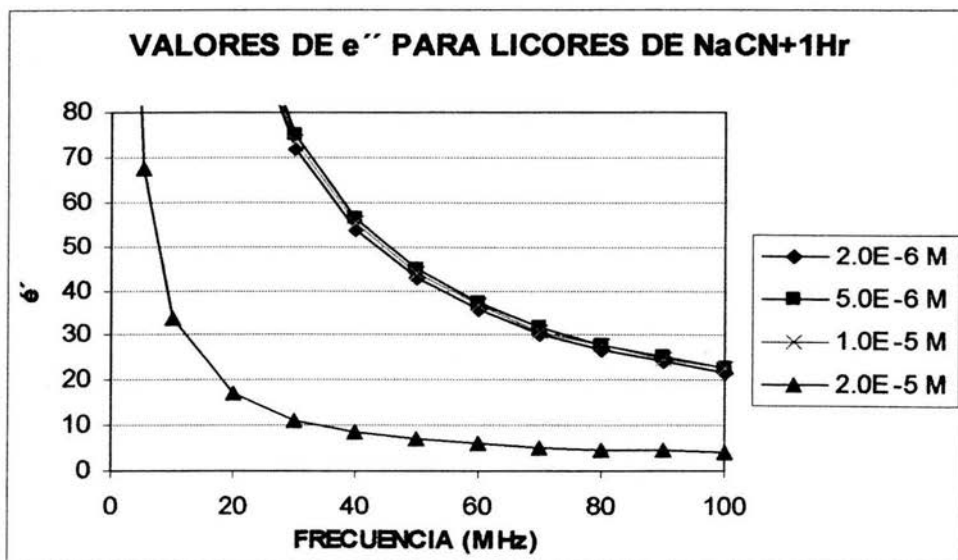
Gráfica 4.24 Conductividad Eléctrica para Licores de ZnSO₄+2Hr. acond.



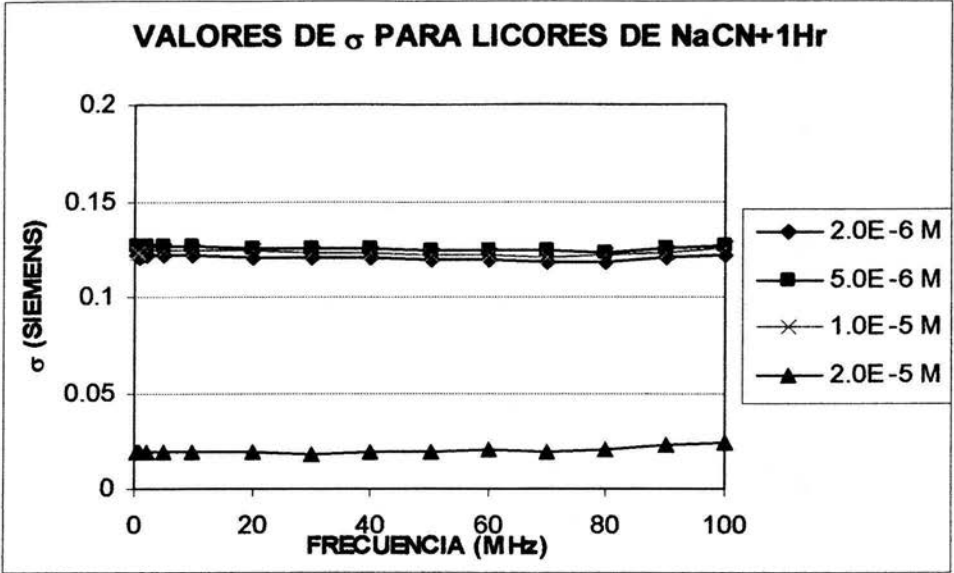
Gráfica 4.25 Cte. Dieléctrica para Licores de NaCN+1Hr. de acond.



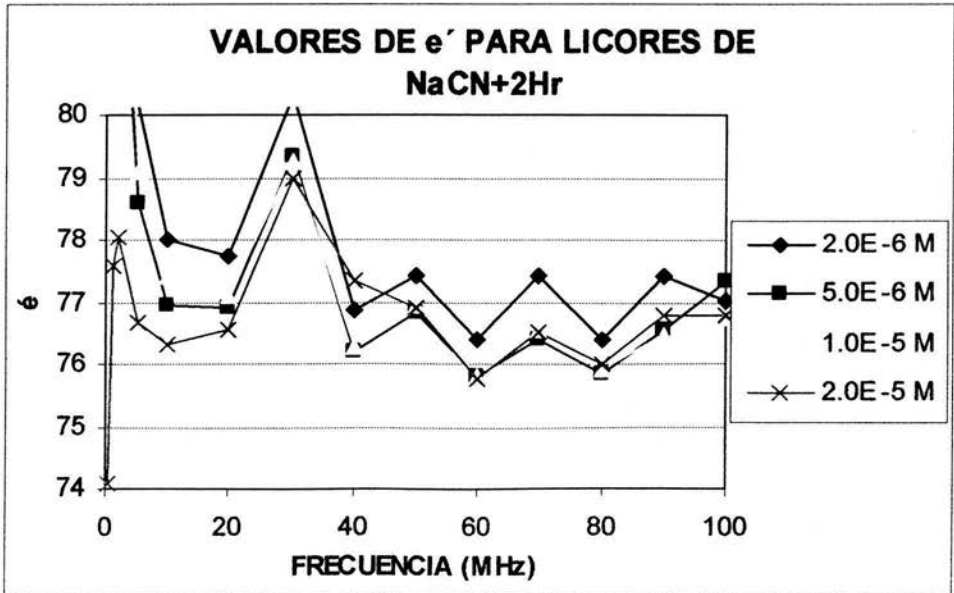
Gráfica 4.26 Pérdida de Dielectricidad para Licores de NaCN+1Hr. de acond.



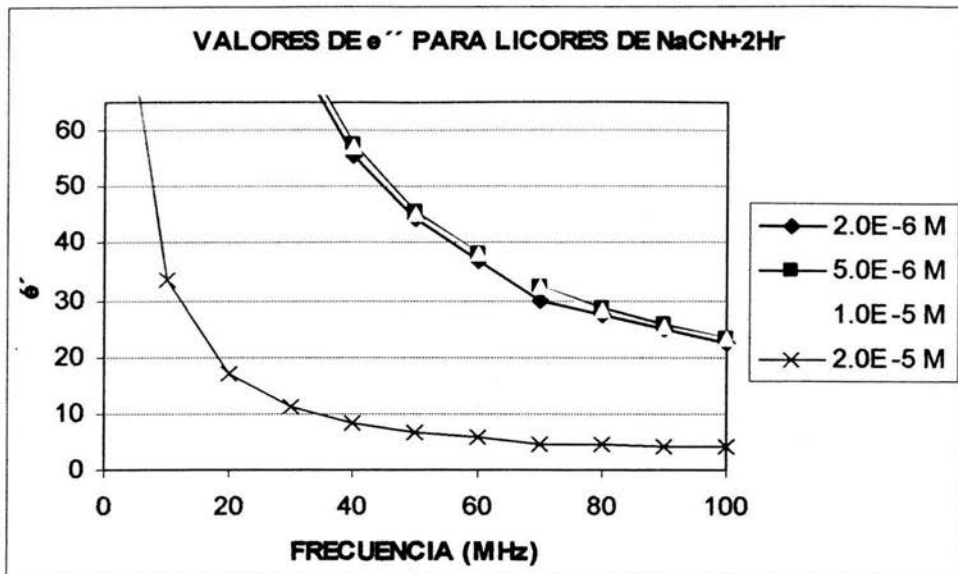
Gráfica 4.27 Conductividad Eléctrica para Licores de NaCN+1Hr. acond.



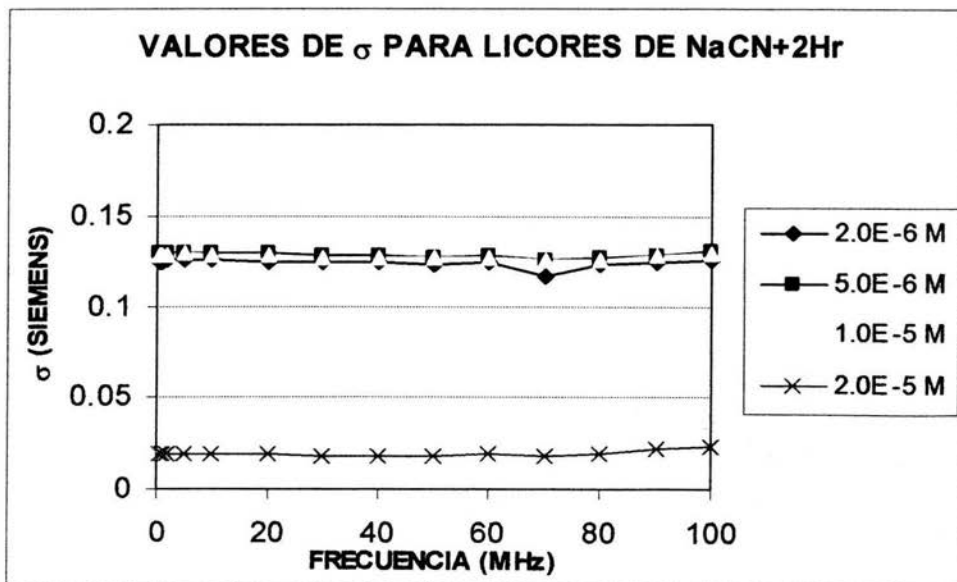
Gráfica 4.28 Cte. Dieléctrica para Licores de NaCN+2Hr. de acond.



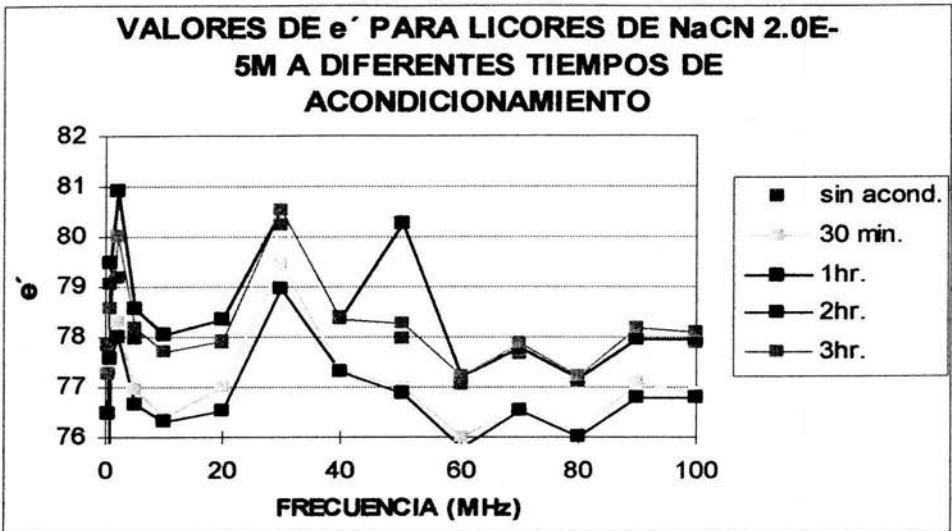
Gráfica 4.29 Pérdida de Dielectricidad para Licores de NaCN+2Hr. de acond.



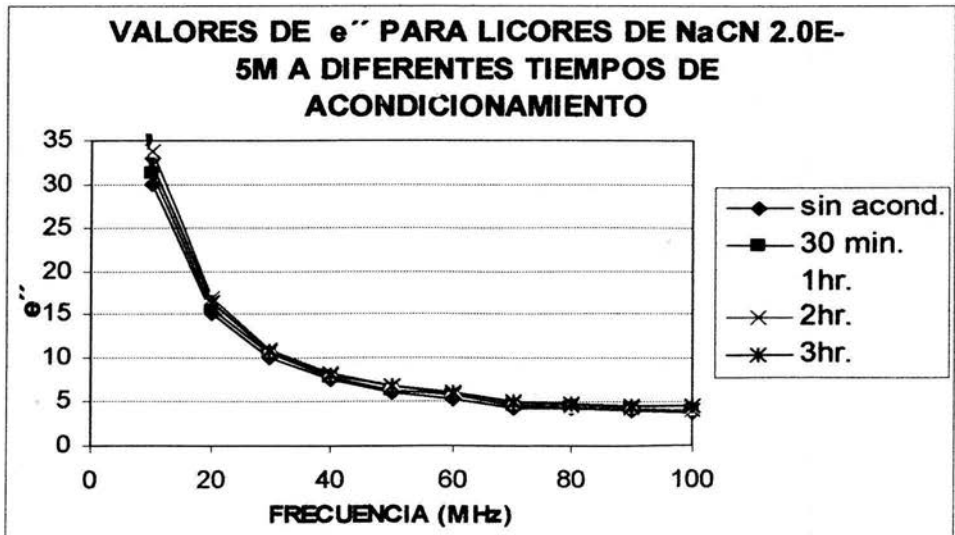
Gráfica 4.30 Conductividad Eléctrica para Licores de NaCN+2Hr. acond.



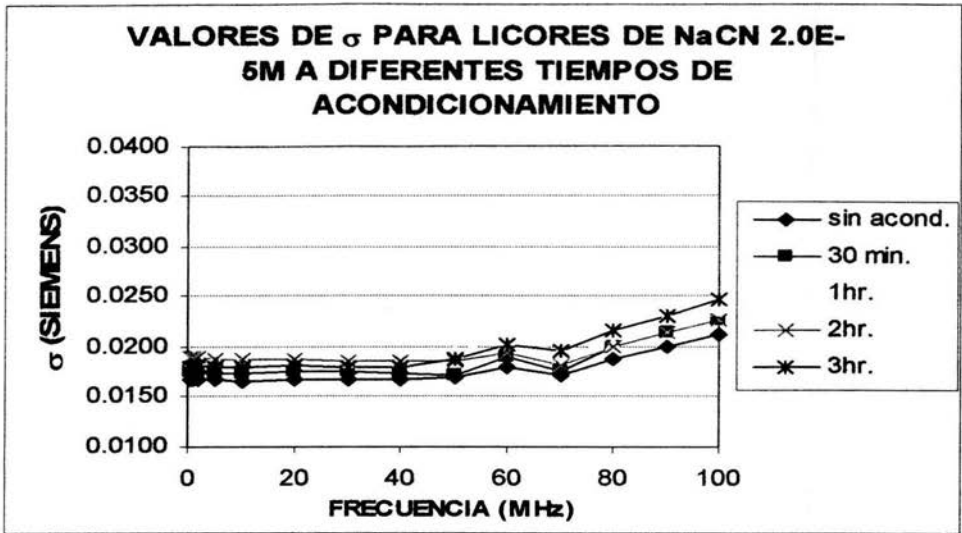
Gráfica 4.31 Cte. Dieléctrica para Licores y electrolito de NaCN[2E-5M] a diferentes tiempos de acondicionamiento.



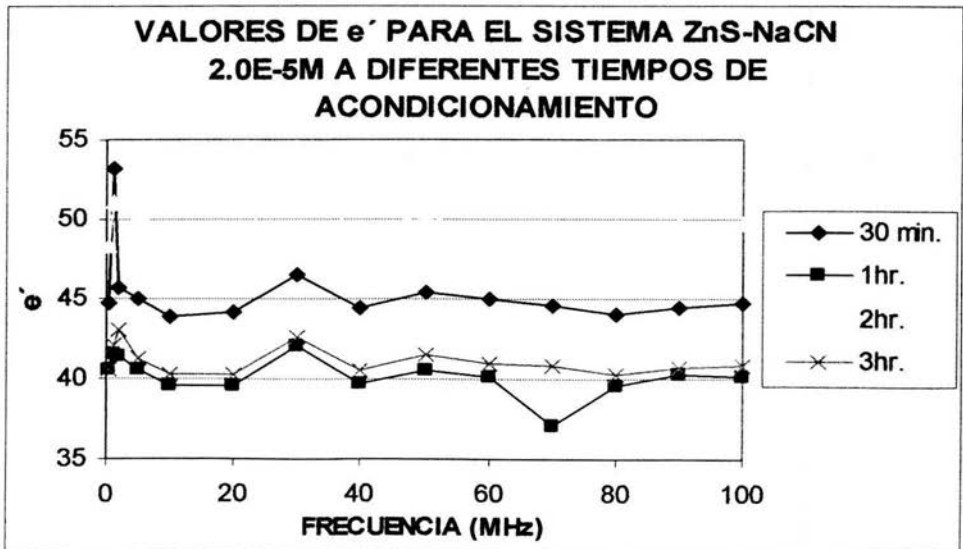
Gráfica 4.32 Pérdida de Dielectricidad para Licores y electrolito de NaCN[2E-5M] a diferentes tiempos de acondicionamiento.



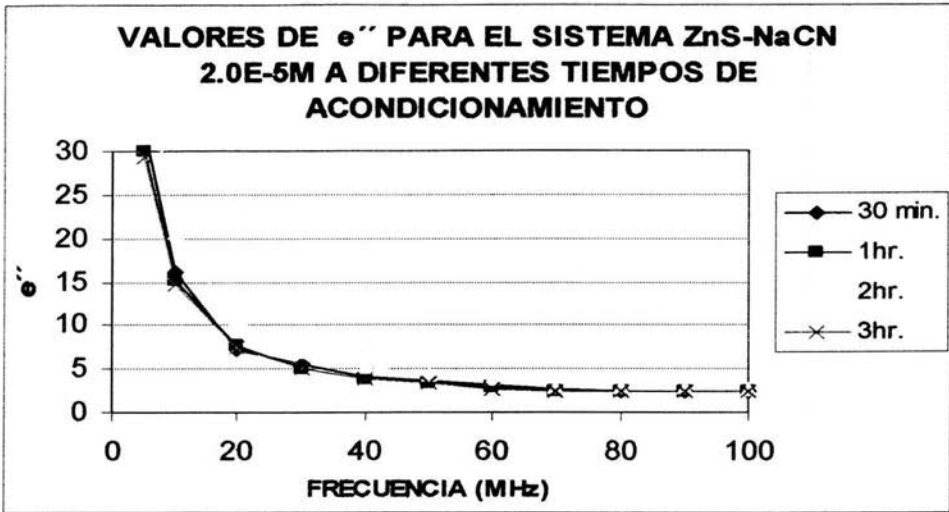
Gráfica 4.33 Conductividad Eléctrica para Licores y electrolitos de NaCN[2E-5M] a diferentes tiempos de acondicionamiento.



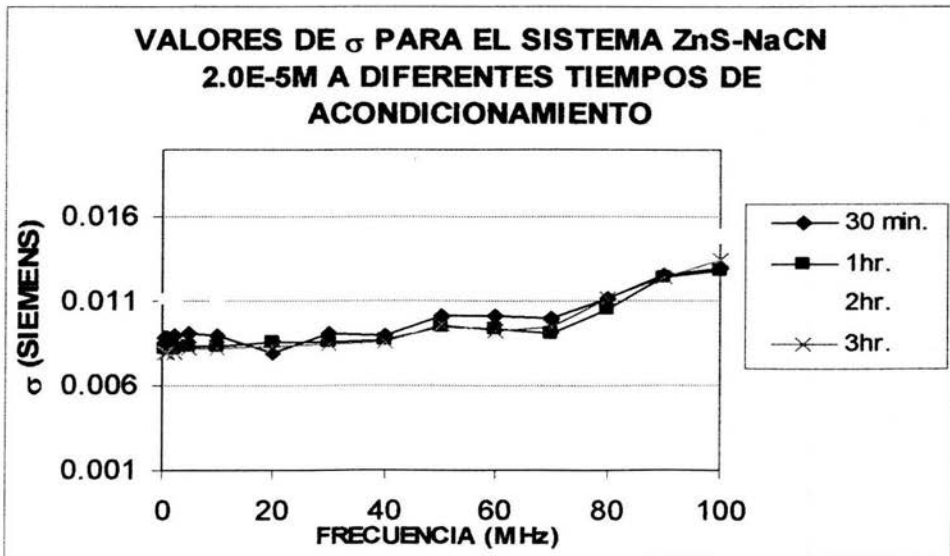
Gráfica 4.34 Cte. Dieléctrica para el sistema ZnS-NaCN [2E-5M] a diferentes tiempos de acondicionamiento.



Gráfica 4.35 Pérdida de Dielectricidad para el sistema ZnS-NaCN[2E-5M] a diferentes tiempos de acondicionamiento.



Gráfica 4.36 Conductividad Eléctrica para el sistema ZnS-NaCN[2E-5M] a diferentes tiempos de acondicionamiento.



APÉNDICE 2

TABLAS

Tabla 4.1 ELECTROLITO ZnSO4 [4E-6]

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	384.58	-1.58	384.73	22.78	118.33	4298.75	0.1196
1	378.75	-2.66	379.16	19.54	101.51	2180.92	0.1213
2	373.35	-4.54	374.52	16.86	87.62	1103.91	0.1228
5	365.76	-10.29	371.74	15.55	80.79	444.76	0.1237
10	351.29	-19.12	371.81	14.84	77.08	222.16	0.1236
20	305.10	-34.70	371.12	14.85	76.98	110.91	0.1234
30	252.47	-47.04	370.45	15.38	79.48	73.64	0.1229
40	217.45	-53.92	369.21	14.79	76.16	55.02	0.1224
50	184.06	-59.98	367.94	14.97	76.73	43.73	0.1216
60	160.19	-63.74	362.05	14.85	75.66	36.62	0.1222
70	139.16	-67.48	363.34	15.09	76.34	30.84	0.1201
80	123.55	-69.53	353.25	15.09	75.71	27.34	0.1217
90	108.80	-71.59	344.44	15.42	76.67	24.47	0.1225
100	98.17	-72.94	334.61	15.50	76.30	22.25	0.1238

Tabla 4.2 ELECTROLITO ZnSO4 [8E-6]

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	375.57	-1.49	375.70	21.96	114.12	4402.03	0.1224
1	373.74	-2.67	374.15	19.87	103.21	2210.11	0.1230
2	369.32	-4.45	370.44	16.73	86.90	1116.09	0.1242
5	362.59	-10.02	368.20	15.27	79.33	449.04	0.1249
10	349.01	-18.95	369.01	14.81	76.91	223.84	0.1245
20	303.62	-34.41	368.00	14.81	76.78	111.85	0.1245
30	252.27	-46.70	367.81	15.30	79.10	74.17	0.1238
40	217.03	-53.69	366.51	14.77	76.08	55.42	0.1233
50	183.96	-59.75	365.11	14.95	76.59	44.07	0.1226
60	160.34	-63.73	362.31	14.83	75.58	36.59	0.1221
70	139.44	-67.35	362.03	15.05	76.12	30.95	0.1205
80	123.71	-69.52	353.57	15.07	75.62	27.31	0.1216
90	109.25	-71.44	343.29	15.35	76.30	24.56	0.1230
100	98.31	-72.82	332.72	15.47	76.15	22.38	0.1245

Tabla 4.3 ELECTROLITO ZnSO4 [1E-5]

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	376.58	-1.58	376.72	23.37	121.42	4390.08	0.1221
1	373.74	-2.67	374.15	19.87	103.21	2210.11	0.1230
2	368.33	-4.56	369.50	17.16	89.16	1118.93	0.1245
5	360.55	-10.03	366.15	15.38	79.92	451.56	0.1256
10	346.73	-18.78	366.23	14.78	76.74	225.54	0.1255
20	302.15	-34.11	364.93	14.77	76.57	112.80	0.1255
30	250.76	-46.39	363.58	15.32	79.19	75.04	0.1252
40	216.84	-53.33	363.12	14.72	75.80	55.95	0.1245
50	184.02	-59.50	362.56	14.90	76.38	44.38	0.1235
60	160.33	-63.24	356.12	14.77	75.27	37.23	0.1243
70	139.50	-66.98	356.72	15.00	75.89	31.42	0.1223
80	123.97	-69.27	350.16	15.01	75.34	27.59	0.1228
90	109.18	-71.09	336.94	15.32	76.20	25.02	0.1253
100	98.42	-72.58	328.67	15.43	75.97	22.66	0.1260

Tabla 4.4 ELECTROLITO ZnSO4 [2E-5]

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	377.57	-1.48	377.70	21.82	113.37	4378.71	0.1218
1	374.74	-2.67	375.15	19.80	102.87	2204.21	0.1226
2	370.34	-4.55	371.51	17.04	88.54	1112.87	0.1238
5	363.64	-10.11	369.38	15.36	79.82	447.61	0.1245
10	349.07	-19.06	369.31	14.89	77.30	223.66	0.1244
20	303.71	-34.52	368.59	14.85	76.97	111.67	0.1243
30	252.34	-46.81	368.69	15.33	79.23	74.00	0.1235
40	217.53	-53.79	368.26	14.76	76.01	55.16	0.1228
50	184.21	-59.98	368.18	14.96	76.67	43.70	0.1216
60	160.50	-63.73	362.58	14.82	75.51	36.57	0.1221
70	139.44	-67.35	362.03	15.05	76.12	30.95	0.1205
80	123.74	-69.64	355.63	15.07	75.65	27.15	0.1209
90	109.25	-71.44	343.29	15.35	76.30	24.56	0.1230
100	98.35	-73.05	337.24	15.48	76.21	22.07	0.1228

Tabla 4.5 ELECTROLITO NaCN [2E-6M]

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	381.56	-1.08	381.63	15.71	81.61	4333.67	0.1205
1	378.72	-2.36	379.05	17.34	90.07	2181.56	0.1214
2	374.34	-4.43	375.46	16.43	85.39	1101.15	0.1225
5	365.72	-10.19	371.59	15.40	80.01	444.95	0.1238
10	350.34	-19.35	371.31	15.05	78.16	222.45	0.1238
20	302.73	-34.88	369.02	15.03	77.93	111.54	0.1241
30	249.82	-47.12	367.10	15.56	80.42	74.30	0.1240
40	214.38	-54.03	364.99	15.02	77.35	55.64	0.1238
50	181.36	-60.09	363.70	15.21	77.94	44.22	0.1230
60	157.96	-63.72	356.70	15.06	76.69	37.15	0.1240
70	137.25	-67.45	357.87	15.30	77.36	31.29	0.1218
80	121.77	-69.50	347.73	15.30	76.77	27.74	0.1235
90	107.31	-71.32	335.02	15.61	77.57	25.13	0.1258
100	96.54	-72.81	326.66	15.75	77.46	22.75	0.1266

Tabla 4.6 ELECTROLITO NaCN [5E-6M]

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	382.56	-1.08	382.63	15.65	81.33	4322.34	0.1202
1	381.73	-2.36	382.05	17.16	89.16	2164.41	0.1204
2	377.34	-4.32	378.41	15.90	82.59	1092.57	0.1216
5	367.80	-10.28	373.80	15.44	80.20	442.32	0.1230
10	351.48	-19.44	372.71	15.07	78.24	221.61	0.1233
20	304.21	-35.18	372.17	15.07	78.12	110.59	0.1231
30	250.01	-47.46	369.76	15.63	80.80	73.77	0.1231
40	214.50	-54.27	367.30	15.06	77.54	55.29	0.1230
50	181.45	-60.33	366.54	15.24	78.09	43.87	0.1220
60	157.61	-64.10	360.80	15.14	77.11	36.72	0.1226
70	136.81	-67.59	358.86	15.36	77.68	31.19	0.1215
80	121.51	-69.76	351.14	15.36	77.05	27.47	0.1222
90	107.04	-71.57	338.55	15.67	77.86	24.86	0.1245
100	96.56	-72.92	328.85	15.76	77.49	22.60	0.1257

Tabla 4.7 ELECTROLITO NaCN [1E-5M]

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	377.55	-0.98	377.61	14.46	75.11	4379.77	0.1218
1	376.71	-2.27	377.01	16.72	86.86	2193.35	0.1220
2	371.31	-4.34	372.38	16.24	84.35	1110.26	0.1235
5	363.64	-10.11	369.38	15.36	79.82	447.61	0.1245
10	348.12	-19.28	368.81	15.10	78.39	223.96	0.1246
20	301.33	-34.69	366.49	15.03	77.92	112.31	0.1250
30	249.76	-47.00	366.23	15.54	80.29	74.48	0.1243
40	214.25	-53.79	362.71	14.98	77.16	55.99	0.1246
50	181.41	-59.85	361.14	15.17	77.73	44.54	0.1239
60	157.80	-63.72	356.44	15.07	76.77	37.17	0.1241
70	137.18	-67.21	354.15	15.28	77.26	31.62	0.1231
80	121.77	-69.50	347.73	15.30	76.77	27.74	0.1235
90	107.18	-71.44	336.77	15.64	77.72	25.00	0.1251
100	96.54	-72.81	326.66	15.75	77.46	22.75	0.1266

Tabla 4.8 ELECTROLITO NaCN [2E-5M]

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	2716.25	-7.34	2738.70	14.98	77.81	603.88	0.0168
1	2660.61	-14.74	2751.09	15.21	79.05	300.58	0.0167
2	2422.66	-27.65	2734.91	15.24	79.19	151.17	0.0168
5	1680.29	-52.38	2752.72	15.01	77.95	60.06	0.0167
10	993.08	-68.96	2766.60	14.96	77.68	29.86	0.0166
20	520.07	-78.98	2720.75	15.02	77.86	15.13	0.0168
30	339.08	-82.82	2711.97	15.52	80.23	10.06	0.0168
40	260.10	-84.46	2694.71	15.23	78.39	7.53	0.0168
50	208.50	-85.50	2654.67	15.22	77.97	6.06	0.0169
60	174.92	-85.92	2458.58	15.13	77.04	5.39	0.0180
70	147.81	-86.69	2558.05	15.36	77.64	4.38	0.0170
80	129.28	-86.77	2295.71	15.36	77.07	4.20	0.0187
90	112.51	-86.95	2111.58	15.70	77.97	3.99	0.0200
100	100.40	-87.05	1948.62	15.83	77.85	3.81	0.0212

Tabla 4.9 Sistema ZnS+ZnSO4 [4E-6M]+ 1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	679.76	-1.71	680.06	13.97	72.60	2431.90	0.0676
1	679.40	-3.04	680.36	12.40	64.45	1215.41	0.0676
2	673.70	-5.19	676.47	10.68	55.49	611.19	0.0680
5	658.90	-11.78	673.07	9.86	51.22	245.67	0.0683
10	622.84	-22.03	671.89	9.58	49.78	122.99	0.0684
20	521.03	-38.45	665.27	9.50	49.27	61.97	0.0690
30	413.91	-51.20	660.62	9.99	51.73	41.44	0.0692
40	351.51	-57.47	653.59	9.54	49.30	31.27	0.0696
50	291.78	-62.96	641.73	9.72	50.03	25.31	0.0704
60	255.90	-66.36	638.16	9.50	48.72	21.06	0.0703
70	221.36	-69.77	640.19	9.64	49.21	17.83	0.0694
80	196.77	-71.60	623.43	9.59	48.74	15.86	0.0706
90	172.68	-73.29	600.48	9.81	49.52	14.46	0.0724
100	156.03	-74.67	590.08	9.84	49.34	13.08	0.0727

Tabla 4.10 Sistema ZnS+ZnSO4 [8E-6M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	695.78	-1.80	696.13	14.34	74.49	2375.78	0.0661
1	696.47	-3.11	697.50	12.38	64.32	1185.55	0.0660
2	688.88	-5.24	691.76	10.54	54.76	597.67	0.0665
5	673.80	-11.86	688.48	9.71	50.42	240.17	0.0668
10	637.20	-22.03	687.39	9.37	48.66	120.21	0.0669
20	533.23	-38.42	680.56	9.27	48.11	60.58	0.0674
30	425.53	-51.19	678.95	9.71	50.31	40.33	0.0673
40	361.15	-57.47	671.59	9.29	47.99	30.44	0.0677
50	299.62	-63.01	660.08	9.47	48.75	24.62	0.0685
60	263.02	-66.13	650.05	9.22	47.33	20.69	0.0691
70	227.54	-69.71	656.23	9.37	47.88	17.41	0.0678
80	202.41	-71.40	634.69	9.32	47.36	15.60	0.0694
90	177.83	-73.10	611.64	9.51	48.07	14.22	0.0712
100	160.56	-74.35	595.31	9.54	47.92	12.99	0.0722

Tabla 4.11 Sistema ZnS+ZnSO₄ [1E-5M] + 1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	628.71	-1.56	628.94	13.74	71.41	2629.58	0.0731
1	628.22	-2.82	628.99	12.48	64.86	1314.68	0.0731
2	623.07	-4.86	625.32	10.82	56.24	661.17	0.0736
5	610.69	-10.95	622.01	9.90	51.43	265.84	0.0739
10	581.40	-20.58	621.05	9.62	49.99	133.05	0.0740
20	495.31	-36.70	617.76	9.60	49.81	66.74	0.0743
30	400.24	-49.36	614.48	10.06	52.08	44.55	0.0744
40	342.17	-55.81	608.99	9.62	49.69	33.56	0.0747
50	285.03	-61.65	600.21	9.83	50.60	27.06	0.0753
60	251.61	-65.09	597.40	9.56	49.05	22.49	0.0751
70	218.34	-68.62	598.86	9.70	49.51	19.05	0.0742
80	194.25	-70.58	584.08	9.66	49.06	16.92	0.0753
90	170.89	-72.26	560.76	9.86	49.75	15.48	0.0775
100	154.27	-73.65	547.89	9.90	49.64	14.08	0.0783

Tabla 4.12 Sistema ZnS+ZnSO₄ [2E-5M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	639.69	-1.35	639.87	11.68	60.71	2584.67	0.0719
1	638.24	-2.81	639.01	12.21	63.44	1294.06	0.0720
2	633.19	-4.93	635.54	10.79	56.08	650.55	0.0724
5	620.25	-11.07	632.02	9.86	51.20	261.63	0.0728
10	591.07	-20.76	632.11	9.55	49.58	130.72	0.0727
20	502.85	-36.77	627.71	9.47	49.15	65.68	0.0731
30	405.41	-49.61	625.67	9.97	51.61	43.76	0.0730
40	346.10	-55.97	618.46	9.53	49.22	33.05	0.0735
50	288.86	-61.67	608.65	9.70	49.94	26.69	0.0742
60	254.29	-65.14	604.92	9.46	48.56	22.22	0.0742
70	220.21	-68.69	606.01	9.62	49.12	18.83	0.0733
80	196.15	-70.64	591.82	9.57	48.62	16.71	0.0744
90	172.61	-72.46	572.88	9.77	49.33	15.16	0.0759
100	156.20	-73.84	561.19	9.79	49.10	13.75	0.0765

Tabla 4.13 Sistema ZnS+ZnSO₄ [4E-6M]+ 2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	555.63	-1.22	555.76	12.21	63.42	2975.83	0.0828
1	556.98	-2.35	557.45	11.71	60.84	1483.39	0.0825
2	554.30	-4.20	555.79	10.51	54.61	743.90	0.0828
5	545.76	-9.45	553.28	9.58	49.77	298.86	0.0831
10	527.83	-17.86	554.56	9.25	48.04	149.01	0.0829
20	464.66	-32.37	550.13	9.17	47.57	74.95	0.0834
30	388.15	-44.74	546.48	9.62	49.83	50.11	0.0836
40	336.98	-51.22	538.03	9.20	47.56	38.00	0.0846
50	287.15	-57.34	532.11	9.33	48.07	30.55	0.0850
60	254.81	-61.04	526.25	9.11	46.75	25.56	0.0853
70	222.84	-64.96	526.55	9.24	47.24	21.70	0.0845
80	199.30	-67.15	513.26	9.20	46.78	19.30	0.0859
90	176.13	-69.28	497.80	9.39	47.46	17.48	0.0875
100	159.36	-70.81	484.83	9.43	47.38	15.96	0.0888

Tabla 4.14 Sistema ZnS+ZnSO₄ [8E-6M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	551.60	-0.82	551.65	8.30	43.12	2997.98	0.0834
1	551.94	-2.16	552.33	10.85	56.39	1497.13	0.0833
2	548.16	-3.92	549.45	9.92	51.55	752.48	0.0837
5	540.22	-8.99	546.94	9.21	47.83	302.33	0.0841
10	523.51	-17.18	547.96	8.98	46.65	150.81	0.0839
20	464.44	-31.42	544.21	8.93	46.34	75.77	0.0843
30	390.23	-43.93	541.86	9.43	48.85	50.55	0.0844
40	341.29	-50.26	533.83	8.96	46.33	38.31	0.0853
50	290.21	-56.55	526.46	9.15	47.14	30.89	0.0859
60	259.71	-60.28	523.90	8.87	45.55	25.69	0.0858
70	227.30	-64.22	522.67	9.01	46.05	21.88	0.0852
80	203.70	-66.68	514.51	8.97	45.63	19.27	0.0858
90	180.95	-68.78	499.97	9.11	46.09	17.43	0.0873
100	163.58	-70.19	482.67	9.15	46.02	16.06	0.0893

Tabla 4.15 Sistema ZnS+ZnSO₄ [1E-5M]+2 hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	533.62	-1.14	533.72	11.87	61.69	3098.70	0.0862
1	533.93	-2.29	534.36	11.90	61.85	1547.49	0.0861
2	530.07	-3.98	531.35	10.43	54.17	778.11	0.0866
5	522.80	-9.24	529.68	9.78	50.80	312.18	0.0868
10	504.70	-17.48	529.15	9.47	49.21	156.16	0.0869
20	446.87	-31.76	525.56	9.37	48.63	78.45	0.0873
30	373.65	-44.27	521.85	9.91	51.33	52.47	0.0876
40	327.38	-50.75	517.38	9.41	48.62	39.51	0.0879
50	277.42	-56.88	507.65	9.61	49.48	32.00	0.0890
60	247.19	-60.78	506.37	9.37	48.06	26.55	0.0886
70	216.32	-64.53	503.04	9.49	48.47	22.70	0.0884
80	193.53	-66.84	492.16	9.45	48.03	20.10	0.0895
90	171.26	-68.95	476.81	9.64	48.68	18.23	0.0913
100	155.32	-70.60	467.49	9.66	48.51	16.52	0.0919

Tabla 4.16 Sistema ZnS+ZnSO₄ [2E-5]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	564.61	-0.91	564.68	8.98	46.64	2928.81	0.0815
1	564.96	-2.13	565.35	10.49	54.50	1462.66	0.0814
2	561.30	-4.07	562.72	10.07	52.33	734.73	0.0817
5	552.90	-9.29	560.25	9.29	48.28	295.15	0.0821
10	534.21	-17.55	560.28	8.98	46.65	147.49	0.0821
20	472.58	-32.04	557.52	8.93	46.36	73.96	0.0823
30	394.36	-44.70	554.78	9.46	49.00	49.37	0.0824
40	344.18	-51.11	548.21	9.00	46.50	37.31	0.0830
50	292.66	-57.15	539.46	9.14	47.07	30.14	0.0838
60	260.46	-60.96	536.59	8.90	45.72	25.08	0.0837
70	227.85	-64.76	534.41	9.03	46.14	21.40	0.0833
80	204.21	-67.22	527.47	8.98	45.70	18.80	0.0837
90	180.51	-69.22	508.83	9.16	46.33	17.12	0.0857
100	163.79	-70.74	496.51	9.17	46.11	15.61	0.0868

Tabla 4.17 Sistema ZnS+NaCN [2E-6M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	821.83	-1.38	822.07	9.35	48.57	2011.81	0.0560
1	824.78	-2.78	825.75	9.36	48.65	1001.42	0.0557
2	818.43	-5.29	821.93	8.96	46.55	503.03	0.0560
5	798.17	-12.37	817.14	8.54	44.38	202.36	0.0563
10	750.90	-23.01	815.80	8.28	43.03	101.30	0.0564
20	621.15	-39.79	808.38	8.20	42.55	51.02	0.0568
30	486.55	-52.59	800.89	8.66	44.87	34.22	0.0571
40	411.29	-58.68	791.14	8.26	42.73	25.87	0.0576
50	339.40	-64.04	775.25	8.43	43.47	21.00	0.0584
60	294.17	-67.68	774.41	8.34	42.86	17.41	0.0581
70	258.07	-70.52	773.70	8.31	42.51	14.82	0.0577
80	230.02	-72.08	747.64	8.23	41.94	13.31	0.0592
90	201.26	-74.00	730.19	8.45	42.81	11.98	0.0600
100	182.15	-75.12	709.52	8.44	42.56	10.98	0.0611

Tabla 4.18 Sistema ZnS+NaCN [5E-6M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	755.78	-1.44	756.02	10.60	55.06	2187.56	0.0608
1	757.57	-2.80	758.47	10.26	53.29	1090.24	0.0607
2	753.58	-5.21	756.71	9.59	49.83	546.38	0.0608
5	736.84	-12.15	753.74	9.10	47.25	219.38	0.0610
10	693.23	-22.74	751.67	8.88	46.10	109.94	0.0612
20	574.75	-39.51	744.97	8.81	45.71	55.35	0.0616
30	452.51	-52.27	739.53	9.27	48.03	37.04	0.0618
40	384.02	-58.39	732.64	8.82	45.60	27.92	0.0621
50	318.26	-63.75	719.45	8.97	46.22	22.61	0.0629
60	274.05	-67.38	712.42	8.93	45.87	18.89	0.0631
70	241.04	-70.29	714.70	8.88	45.40	16.01	0.0624
80	214.24	-72.00	693.40	8.83	44.95	14.31	0.0637
90	187.93	-73.72	670.53	9.03	45.70	13.00	0.0651
100	169.91	-75.12	661.76	9.05	45.53	11.72	0.0652

Tabla 4.19 Sistema ZnS+NaCN [1E-5M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	782.78	-1.32	782.99	9.35	48.59	2112.21	0.0588
1	785.67	-2.85	786.64	10.07	52.32	1051.20	0.0585
2	777.88	-5.23	781.13	9.32	48.42	529.30	0.0589
5	760.65	-12.37	778.73	8.97	46.58	212.34	0.0591
10	713.52	-23.00	775.14	8.72	45.27	106.61	0.0593
20	589.97	-39.82	768.10	8.64	44.82	53.69	0.0597
30	465.09	-52.52	764.42	9.05	46.89	35.84	0.0598
40	392.25	-58.45	749.74	8.64	44.68	27.29	0.0607
50	324.53	-63.86	736.59	8.80	45.37	22.09	0.0614
60	280.65	-67.47	732.55	8.73	44.84	18.38	0.0614
70	246.58	-70.41	735.54	8.69	44.43	15.57	0.0606
80	219.30	-72.28	720.30	8.64	44.00	13.79	0.0614
90	192.17	-73.87	691.53	8.84	44.75	12.62	0.0632
100	173.47	-75.14	676.33	8.87	44.63	11.48	0.0639

Tabla 4.20 Sistema ZnS+NaCN [2E-5M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	5594.34	-7.88	5647.73	7.81	40.56	292.83	0.0081
1	5443.53	-15.87	5659.21	7.99	41.54	146.12	0.0081
2	4873.96	-29.18	5582.14	7.96	41.35	74.07	0.0082
5	3276.43	-53.42	5497.86	7.80	40.53	30.08	0.0084
10	1951.93	-69.18	5491.85	7.62	39.59	15.05	0.0084
20	1024.50	-78.89	5315.03	7.62	39.56	7.76	0.0086
30	649.26	-83.06	5371.12	8.11	42.03	5.10	0.0085
40	515.53	-84.38	5265.70	7.68	39.72	3.89	0.0087
50	403.40	-85.18	4804.50	7.86	40.55	3.39	0.0094
60	339.39	-85.94	4789.17	7.80	40.09	2.82	0.0094
70	313.40	-86.38	4958.21	7.24	37.13	2.32	0.0090
80	256.38	-86.50	4203.15	7.75	39.52	2.37	0.0106
90	222.48	-86.41	3548.29	7.93	40.26	2.47	0.0124
100	199.48	-86.64	3404.97	7.96	40.21	2.29	0.0128

Tabla 4.21 Sistema ZnS+NaCN [2E-6M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	1145.18	-1.40	1145.52	6.77	35.19	1443.75	0.0402
1	1148.24	-2.92	1149.73	7.06	36.68	719.23	0.0400
2	1136.95	-5.49	1142.20	6.70	34.82	361.98	0.0403
5	1108.62	-12.65	1136.18	6.29	32.66	145.54	0.0405
10	1036.16	-23.41	1129.13	6.10	31.71	73.20	0.0407
20	851.46	-40.25	1115.63	6.04	31.35	36.99	0.0412
30	659.14	-53.59	1110.56	6.48	33.58	24.71	0.0412
40	564.21	-58.99	1095.15	6.04	31.29	18.74	0.0417
50	464.28	-64.36	1072.87	6.18	31.93	15.24	0.0424
60	404.42	-67.64	1063.09	6.07	31.26	12.76	0.0426
70	346.12	-70.84	1054.69	6.21	31.88	10.95	0.0427
80	313.30	-72.23	1026.51	6.05	30.97	9.79	0.0436
90	274.76	-74.03	998.46	6.19	31.56	8.87	0.0444
100	249.06	-75.08	967.09	6.17	31.37	8.18	0.0455

Tabla 4.22 Sistema ZnS+NaCN [5E-6M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	845.84	-1.36	846.08	8.94	46.46	1954.71	0.0544
1	847.88	-2.84	848.92	9.30	48.34	974.08	0.0542
2	840.90	-5.51	844.80	9.09	47.22	489.41	0.0545
5	820.08	-12.60	840.34	8.47	44.00	196.78	0.0547
10	768.36	-23.43	837.41	8.24	42.78	98.69	0.0549
20	630.68	-40.24	826.21	8.15	42.30	49.92	0.0555
30	494.39	-52.96	820.77	8.57	44.38	33.39	0.0557
40	419.91	-58.75	809.34	8.10	41.88	25.30	0.0563
50	345.95	-64.16	793.60	8.28	42.69	20.52	0.0571
60	298.63	-67.55	781.97	8.21	42.19	17.24	0.0576
70	260.85	-70.58	784.68	8.22	42.08	14.62	0.0569
80	233.18	-72.28	766.18	8.13	41.43	12.99	0.0578
90	204.45	-73.90	737.15	8.31	42.13	11.88	0.0595
100	184.74	-75.18	722.35	8.33	41.99	10.79	0.0600

Tabla 4.23 Sistema ZnS+NaCN [1E-5M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	667.70	-1.32	667.88	10.99	57.08	2476.26	0.0689
1	667.28	-2.66	668.00	11.05	57.42	1237.90	0.0689
2	662.46	-4.92	664.92	10.31	53.58	621.80	0.0692
5	648.11	-11.56	661.52	9.84	51.12	249.96	0.0695
10	614.74	-21.49	660.68	9.49	49.27	125.07	0.0696
20	518.22	-37.77	655.54	9.40	48.79	62.89	0.0700
30	414.74	-50.54	652.58	9.88	51.14	41.96	0.0700
40	350.93	-56.93	643.12	9.50	49.09	31.78	0.0707
50	293.36	-62.50	635.23	9.62	49.56	25.57	0.0711
60	257.36	-65.75	626.52	9.40	48.22	21.46	0.0716
70	222.97	-69.30	630.76	9.54	48.71	18.10	0.0705
80	198.05	-71.14	612.51	9.51	48.30	16.15	0.0719
90	174.23	-72.95	594.35	9.70	49.01	14.62	0.0732
100	157.56	-74.20	578.51	9.72	48.77	13.35	0.0743

Tabla 4.24 Sistema ZnS+NaCN [2E-5M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	4046.64	-6.79	4075.22	9.30	48.32	405.83	0.0113
1	3956.59	-14.16	4080.55	9.84	51.12	202.65	0.0113
2	3616.53	-26.44	4039.10	9.80	50.91	102.36	0.0114
5	2535.49	-50.61	3995.28	9.70	50.41	41.39	0.0115
10	1553.50	-67.25	4017.70	9.45	49.07	20.57	0.0114
20	821.64	-77.92	3925.93	9.47	49.14	10.50	0.0117
30	528.23	-82.36	3974.68	9.95	51.55	6.89	0.0115
40	414.18	-83.92	3910.67	9.55	49.35	5.23	0.0116
50	325.01	-84.97	3705.89	9.76	50.23	4.38	0.0122
60	277.13	-85.51	3542.68	9.54	48.95	3.79	0.0127
70	233.74	-86.50	3829.22	9.71	49.57	2.98	0.0116
80	205.58	-86.68	3546.95	9.66	49.07	2.79	0.0124
90	179.26	-86.58	3003.68	9.85	49.71	2.89	0.0145
100	160.33	-86.80	2875.83	9.91	49.70	2.68	0.0149

Tabla 4.25 Licor de ZnSO₄ [4E-6M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	379.59	-1.88	379.80	27.54	143.08	4354.55	0.1211
1	378.76	-2.87	379.24	21.00	109.13	2180.46	0.1213
2	376.39	-4.73	377.68	17.43	90.54	1094.69	0.1218
5	368.86	-10.37	374.98	15.53	80.68	440.92	0.1226
10	354.71	-19.38	376.02	14.89	77.33	219.67	0.1222
20	307.82	-34.97	375.63	14.82	76.81	109.58	0.1219
30	253.92	-47.23	373.91	15.34	79.27	72.96	0.1218
40	218.17	-54.13	372.36	14.78	76.12	54.55	0.1214
50	184.61	-60.21	371.53	14.96	76.68	43.31	0.1205
60	160.58	-63.97	365.90	14.84	75.62	36.23	0.1209
70	139.48	-67.47	363.94	15.06	76.16	30.79	0.1199
80	123.92	-69.75	358.03	15.06	75.60	26.97	0.1200
90	109.30	-71.68	347.66	15.36	76.37	24.25	0.1214
100	98.51	-73.04	337.60	15.45	76.09	22.05	0.1227

Tabla 4.26 Licor de ZnSO₄ [8E-6M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	385.59	-1.88	385.80	27.03	140.43	4286.77	0.1192
1	384.78	-2.95	385.29	21.32	110.77	2146.20	0.1194
2	381.43	-4.81	382.78	17.49	90.89	1080.10	0.1202
5	374.01	-10.42	380.29	15.40	80.00	434.77	0.1209
10	359.28	-19.73	381.68	14.95	77.64	216.41	0.1204
20	310.73	-35.45	381.45	14.86	77.01	107.91	0.1201
30	255.52	-47.64	379.25	15.34	79.31	71.93	0.1201
40	218.80	-54.47	376.55	14.80	76.22	53.95	0.1200
50	184.75	-60.57	375.94	15.01	76.89	42.80	0.1190
60	160.67	-64.21	369.29	14.87	75.74	35.90	0.1198
70	139.42	-67.83	369.48	15.10	76.39	30.32	0.1181
80	123.79	-69.88	359.82	15.09	75.73	26.84	0.1194
90	109.16	-71.80	349.54	15.39	76.51	24.11	0.1207
100	98.19	-73.06	336.89	15.51	76.33	22.09	0.1229

Tabla 4.27 Licor de ZnSO₄ [1E-5M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	374.59	-1.79	374.77	26.49	137.63	4412.98	0.1228
1	370.75	-2.78	371.18	20.82	108.15	2227.77	0.1239
2	366.32	-4.56	367.49	17.28	89.79	1125.05	0.1252
5	358.47	-9.95	363.95	15.35	79.72	454.29	0.1264
10	344.53	-18.71	363.76	14.82	76.96	227.08	0.1263
20	300.76	-33.92	362.45	14.77	76.55	113.57	0.1264
30	250.62	-46.17	361.89	15.27	78.93	75.39	0.1258
40	216.50	-52.98	359.60	14.67	75.58	56.50	0.1257
50	183.87	-59.14	358.47	14.86	76.16	44.89	0.1249
60	160.40	-62.99	353.24	14.73	75.08	37.54	0.1253
70	139.59	-66.73	353.37	14.96	75.70	31.72	0.1235
80	124.04	-68.90	344.57	14.96	75.12	28.04	0.1248
90	109.45	-70.84	333.50	15.26	75.91	25.29	0.1266
100	98.54	-72.34	324.73	15.39	75.79	22.94	0.1276

Tabla 4.28 Licor de ZnSO₄ [2E-5M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	368.58	-1.69	368.74	25.50	132.47	4485.11	0.1248
1	367.74	-2.68	368.14	20.27	105.32	2246.19	0.1250
2	364.30	-4.47	365.41	17.02	88.45	1131.44	0.1259
5	358.47	-9.95	363.95	15.35	79.72	454.29	0.1264
10	344.53	-18.71	363.76	14.82	76.96	227.08	0.1263
20	301.98	-33.89	363.78	14.69	76.18	113.16	0.1259
30	250.69	-46.28	362.73	15.29	79.06	75.21	0.1255
40	216.71	-53.10	360.90	14.68	75.62	56.29	0.1253
50	183.92	-59.26	359.83	14.88	76.23	44.72	0.1244
60	160.29	-63.12	354.54	14.76	75.21	37.40	0.1248
70	139.47	-66.86	354.89	14.99	75.84	31.58	0.1230
80	124.07	-69.02	346.51	14.97	75.16	27.88	0.1241
90	109.63	-70.95	335.87	15.25	75.83	25.11	0.1257
100	98.72	-72.44	327.21	15.37	75.70	22.77	0.1267

Tabla 4.29 Licor de ZnSO₄ [4E-6M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	289.54	-1.06	289.59	20.43	106.16	5711.03	0.1589
1	289.62	-1.92	289.78	18.45	95.89	2853.60	0.1588
2	287.92	-3.44	288.44	16.59	86.20	1433.39	0.1595
5	285.56	-7.97	288.34	15.45	80.26	573.41	0.1595
10	279.69	-15.14	289.74	14.86	77.17	285.08	0.1586
20	254.59	-28.40	289.42	14.87	77.07	142.22	0.1582
30	221.14	-39.95	288.46	15.40	79.62	94.57	0.1578
40	196.69	-46.87	287.72	14.76	76.03	70.60	0.1571
50	170.74	-53.47	286.87	14.98	76.77	56.09	0.1560
60	150.98	-57.75	282.91	14.86	75.70	46.86	0.1564
70	132.92	-61.79	281.22	15.07	76.25	39.84	0.1552
80	118.88	-64.54	276.57	15.11	75.83	34.91	0.1554
90	107.36	-66.62	270.55	15.12	75.22	31.20	0.1562
100	95.48	-68.27	257.85	15.48	76.23	28.87	0.1606

Tabla 4.30 Licor de ZnSO₄ [8E-6M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	279.53	-0.87	279.56	17.37	90.26	5915.80	0.1646
1	280.61	-1.84	280.75	18.22	94.66	2945.36	0.1639
2	279.88	-3.27	280.34	16.22	84.26	1474.81	0.1641
5	276.34	-7.54	278.75	15.12	78.57	593.14	0.1650
10	270.99	-14.47	279.87	14.67	76.18	295.14	0.1642
20	249.28	-27.37	280.69	14.67	76.07	146.65	0.1632
30	217.98	-38.71	279.35	15.22	78.68	97.67	0.1630
40	194.78	-45.66	278.71	14.61	75.25	72.90	0.1622
50	171.09	-52.27	279.57	14.71	75.42	57.58	0.1602
60	150.71	-56.68	274.34	14.71	74.94	48.34	0.1614
70	132.96	-60.95	273.85	14.95	75.63	40.93	0.1594
80	119.23	-63.57	267.85	14.94	75.01	36.07	0.1605
90	106.11	-66.01	260.94	15.23	75.73	32.33	0.1619
100	95.92	-67.42	249.84	15.32	75.46	29.83	0.1659

Tabla 4.31 Licor de ZnSO₄ [1E-5M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	281.53	-0.97	281.57	19.19	99.69	5873.56	0.1634
1	282.61	-1.94	282.77	19.04	98.92	2924.30	0.1627
2	280.89	-3.37	281.38	16.64	86.44	1469.36	0.1635
5	277.37	-7.64	279.85	15.25	79.22	590.80	0.1643
10	272.08	-14.55	281.09	14.70	76.31	293.86	0.1635
20	249.40	-27.58	281.37	14.77	76.58	146.29	0.1628
30	218.09	-38.93	280.36	15.29	79.02	97.31	0.1624
40	194.63	-45.91	279.71	14.68	75.62	72.63	0.1616
50	169.91	-52.56	279.52	14.88	76.23	57.57	0.1601
60	150.61	-56.80	275.08	14.74	75.10	48.21	0.1609
70	132.85	-61.08	274.71	14.98	75.79	40.80	0.1589
80	119.15	-63.81	269.97	14.98	75.22	35.78	0.1593
90	105.98	-66.13	261.93	15.26	75.89	32.20	0.1612
100	95.69	-67.79	253.12	15.40	75.83	29.43	0.1637

Tabla 4.32 Licor de ZnSO₄ [2E-5M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	284.53	-0.77	284.56	15.02	78.02	5812.03	0.1617
1	284.60	-1.73	284.73	16.91	87.88	2904.16	0.1616
2	282.89	-3.36	283.38	16.48	85.64	1458.96	0.1623
5	280.43	-7.71	282.99	15.23	79.11	584.26	0.1625
10	274.25	-14.72	283.55	14.74	76.56	291.31	0.1621
20	250.68	-27.76	283.27	14.78	76.64	145.31	0.1617
30	219.56	-39.33	283.84	15.31	79.16	96.12	0.1604
40	195.36	-46.23	282.39	14.71	75.74	71.94	0.1601
50	170.15	-52.79	281.37	14.90	76.35	57.19	0.1591
60	150.75	-57.16	277.96	14.78	75.33	47.70	0.1592
70	132.93	-61.31	276.92	15.01	75.91	40.47	0.1576
80	119.06	-64.05	272.13	15.03	75.42	35.49	0.1580
90	106.19	-66.35	264.74	15.25	75.87	31.86	0.1595
100	95.84	-67.78	253.40	15.37	75.70	29.40	0.1635

Tabla 4.33 Licor de NaCN [2E-6M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	377.57	-1.28	377.66	18.87	98.07	4379.17	0.1218
1	379.73	-2.36	380.05	17.28	89.77	2175.81	0.1210
2	377.34	-4.32	378.41	15.90	82.59	1092.57	0.1216
5	372.84	-10.03	378.62	14.87	77.24	436.68	0.1215
10	357.88	-19.23	379.01	14.64	76.05	217.94	0.1212
20	310.29	-34.90	378.35	14.67	76.07	108.80	0.1211
30	256.65	-47.26	378.18	15.18	78.48	72.15	0.1204
40	220.44	-54.17	376.59	14.63	75.37	53.95	0.1201
50	186.62	-60.25	376.09	14.81	75.89	42.79	0.1190
60	162.20	-64.02	370.28	14.70	74.92	35.82	0.1196
70	140.96	-67.64	370.53	14.92	75.47	30.25	0.1178
80	125.08	-69.81	362.41	14.93	74.95	26.66	0.1187
90	110.27	-71.74	351.95	15.23	75.75	23.97	0.1200
100	99.32	-73.10	341.71	15.33	75.51	21.81	0.1213

Tabla 4.34 Licor de NaCN [5E-6M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	364.56	-1.19	364.64	18.21	94.59	4535.57	0.1262
1	365.70	-2.29	366.00	17.37	90.25	2259.35	0.1257
2	363.27	-4.27	364.28	16.32	84.80	1134.96	0.1263
5	358.44	-9.85	363.80	15.19	78.93	454.47	0.1264
10	344.53	-18.71	363.76	14.82	76.96	227.08	0.1263
20	302.23	-34.22	365.50	14.81	76.76	112.62	0.1253
30	250.82	-46.51	364.43	15.34	79.31	74.86	0.1249
40	215.52	-53.38	361.33	14.82	76.31	56.22	0.1251
50	182.96	-59.54	360.94	15.00	76.84	44.58	0.1240
60	159.43	-63.41	356.14	14.88	75.79	37.22	0.1242
70	135.47	-67.29	350.92	15.48	78.26	31.89	0.1242
80	123.01	-69.32	348.27	15.13	75.93	27.72	0.1234
90	108.57	-71.25	337.69	15.42	76.67	24.96	0.1249
100	97.79	-72.62	327.28	15.53	76.45	22.74	0.1265

Tabla 4.35 Licor de NaCN [1E-5M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	373.56	-1.19	373.64	17.64	91.67	4426.28	0.1231
1	374.71	-2.27	375.01	16.83	87.46	2205.06	0.1227
2	371.31	-4.34	372.38	16.24	84.35	1110.26	0.1235
5	365.69	-10.09	371.43	15.25	79.23	445.13	0.1238
10	351.29	-19.12	371.81	14.84	77.08	222.16	0.1236
20	303.96	-34.85	370.37	14.96	77.55	111.13	0.1237
30	252.53	-47.15	371.34	15.40	79.61	73.46	0.1226
40	216.42	-53.95	367.80	14.86	76.55	55.22	0.1229
50	183.16	-60.02	366.53	15.05	77.13	43.89	0.1221
60	159.60	-63.89	362.63	14.92	76.03	36.55	0.1220
70	138.53	-67.51	362.14	15.16	76.69	30.93	0.1205
80	122.91	-69.56	351.98	15.17	76.11	27.43	0.1221
90	108.62	-71.48	341.93	15.44	76.74	24.64	0.1234
100	97.67	-72.85	331.31	15.57	76.63	22.46	0.1249

Tabla 4.36 Licor de NaCN [2E-5M]+1hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	2411.07	-6.40	2426.19	14.72	76.47	681.66	0.0190
1	2383.97	-13.25	2449.15	15.30	79.49	337.63	0.0188
2	2192.70	-25.41	2427.55	15.57	80.91	170.31	0.0189
5	1597.38	-49.36	2452.75	15.12	78.56	67.41	0.0188
10	971.24	-66.51	2436.50	15.03	78.04	33.90	0.0189
20	514.39	-77.71	2416.05	15.12	78.36	17.04	0.0190
30	337.34	-82.07	2445.66	15.58	80.50	11.15	0.0186
40	260.02	-83.82	2414.37	15.21	78.33	8.41	0.0187
50	202.30	-84.91	2278.77	15.67	80.26	7.05	0.0196
60	174.36	-85.29	2124.97	15.16	77.22	6.23	0.0208
70	147.45	-86.20	2223.37	15.39	77.78	5.03	0.0196
80	129.09	-86.53	2133.13	15.38	77.15	4.52	0.0201
90	112.49	-86.47	1827.70	15.69	77.95	4.60	0.0231
100	100.22	-86.70	1740.87	15.85	77.96	4.27	0.0237

Tabla 4.37 Licor de NaCN [2E-6M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	369.56	-1.09	369.62	16.38	85.13	4474.40	0.1245
1	371.71	-2.28	372.00	17.01	88.37	2222.87	0.1237
2	368.30	-4.36	369.37	16.41	85.25	1119.32	0.1245
5	362.62	-10.12	368.35	15.42	80.11	448.85	0.1249
10	348.06	-19.18	368.51	15.02	78.00	224.14	0.1247
20	302.64	-34.77	368.42	14.99	77.73	111.72	0.1243
30	249.76	-47.00	366.23	15.54	80.29	74.48	0.1243
40	215.34	-53.87	365.25	14.92	76.86	55.61	0.1237
50	182.36	-59.93	363.94	15.11	77.40	44.20	0.1229
60	158.58	-63.69	357.76	14.99	76.38	37.04	0.1236
70	138.16	-68.49	376.87	15.31	77.42	29.71	0.1157
80	122.43	-69.59	351.02	15.23	76.41	27.49	0.1224
90	107.67	-71.53	339.90	15.58	77.41	24.77	0.1240
100	97.20	-72.88	330.26	15.65	77.00	22.52	0.1253

Tabla 4.38 Licor de NaCN [5E-6M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	356.55	-1.10	356.62	17.17	89.21	4637.56	0.1290
1	357.69	-2.20	357.95	17.09	88.82	2310.11	0.1285
2	355.21	-4.10	356.12	16.02	83.24	1160.95	0.1292
5	351.20	-9.61	356.19	15.13	78.60	464.18	0.1291
10	338.93	-18.39	357.16	14.81	76.92	231.27	0.1287
20	296.77	-33.58	356.23	14.83	76.90	115.55	0.1286
30	247.74	-45.79	355.31	15.35	79.35	76.78	0.1281
40	213.98	-52.72	353.24	14.79	76.19	57.51	0.1280
50	181.97	-58.98	353.07	14.99	76.81	45.57	0.1268
60	158.60	-62.83	347.33	14.88	75.81	38.17	0.1274
70	138.11	-66.56	347.22	15.10	76.40	32.27	0.1257
80	122.71	-68.73	338.29	15.11	75.83	28.54	0.1270
90	108.47	-70.78	329.52	15.39	76.53	25.58	0.1281
100	96.46	-72.35	318.19	15.72	77.34	23.36	0.1300

Tabla 4.39 Licor de NaCN [1E-5M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	358.55	-1.00	358.60	15.49	80.50	4611.88	0.1283
1	359.69	-2.20	359.96	16.97	88.18	2297.26	0.1278
2	358.24	-4.19	359.20	16.23	84.34	1151.02	0.1281
5	352.25	-9.70	357.36	15.23	79.11	462.66	0.1287
10	340.12	-18.58	358.81	14.91	77.41	230.20	0.1281
20	298.23	-33.88	359.22	14.87	77.11	114.58	0.1275
30	249.24	-46.09	359.41	15.34	79.27	75.91	0.1267
40	214.40	-52.94	355.77	14.81	76.27	57.10	0.1271
50	182.07	-59.21	355.72	15.02	76.96	45.23	0.1258
60	158.80	-62.94	349.11	14.88	75.79	37.97	0.1267
70	137.99	-66.69	348.69	15.13	76.54	32.13	0.1251
80	122.77	-68.97	342.09	15.13	75.91	28.22	0.1256
90	108.65	-70.89	331.86	15.38	76.46	25.40	0.1272
100	97.27	-72.42	321.98	15.60	76.76	23.10	0.1285

Tabla 4.40 Licor de NaCN [2E-5M]+2hr acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	2410.76	-6.20	2424.94	14.26	74.09	682.01	0.0190
1	2372.45	-12.86	2433.48	14.93	77.57	339.81	0.0189
2	2200.22	-24.53	2418.53	15.02	78.02	170.95	0.0190
5	1619.20	-48.66	2451.15	14.76	76.67	67.45	0.0188
10	990.34	-66.15	2448.92	14.70	76.32	33.73	0.0188
20	526.28	-77.51	2433.29	14.76	76.53	16.92	0.0188
30	343.76	-81.91	2443.13	15.28	78.98	11.17	0.0186
40	263.45	-83.80	2437.65	15.01	77.32	8.33	0.0185
50	211.31	-84.97	2410.28	15.01	76.89	6.68	0.0186
60	177.80	-85.52	2275.17	14.87	75.78	5.83	0.0194
70	149.98	-86.42	2403.27	15.13	76.53	4.66	0.0182
80	131.11	-86.51	2153.16	15.15	76.00	4.48	0.0200
90	114.31	-86.69	1977.77	15.44	76.77	4.26	0.0213
100	101.87	-86.79	1820.95	15.60	76.77	4.09	0.0227

Tabla 4.41 Licor de NaCN [2E-5M] + 30min. de acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	2603.73	-6.74	2621.82	14.34	74.50	630.80	0.0175
1	2563.29	-13.87	2640.28	14.88	77.34	313.19	0.0174
2	2358.85	-26.53	2636.54	15.07	78.30	156.81	0.0174
5	1668.96	-50.97	2650.15	14.82	76.96	62.39	0.0174
10	1001.21	-67.76	2645.60	14.71	76.41	31.22	0.0174
20	524.99	-78.43	2617.98	14.85	76.98	15.72	0.0175
30	342.24	-82.42	2595.82	15.37	79.42	10.51	0.0175
40	263.50	-84.18	2599.89	15.02	77.36	7.81	0.0174
50	211.18	-85.35	2605.92	15.02	76.98	6.17	0.0172
60	177.29	-85.65	2336.80	14.92	76.00	5.67	0.0189
70	149.82	-86.55	2487.62	15.15	76.62	4.50	0.0175
80	130.94	-86.51	2151.48	15.16	76.10	4.49	0.0200
90	113.82	-86.69	1972.76	15.51	77.09	4.27	0.0214
100	101.70	-86.80	1819.30	15.62	76.88	4.09	0.0227

Tabla 4.42 Licor de NaCN [2E-5M] + 3Hr de acondicionamiento

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	2533.02	-6.80	2550.95	14.87	77.28	648.32	0.0180
1	2489.54	-13.69	2562.28	15.13	78.59	322.73	0.0180
2	2276.12	-26.13	2535.22	15.40	80.00	163.08	0.0181
5	1630.27	-50.42	2558.50	15.05	78.17	64.62	0.0180
10	982.58	-67.47	2564.69	14.96	77.69	32.21	0.0179
20	517.97	-78.08	2507.37	15.03	77.93	16.42	0.0183
30	337.39	-82.32	2525.50	15.58	80.54	10.80	0.0180
40	260.06	-84.08	2519.19	15.22	78.36	8.06	0.0179
50	207.62	-85.00	2380.10	15.27	78.24	6.76	0.0188
60	174.37	-85.42	2183.47	15.16	77.23	6.07	0.0203
70	147.29	-86.20	2221.74	15.40	77.87	5.04	0.0196
80	128.91	-86.29	1991.82	15.40	77.24	4.84	0.0215
90	112.16	-86.48	1824.55	15.74	78.17	4.61	0.0231
100	100.05	-86.59	1680.02	15.88	78.07	4.42	0.0246

Tabla 4.43 Sistema ZnS + NaCN [2E-5M] + 30min de acondicionamiento.

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	5171.95	-8.05	5223.37	8.61	44.76	316.62	0.0088
1	4935.74	-18.49	5204.40	10.23	53.13	158.89	0.0088
2	4488.80	-29.72	5168.78	8.79	45.67	79.99	0.0089
5	2978.50	-54.23	5095.83	8.67	45.05	32.45	0.0090
10	1765.44	-69.77	5104.27	8.46	43.93	16.19	0.0090
20	923.91	-80.84	5805.71	8.50	44.12	7.10	0.0079
30	586.96	-83.28	5016.66	8.98	46.50	5.46	0.0091
40	460.63	-84.77	5048.34	8.60	44.46	4.05	0.0090
50	360.51	-85.38	4475.34	8.80	45.35	3.64	0.0101
60	302.43	-86.12	4465.80	8.75	44.94	3.02	0.0101
70	260.24	-86.65	4447.45	8.72	44.61	2.57	0.0100
80	229.74	-86.67	3950.23	8.64	44.02	2.51	0.0112
90	201.33	-86.70	3498.14	8.77	44.40	2.50	0.0125
100	179.03	-86.94	3352.71	8.88	44.67	2.32	0.0129

Tabla 4.44 Sistema ZnS + NaCN [2E-5M] + 3Hr de acondicionamiento.

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	5772.58	-8.14	5831.31	7.81	40.56	283.61	0.0079
1	5577.77	-16.51	5817.69	8.11	42.14	142.14	0.0079
2	4986.58	-31.30	5836.05	8.29	43.08	70.84	0.0079
5	3265.59	-54.63	5641.36	7.95	41.29	29.31	0.0082
10	1930.43	-69.90	5616.03	7.74	40.21	14.72	0.0082
20	1007.09	-79.44	5493.68	7.77	40.31	7.51	0.0084
30	640.17	-83.24	5438.59	8.23	42.64	5.04	0.0084
40	505.25	-84.58	5352.41	7.84	40.54	3.83	0.0085
50	393.57	-85.23	4731.12	8.06	41.56	3.44	0.0096
60	331.77	-86.13	4914.88	7.98	41.01	2.75	0.0092
70	284.53	-86.52	4688.24	7.98	40.85	2.45	0.0095
80	251.52	-86.38	3981.29	7.89	40.26	2.50	0.0111
90	219.99	-86.42	3525.58	8.02	40.71	2.49	0.0125
100	196.23	-86.52	3228.26	8.10	40.85	2.42	0.0135

Tabla 4.45 Licores de NaCN [1E-5M] + ZnSO4 [2E-5M] + 2hr. de acondicionamiento.

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	2929.66	-7.56	2955.35	14.29	74.26	559.61	0.0156
1	2863.08	-15.33	2968.68	14.69	76.35	278.55	0.0155
2	2593.86	-28.79	2959.71	14.78	76.77	139.69	0.0155
5	1764.55	-53.62	2974.58	14.52	75.44	55.58	0.0155
10	1032.66	-69.68	2973.99	14.45	75.05	27.77	0.0155
20	537.54	-79.42	2927.13	14.55	75.44	14.06	0.0156
30	348.86	-83.15	2925.14	15.10	78.05	9.33	0.0156
40	268.76	-84.80	2966.19	14.74	75.93	6.85	0.0152
50	215.61	-85.71	2879.87	14.72	75.46	5.59	0.0155
60	180.94	-86.00	2595.62	14.62	74.53	5.11	0.0171
70	153.04	-86.77	2715.89	14.83	75.06	4.13	0.0161
80	133.84	-86.73	2343.71	14.84	74.52	4.12	0.0184
90	116.32	-86.90	2152.51	15.18	75.52	3.92	0.0196
100	104.03	-87.00	1987.19	15.28	75.26	3.75	0.0209

Tabla 4.46 Licores de NaCN [2E-5M] + ZnSO4 [4E-5M] + 2hr de acondicionamiento.

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	2787.27	-7.38	2810.56	14.67	76.23	588.44	0.0164
1	2734.52	-14.82	2828.60	14.89	77.34	292.34	0.0163
2	2483.19	-28.02	2812.78	15.05	78.21	146.99	0.0164
5	1710.40	-52.86	2833.00	14.84	77.07	58.36	0.0162
10	1008.52	-69.28	2850.13	14.76	76.65	28.98	0.0161
20	525.32	-79.22	2807.41	14.88	77.14	14.66	0.0163
30	342.33	-82.93	2780.49	15.38	79.49	9.81	0.0164
40	261.83	-84.58	2772.06	15.13	77.90	7.32	0.0163
50	210.36	-85.61	2748.43	15.09	77.30	5.85	0.0163
60	176.61	-85.65	2330.66	14.98	76.29	5.69	0.0190
70	149.15	-86.68	2572.74	15.22	76.96	4.35	0.0170
80	130.44	-86.64	2224.36	15.22	76.39	4.34	0.0193
90	113.82	-86.69	1972.76	15.51	77.09	4.27	0.0214
100	101.38	-86.92	1884.84	15.68	77.13	3.94	0.0219

Tabla 4.47 Sistema ZnS + NaCN [1E-5M] + ZnSO4 [2E-5M] + 2hr acondicionamiento.

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	5812.41	-9.13	5886.93	8.69	45.13	280.94	0.0078
1	5614.24	-18.18	5909.06	8.84	45.94	139.94	0.0078
2	4912.08	-32.71	5837.75	8.75	45.48	70.82	0.0079
5	3092.22	-57.41	5740.33	8.67	45.06	28.81	0.0080
10	1789.13	-71.82	5733.06	8.45	43.90	14.41	0.0080
20	926.03	-80.53	5625.56	8.48	43.98	7.33	0.0082
30	587.22	-84.01	5627.86	8.99	46.54	4.87	0.0081
40	463.15	-85.22	5553.72	8.56	44.25	3.68	0.0082
50	362.85	-85.67	4804.01	8.75	45.08	3.39	0.0094
60	304.86	-86.56	5078.67	8.69	44.61	2.65	0.0089
70	260.74	-86.94	4884.92	8.71	44.54	2.34	0.0091
80	229.52	-86.82	4132.17	8.65	44.06	2.40	0.0107
90	198.80	-86.86	3633.27	8.88	44.96	2.40	0.0120
100	178.80	-86.94	3350.24	8.89	44.73	2.32	0.0129

Tabla 4.48 Sistema ZnS + NaCN [2E-5M] + ZnSO4 [4E-5M] + 2hr.de acondicionamiento.

f (MHz)	Zx	Qx	Rx (omhs)	Cx (pf)	e'	e''	σ
0.5	5926.01	-9.03	6000.35	8.43	43.79	275.63	0.0077
1	5689.55	-17.84	5977.00	8.57	44.53	138.35	0.0077
2	4981.33	-32.53	5908.51	8.59	44.64	69.98	0.0078
5	3151.92	-57.21	5819.50	8.49	44.11	28.41	0.0079
10	1819.88	-71.86	5845.55	8.31	43.17	14.14	0.0079
20	940.56	-80.47	5683.16	8.34	43.30	7.26	0.0081
30	598.06	-83.98	5698.85	8.82	45.70	4.81	0.0080
40	470.41	-85.19	5609.23	8.43	43.57	3.65	0.0081
50	369.83	-85.79	5036.47	8.58	44.24	3.23	0.0090
60	309.63	-86.54	5127.18	8.55	43.92	2.63	0.0088
70	264.73	-86.92	4929.03	8.58	43.87	2.32	0.0091
80	233.58	-86.94	4377.68	8.51	43.32	2.27	0.0101
90	202.27	-86.84	3669.72	8.73	44.21	2.38	0.0119
100	181.60	-87.07	3547.23	8.75	44.06	2.19	0.0122