



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ESTUDIO ELECTROQUIMICO DE UN NUEVO MATERIAL ANODICO BASE NIQUEL (Ni) PARA PROTECCION CATODICA."

285194

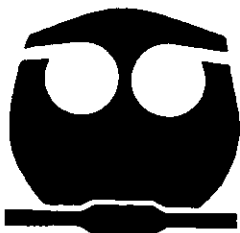
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

ARTURO RUIZ APARICIO



MEXICO, D.F.



2000

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA



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. Joan Genescá Llongueras
Vocal	Prof. Carlos Rodríguez Rivera
Secretario	Prof. Carlos Rosendo Arganis Juárez
1er. Suplente	Prof. Marco Antonio Talavera Rosales
2º. Suplente	Prof. Miguel Angel Hernández Gallegos

Sitio donde se desarrollo el tema:


Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química
Edificio D
Departamento de Ingeniería Metalúrgica
México D.F., México

Asesor Del Tema:



Dr. Juan Genescá Llongueras

Sustentante:



Arturo Ruiz Aparicio

DEDICATORIAS

Con muchísimo cariño para mi papá y mi mamá:

Luis Ruiz y Reyna Aparicio

A quienes agradezco su amor, comprensión apoyo, paciencia, por haberme guiado por el camino del éxito y sobre todo el haber depositado toda su confianza en mi.

A mis hermosos sobrinitos:

Luisito, Kevin y Sinai

Porque sin duda son lo mas preciado que Dios nos ha dado y a quienes hemos de apoyar con entusiasmo alegría y sobre todo mucho amor.

A mis ejemplares hermanos:

Victor Hugo Marisela Joel
Mauricio Cristina Jorge
y Luis

Por haberme brindado su fundamental apoyo a lo largo de toda mi vida con tanto optimismo, madurez y espíritu de superación.

Gracias a todos ellos y para ellos, he aprendido a querer, vivir y alcanzar metas para ser alguien en la vida. Los Adoro.

A mi adorable novia:

Marisolita Preciosa

Por estar a mi lado en todo momento
y por hacer de cada uno de estos los
momentos mas felices de mi vida.
Gracias por tu motivación, tu cariño
y tu comprensión. Te Amo P.B.O.M.

Y a toda su familia:

Familia Palmero Muñiz

Mil gracias por aceptarme en su
hogar, por brindarme su apoyo
incondicional y su valiosísima
amistad.

Con mucho cariño para mi tío Elías
Alejandro, Martín, Berna, Román, tías
y sus familias, primos, primas, cuñadas
y cuñados y toda la familia **Ruiz** y
familia **Aparicio**, les agradezco el
apoyarme y ser parte de esto.

También quiero agradecer a todos mis amigos,
quienes siempre me motivaron y se preocuparon
por seguir mi trayectoria escolar, laboral, personal
y han estado conmigo cuando los he necesitado:
Rene y Laura, Yuri y Richie, Benji, Henry, Chucho,
Arturo G., Domingo, Oscar, Alma, Norma, Gaby,
Adry, Chuck, Alex, Julie, Fanny, Barbie y una
lista innumerable, Muchísimas Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al **Dr. Juan Genescá** y al **Ing. Trinidad Pérez** por su comprensión, paciencia, el haberme apoyado y dedicado parte de su valioso tiempo para la realización de este trabajo.

También quiero agradecer al **Ing. Carlos Rodríguez**, **Ing. Carlos R. Arganis** por haberme orientado para llevar a cabo esta tesis.

Igualmente agradezco al **Dr. Francisco J. Rodríguez G.**, y al **Ing. Marco A. Talavera** por brindarme su gran ayuda y amistad.

A todo el grupo de Corrosión y compañeros de Carrera: Marco, Trini, Manuel, José Luis, Carlos, Miguel H, Alfredo, Ruth, Sandra, Miguel T., Rodrigo, Heriberto, Oscar y a una persona que admiro mucho por su valentía, ganas de vivir y salir adelante, Israel Lucas y a todos aquellos que de alguna manera convivieron conmigo, gracias por brindarme su amistad.

Y en general al Departamento de Ingeniería Química Metalúrgica, Facultad de Química y a la Universidad Nacional Autónoma de México, Muchísimas Gracias.

ÍNDICE

	Página
Resumen.....	1
Objetivo General.....	2

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN: ASPECTOS TEÓRICOS

1.1 ¿Qué es la Corrosión?.....	4
1.1.1 Corrosión Electroquímica.....	4
1.2 Protección Catódica.....	6
1.2.1 Fundamentos de Protección Catódica.....	7
1.3 Dielectricidad.....	11
1.3.1 Propiedades de los dieléctricos.....	11
1.4 Recubrimientos.....	20
1.4.1 Métodos para la aplicación de recubrimientos.....	20
1.5 Características Generales del DOX.....	22

CAPÍTULO 2.- TÉCNICA EXPERIMENTAL

2.1 Técnica Experimental.....	26
-------------------------------	----

CAPÍTULO 3.- RESULTADOS EXPERIMENTALES

	Página
3.1 Procedimiento de Cálculo.....	31
3.2 Resultados de DOX en diferentes medios.....	35
3.3 Resultados de polvo de Cobre en diferentes medios.....	44
3.4 Resultados de polvo de Cobre + Benzotriazol en diferentes medios.....	47

CAPÍTULO 4.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Discusión de Resultados.....	63
----------------------------------	----

CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones.....	68
-----------------------	----

CAPÍTULO 6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1 Referencias Bibliográficas.....	71
-------------------------------------	----

RESUMEN

El DOX es una aleación ternaria obtenida electrolíticamente cuyos componentes son Níquel (Ni) en mayor proporción, Cobalto (Co) y Boro (B). El material tiene un brillo marcado que le proporciona una agradable apariencia (sin necesidad de pulir el sustrato) y reporta una mayor dureza comparada con otros materiales, así como una excelente resistencia a la corrosión y al desgaste.

El trabajo realizado y descrito en esta tesis fue el de ensayar la aleación mencionada como posible nuevo material anódico para protección catódica por corriente impresa. Se realizó un estudio de Dielectricidad o Impedancia a Altas Frecuencias, en un sistema formado por el DOX y diferentes medios corrosivos, con diferentes concentraciones, al igual que con cobre inmerso en los mismos medios y cobre mas benzotriazol, que es un inhibidor orgánico para la corrosión del cobre. Asimismo, se describe el método a seguir para llevar a cabo dicha técnica de dielectricidad de manera adecuada.

También se efectuaron mediciones de impedancia y conductividad eléctrica de la aleación obteniéndose información de gran utilidad para la caracterización electroquímica del DOX. Estos resultados pueden permitir en el futuro ampliar las fronteras de estudio de la aleación, debido a que la información mostrada en los diagramas de Nyquist y los valores de conductividad obtenidos demuestran los cambios ocurridos a diferentes frecuencias y confirman que la aleación tiene notables propiedades como posible material anódico.

OBJETIVOS

Objetivo General

Caracterizar eléctrica y electrolíticamente la aleación Ni-Co-B conocida comercialmente con el nombre de DOX como posible nuevo material anódico para sistemas de protección catódica por corriente impresa.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN: ASPECTOS TEÓRICOS

1.1 ¿QUÉ ES LA CORROSIÓN?

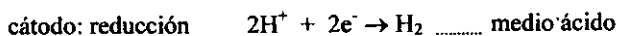
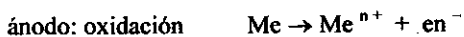
La corrosión se puede definir como el deterioro de un material o de sus propiedades debido a la interacción que tiene con su medio ambiente⁽¹⁾.

1.1.1 Corrosión Electroquímica⁽²⁾.

La corrosión electroquímica es un proceso espontáneo que denota siempre la existencia de una zona anódica (la que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito, y es imprescindible la existencia de estos tres elementos, además de una buena unión eléctrica entre ánodos y cátodos, para que este tipo de corrosión pueda tener lugar. La corrosión más frecuente siempre es de naturaleza electroquímica y resulta de la formación de una multitud de zonas anódicas y catódicas sobre la superficie metálica.

La infinidad de burbujas que aparecen sobre la superficie metálica revela la existencia de infinitos cátodos, mientras que en los ánodos se va disolviendo el metal. A simple vista es imposible distinguir entre una zona anódica y una catódica, dada la naturaleza microscópica de las mismas (micro-pilas galvánicas). Al cambiar continuamente de posición las zonas anódicas y catódicas, llega un momento en que el metal se disuelve totalmente.

Las reacciones que tienen lugar en las zonas anódicas y catódicas son las siguientes:



y alcalino

Ya que la corrosión de los metales en ambientes húmedos es de naturaleza electroquímica, una aproximación lógica para intentar detener la corrosión sería mediante métodos electroquímicos. Los métodos electroquímicos para la protección contra la corrosión requieren de un cambio en el potencial del metal para prevenir o al menos disminuir su disolución.

La protección catódica, en este sentido, es un tipo de protección electroquímico contra la corrosión, en el cual el potencial de electrodo del metal en cuestión se desplaza en dirección negativa. Los principios de la protección catódica pueden ilustrarse mediante un diagrama termodinámico potencial - pH o de Pourbaix, como se muestra en la Figura 1 en el caso del hierro (Fe).

Consideremos un espécimen de acero al carbono sumergido en ácido clorhídrico (HCl) de concentración 0.1M. El acero se disolverá en la zona anódica de acuerdo a la reacción de oxidación y se desprenderá hidrógeno (H_2) en la zona catódica según la reacción de reducción. El potencial de corrosión del espécimen quedará entre los potenciales de equilibrio correspondientes al electrodo de H_2 y Fe, es decir, que en el diagrama del Hierro (Figura 1) estará en la zona de corrosión.

De acuerdo con el diagrama de Pourbaix del hierro, hay un camino para prevenir la corrosión mediante un cambio de potencial. Aplicando una corriente catódica, el potencial del espécimen de acero se desplazará en la dirección negativa hacia la zona de inmunidad, en la cual el metal termodinámicamente se encuentra estable. Este proceso es conocido como protección catódica y se mencionará a continuación.

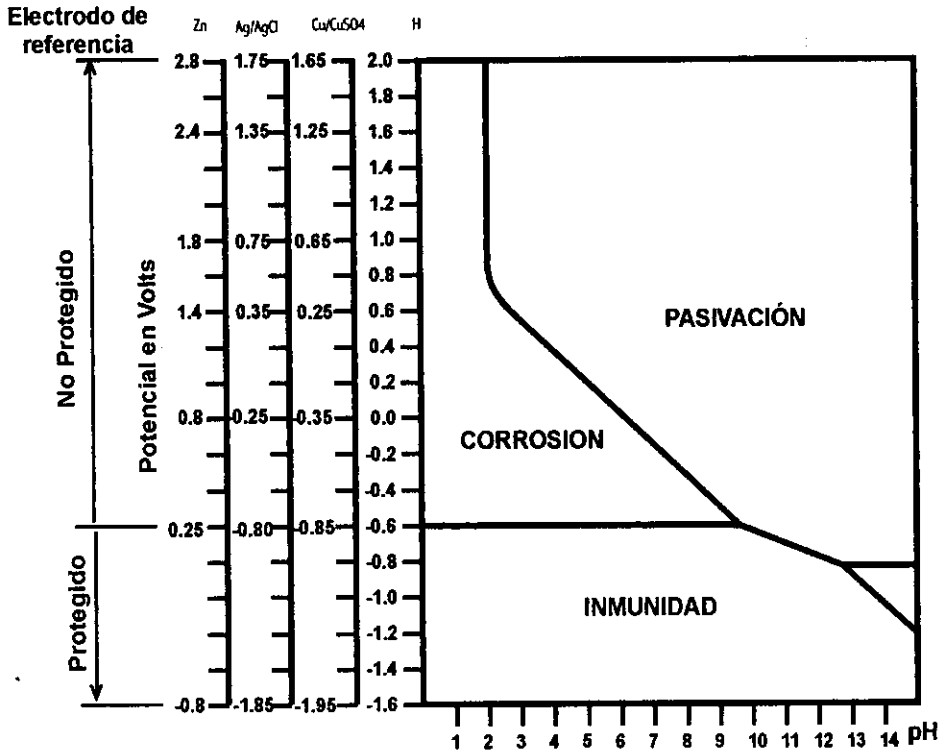


Figura 1. Diagrama potencial-pH para el Hierro (Fe)

1.2 PROTECCIÓN CATÓDICA⁽³⁾

Para lograr el desplazamiento del potencial del Hierro en la dirección negativa (Figura 1) a la zona de inmunidad y que este en consecuencia llegue a ser un cátodo, el hierro que se corroe se une eléctricamente a un metal mas negativo en la serie electroquímica al cual se le llama ánodo. Para que el Hierro este protegido catódicamente, el valor de su potencial de electrodo tiene que quedar por debajo de su potencial de corrosión en la solución

mencionada. Su disolución será así prevenida totalmente (protección catódica completa) o al menos disminuirá (protección catódica incompleta).

1.2.1 Fundamentos de la Protección Catódica

La Protección Catódica es un medio electroquímico para el control de la corrosión en el cual la reacción de oxidación en una celda galvánica se concentra en el ánodo y suprime a la corrosión del cátodo en la misma celda. En la protección catódica el objeto a ser protegido es el cátodo como en la anódica el objeto a proteger es el ánodo.

Existen dos tipos de protección catódica:

- a) Conectando el metal que se trata de proteger a otro menos noble que él, es decir, mas negativo en la serie electroquímica. Este sistema se conoce como *protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio*. La protección consiste en la creación de una pila galvánica en la cual el metal a proteger actúe como cátodo (polo positivo de la pila), mientras que el metal anódico se “sacrifica”, o sea que se disuelve (Figura 2). El metal mas usado en la práctica por su bajo precio y alta resistencia mecánica es el acero, los metales que se puedan conectar a él deben tener un potencial más negativo y quedan reducidos en la práctica al Zinc (Zn), Aluminio (Al), Magnesio (Mg) y a sus aleaciones.

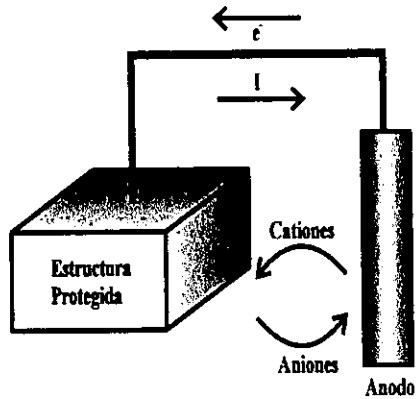


Figura 2 Protección Catódica con Ánodos Galvánicos o de Sacrificio

- b) Conectando el metal a proteger al polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua, pura o rectificada, y el polo positivo a un electrodo auxiliar que puede estar constituido por chatarra de hierro, ferro-silicio, plomo-plata, grafito, etc. Este sistema se conoce con el nombre de *protección catódica con corriente impresa*. Un esquema simplificado del mismo se presenta en la Figura 3⁽²⁾.

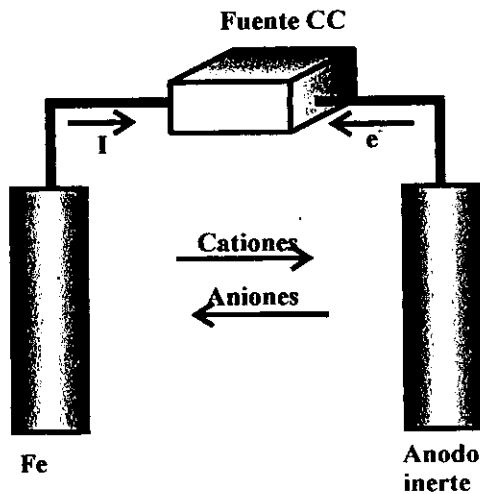
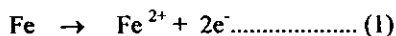


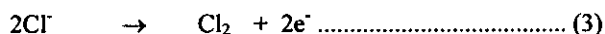
Figura 3 Protección Catódica con Corriente Impresa

Este sistema de protección catódica consiste en unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua (pura o rectificada) para imprimir la corriente necesaria para la protección de dicha estructura, y el positivo con un electrodo auxiliar que cierra el circuito. Los electrodos auxiliares se hacen de chatarra de hierro, aleación de ferro-silicio, grafito, titanio platinado, etc. Este sistema de protección catódica tiene la característica de que se utiliza como ánodo dispersor de la corriente (electrodo auxiliar) en materiales metálicos que se consumen en mayor o menor grado con el paso de la corriente. Sin embargo, el intercambio necesario de corriente con el electrolito tiene lugar a través de reacciones electroquímicas, las cuales dependen tanto del material anódico, como del ambiente que rodea al mismo e incluso de la densidad de corriente que éste suministra.

Por ejemplo, en el caso de un ánodo de chatarra de hierro o de acero al carbono, la reacción electroquímica es la de disolución del hierro:



y por tanto, el ánodo se consume con el tiempo. Para aquellos ánodos que se puedan considerar insolubles o inertes, por ejemplo el de titanio platinado, la reacción electroquímica puede ser:



según el ambiente y la densidad de corriente suministrada por el ánodo.

En el suelo y en las aguas naturales tiene lugar la reacción (2), mientras que en agua de mar tiene lugar principalmente la reacción (3).

Los componentes de un sistema de protección catódica con corriente impresa son:

- a) Un ánodo dispensor
- b) Una fuente de corriente continua
- c) El cable portador de la corriente

La Figura 4 muestra un sistema de corriente impresa utilizado para proteger una tubería enterrada. Los ánodos enterrados y la tubería están conectados a un rectificador eléctrico, el cual suministra corriente directa a los electrodos enterrados (ánodos y cátodo protegido) del sistema.

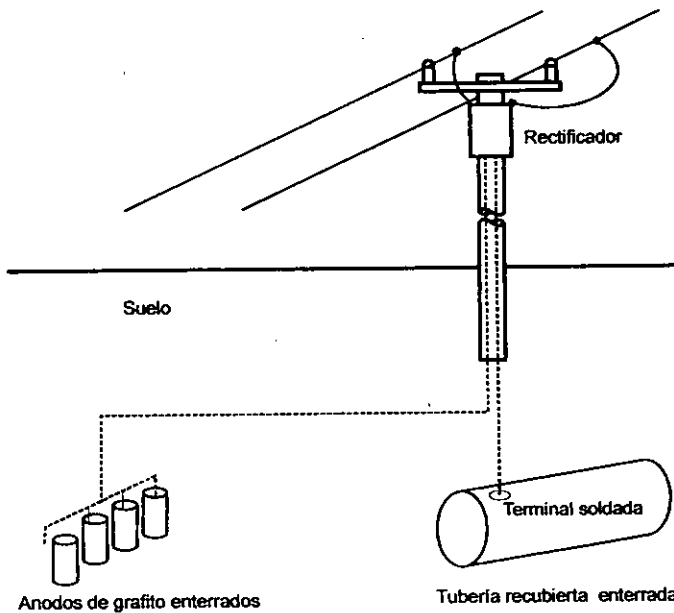


Figura 4. Protección catódica por corriente impresa de una tubería enterrada usando ánodos de grafito.

1.3 DIELECTRICIDAD

1.3.1 Propiedades de los dieléctricos.

Los materiales que tienen muy pocos electrones libres y alta estabilidad poseen una conductividad eléctrica extremadamente pequeña, se clasifican como no conductores y son comúnmente conocidos como *aisladores o dieléctricos* ⁽⁵⁾. Los dieléctricos requieren una fuerza electromotriz muy elevada para producir en ellos una corriente eléctrica. El vacío es el único dieléctrico perfecto conocido que tiene un valor de 1. Todos los otros materiales aislantes como el papel, tela, madera, baquelita, caucho, plástico, vidrio, mica, cerámica, laca, barniz, aire y aceites son dieléctricos imperfectos. La función del aislamiento eléctrico es evitar el paso de la corriente entre dos conductores. La mayor parte de los condensadores tienen entre sus placas un material sólido no conductor o dieléctrico ⁽⁶⁾ y una de las principales razones es que aumenta su capacidad debido al dieléctrico.

Cuando un material dieléctrico está sometido a la acción de un campo eléctrico externo ϵ_0 , se ejercen fuerzas eléctricas sobre las partículas cargadas positiva y negativamente, que constituyen la sustancia. Las partículas cargadas opuestas tienden a moverse en direcciones opuestas debido a que las fuerzas ejercidas están dirigidas por un dieléctrico, por ser un aislador. Existen dos casos especiales en donde se aprecia lo anterior:

a) *Cuando no existen dipolos permanentes en la sustancia dieléctrica*, es decir, no existen dipolos en ausencia del campo eléctrico externo, esto significa que para cada molécula del dieléctrico, la localización promedio de la carga negativa (los electrones) coincide con la localización promedio de la carga positiva (los núcleos). Cuando se aplica

un campo eléctrico ϵ_0 desde el exterior, se introducen dentro de dipolos eléctricos inducidos. Al aplicarse un campo eléctrico se produce un estiramiento de cada una de las moléculas de tal manera que la localización promedio de sus cargas negativas se desplaza de la localización promedio de las cargas positivas.

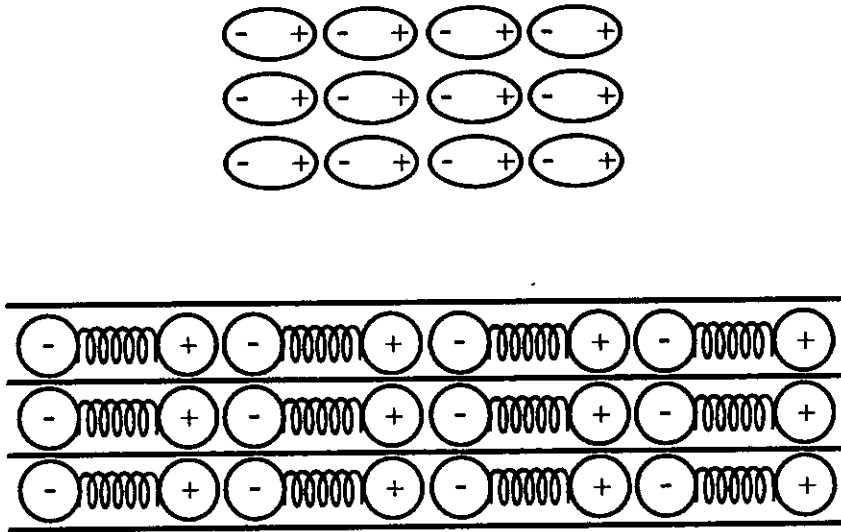


Figura 6. a) Representación esquemática de un material dieléctrico cuyas moléculas no poseen momentos dipolares eléctricos permanentes. En ausencia de un campo eléctrico aplicado ϵ_0 , las posiciones promedio de cada molécula positiva y negativa coinciden. b) Cuando se aplica un campo eléctrico ϵ_0 al material, las cargas positivas en cada una de las moléculas se desplazan en dirección ϵ_0 y las cargas negativas en la dirección opuesta. Por consiguiente cada molécula se convierte en un dipolo eléctrico. Los resortes entre ellos representan el hecho de que estos son dipolos inducidos. En otras palabras, si el campo eléctrico se elimina, las dos cargas de los dipolos regresarán hasta coincidir y no existirán ya dipolos eléctricos.

En la Figura 6 se muestra el proceso, en el cual cada molécula con cargas positivas y negativas de igual valor y cuyos centros están unidos mediante un resorte que representa las fuerzas de atracción que se ejercen mutuamente entre sí. Cuando $\epsilon_0 = 0$ cada uno de los resortes posee una longitud cero y las cargas están completamente superpuestas. Cuanto mayor sea el valor de ϵ_0 mayor será el alargamiento de cada uno de los resortes. Como cada dipolo inducido posee un momento dipolar (p), cuyo módulo es proporcional a la separación de las dos cargas, el momento dipolar eléctrico aumenta al crecer la intensidad del campo eléctrico aplicado.

b) Cuando si existen dipolos permanentes en la sustancia eléctrica. Para la mayoría de estas sustancias, en ausencia de un campo eléctrico aplicado, los dipolos eléctricos están orientados al azar debido a la agitación térmica. Cuando se aplica un campo eléctrico, las fuerzas iguales y opuestas que el mismo campo ejerce sobre las dos cargas de cada dipolo producen un par sobre el dipolo, como se observa en la Figura 7.

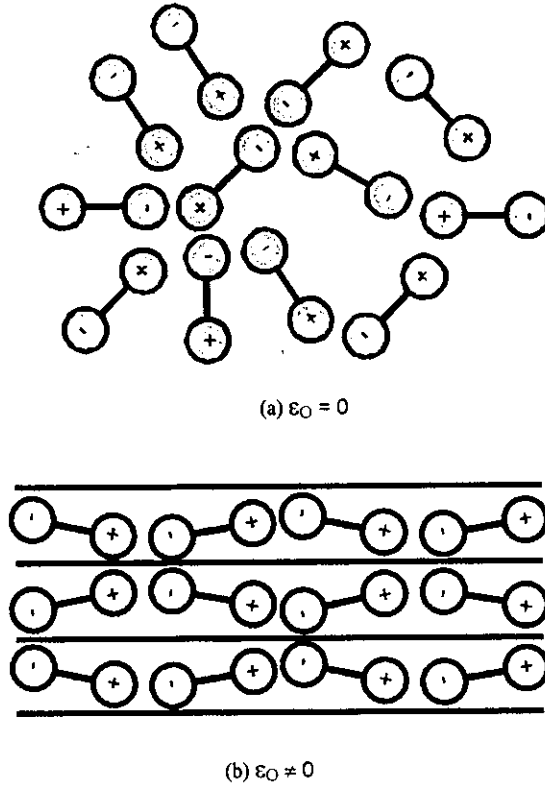


Figura 7. a) Representación esquemática de un material dieléctrico cuyas moléculas poseen momentos dipolares eléctricos permanentes. La propiedad de ser dipolos permanentes se indica uniendo las dos cargas mediante una varilla rígida y no un resorte. En ausencia de un campo eléctrico aplicado ϵ_0 , la agitación térmica hace que las orientaciones de los dipolos sea al azar. b) Cuando se aplica un campo eléctrico ϵ_0 al material, cada molécula gira de tal manera que la carga positiva se desplaza en la dirección de ϵ_0 y la carga negativa en la dirección opuesta.

Estos momentos de torsión hacen que el momento dipolar eléctrico rote de tal manera que el momento dipolar eléctrico \mathbf{p} se alinea parcialmente con el campo eléctrico ϵ_0 . Si el

campo eléctrico aplicado no es demasiado grande, el valor promedio de las componentes p a lo largo de la dirección ϵ_0 , es proporcional al módulo de ϵ_0 .

La figura 8 ilustra esquemáticamente el efecto macroscópico de estos procesos. Para simplificar se dibuja una barra rectangular del dieléctrico cuyas caras son perpendiculares a la dirección del campo eléctrico uniforme que se aplica desde el exterior. En el cuerpo del dieléctrico se desarrollan o se rotan si ya estaban presentes, los momentos dipolares eléctricos, de tal manera que, en promedio, los vectores momento dipolar eléctrico son paralelos al vector campo eléctrico aplicado.

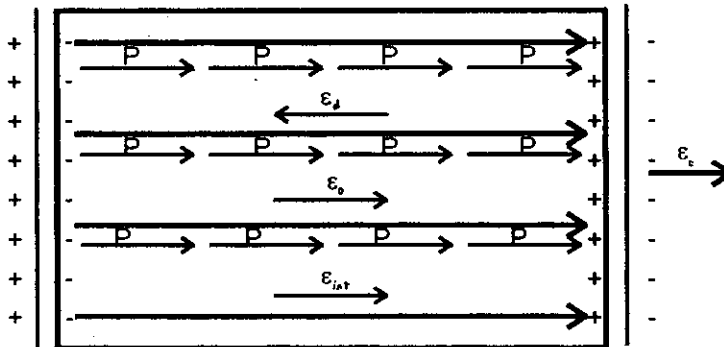


Figura 8.- El campo depolarizante ϵ_d , el campo eléctrico aplicado ϵ_0 y el vector suma de ellos, es decir, el vector campo eléctrico interno ϵ_{int} , en una barra de material eléctrico. El campo depolarizante es el campo eléctrico producido por los dipolos eléctricos que constituyen las moléculas del material. Cada dipolo eléctrico se indica por medio de su momento dipolar eléctrico p . Como los momentos dipolares eléctricos están dirigidos de la carga negativa hacia la carga positiva, los dipolos se alinean en la dirección del campo eléctrico aplicado ϵ_0 . El campo depolarizante ϵ_d está en dirección de la parte mas intensa del campo eléctrico producido por los dipolos individuales. Esta dirección es opuesta al momento dipolar p . La dirección de p coincide con la dirección de ϵ_0 y, en consecuencia ϵ_d está en dirección opuesta a la de ϵ_0 .

La figura 8 también muestra que el campo eléctrico ϵ_d de un dipolo eléctrico es más intenso en la región situada entre las cargas y que en dicha región ϵ_d es antiparalelo respecto al momento dipolar p . Pero p es paralelo al campo eléctrico ϵ_0 que actúa sobre el dipolo eléctrico. Por lo tanto, en la región donde ϵ_d es más importante debido a que posee una intensidad mayor, posee en promedio una dirección opuesta a la de ϵ_0 . Esto significa que a medida que los módulos de los momentos dipolares eléctricos aumentan (y/o sus direcciones aumentan al grado de alargamiento) bajo la influencia de un campo eléctrico ϵ_0 de valor creciente, y que resulta del alineamiento creciente de los dipolos microscópicos. Al campo eléctrico ϵ_d se denomina campo depolarizante. Como los momentos dipolares eléctricos macroscópicos a lo largo de la dirección del campo eléctrico poseen un valor proporcional a la intensidad del campo eléctrico aplicado, la magnitud del campo depolarizante es también proporcional al campo aplicado.

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

$$\epsilon_{int} = \epsilon_0 + \epsilon_d$$

Como ϵ_0 y ϵ_d son opuestos, los términos de esta suma tienden a eliminarse. En consecuencia ϵ_{int} posee siempre un valor menor que ϵ_0 . Además, el módulo de ϵ_{int} es proporcional al del campo aplicado ya que los dos términos del segundo miembro de la ecuación anterior poseen intensidades proporcionales a las de ϵ_0 .

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

$$k = \epsilon_0 / \epsilon_{int}$$

El parámetro k , en esta ecuación, es una constante denominada la constante dieléctrica. El valor de k es siempre mayor que 1 (uno) para cualquier sustancia dieléctrica ya que ϵ_{in} siempre es menor que ϵ_0 .

A excepción de algunas explicaciones muy especiales, los condensadores siempre se fabrican con un dieléctrico por tres razones⁽⁷⁾:

- a) **Estructural.**- Cuando dos electrodos están muy poco separados para maximizar la capacidad, no existe una mejor manera de mantenerlos juntos y al mismo tiempo evitar que hagan contacto directo.
- b) **Campo de ruptura.**- El campo eléctrico máximo que un material puede soportar sin que sufra una descarga eléctrica destructiva al convertirse en conductor.
- c) **Aumentan la capacidad del condensador.**

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

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

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

$$C = Q / V$$

Si ahora consideramos un capacitor de placas paralelas midiendo bajo dos condiciones distintas, primero en vacío (o en la práctica en el aire) entre las placas y después colocando el material que se investiga entre las placas. Supóngase que en ambos casos se coloca una carga Q sobre las placas. La densidad de carga será Q/A , donde A es el área de la placa. En caso de que haya vacío, E será σ / ϵ_0 , el cual es, $Q / A\epsilon_0$. Con el dieléctrico entre las placas, el campo eléctrico será $1/k$ más grande.

Si la separación entre las placas se considera como d , la diferencia de potencial entre las placas será:

$$V = E d$$

En el vacío:

$$V_v = Q_d / A\epsilon_0$$

Para el dieléctrico:

$$V_d = Q_d / kA\epsilon_0$$

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

Para el vacío:

$$C = A\epsilon_0 / d$$

y para el dieléctrico:

$$C_d = kA\epsilon_0 / d$$

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

$$k = C_d / C_v$$

Tabla 1.- Constante dieléctrica de varias sustancias a 20°

Material	K
Vacío	1
Aire	1.006
Parafina	2.1
Aceite	2.2
Benceno	2.29
Mica	6
Acetona	27
Alcohol Metílico	38
Agua	81
Vidrio Pirex 7070	4
Porcelana	7
Silicio (Si)	11.7
Azufre (S)	4
Cloruro de Sodio	6.12

1.4 RECUBRIMIENTOS⁽⁷⁾

Los recubrimientos son capas protectoras que pueden formarse naturalmente, sintéticamente o por ambos métodos. La función principal es retardar o prevenir la corrosión de un metal en servicio. Entre los recubrimientos fabricados o sintéticos están los orgánicos y los metálicos. Dentro de estos recubrimientos metálicos se puede encontrar una aleación ternaria base níquel (Ni-B-Co), conocida bajo el nombre comercial de “DOX”.

Los recubrimientos que se obtienen de manera artificial presentan una gran variedad y se clasifican como orgánicos y metálicos. Los recubrimientos orgánicos consisten en pinturas, lacas, esmaltes, aceites, ceras y betunes. Los recubrimientos metálicos se fabrican a partir de casi todos los metales no ferrosos, excepto los metales alcalinos y los alcalino-térreos.

1.4.1 Métodos para la aplicación de recubrimientos

Existen varios métodos para la aplicación de recubrimientos metálicos entre los que se encuentran la inmersión en caliente, la cementación, la electrodeposición, la condensación de vapores metálicos y el rociado térmico del metal. Para la utilización de los recubrimientos se necesitan conocer las características de la superficie a proteger o recubrir y las del metal con el cual será recubierta⁽¹⁰⁾.

Inmersión en caliente.

La inmersión en caliente consiste en sumergir la pieza a recubrir, por un periodo de tiempo relativamente corto, en un baño del metal fundido que será el recubrimiento; en caso de que se desee cambiar las propiedades físicas del recubrimiento metálico, se requerirá un tratamiento adicional el cual será mínimo.

Cementación.

El método de cementación es muy parecido al de inmersión en caliente, solo que en este, en lugar de sumergir la pieza en un metal fundido, se calienta la pieza rodeada del metal que la recubrirá, generalmente en forma de polvo, hasta una temperatura un poco abajo que la del punto de fusión del metal que sea más fundible de los dos.

Electrodeposición.

En este proceso, la pieza a recubrir se coloca como el cátodo de una celda electrolítica y el baño electrolítico es una solución que contiene los iones del metal a depositar al aplicar una corriente a través de la celda; el ánodo de la celda puede ser del metal que se va a depositar o puede ser de un material altamente conductor y que sea inerte en ese electrolito.

Condensación de vapores metálicos.

Los recubrimientos producidos por este proceso, pueden ser clasificados en tres categorías dependiendo de la fuente de vapor. a) evaporación de metales fundidos, b) “cathode sputtering”, c) descomposición térmica de halogenuros de metal o de compuestos organometálicos.

Rociado térmico.

Este proceso se lleva a cabo a través de un plasma térmico que brinda una fuente de calor controlable y no oxidante para rociar cualquier material en forma de polvo que se pueda fundir sin descomponerse.

Para la producción comercial de recubrimientos base níquel, el método mas importante es la electrodeposición y desde su primera utilización se han logrado muchos avances que permiten fabricar recubrimientos de diferentes espesores y controlar la composición de la aleación a depositar. Algunos recubrimientos de cobre, cobalto, oro y paladio pueden hacerse en baños por depósito sin corriente (Electroless), es decir sin la aplicación de

ninguna corriente eléctrica. Entre las ventajas que presentan los recubrimientos obtenidos por electrodeposición se encuentra una mayor uniformidad en el espesor de los recubrimientos, mas alta pureza y la gran variedad de espesores que se pueden obtener.

1.5 Características generales del DOX

Entre los recubrimientos metálicos que se obtienen electrolíticamente , se encuentra el "DOX". El cual se obtiene utilizando corriente de pulso en ondas cuadradas en presencia de un catalizador. El "DOX"es una aleación ternaria cuyos componentes níquel, cobalto y boro, están balanceados, de tal manera que su estructura resulta cristalina y al aplicarse sobre una superficie, el producto obtenido resulta en una aleación compuesta por Ni-B + Co-B en una matriz de Ni-Co. Esta aleación presenta un brillo marcado que le proporciona buena apariencia (sin necesidad de pulir el sustrato), mayor dureza que el cromo, mayor conductividad, mayor resistencia al desgaste y una excelente resistencia a la corrosión; sus propiedades mecánicas son muy definidas así como su comportamiento frente a la corrosión. Ver tablas comparativas.

El proceso "DOX" es un tratamiento que puede aplicarse a sustratos de cualquier metal, si son debidamente activados; también es posible aplicarlo sobre sustratos no metálicos, si previamente se tratan para que se activen adecuadamente.

Tabla 2. Propiedades Mecánicas⁽⁸⁾

MATERIAL	TENSIÓN Ksi	FLUENCIA Ksi	ELONGACIÓN N%	MODULO YOUNG	R. IMPACTO Lb.Ft.
Acero al Carbón 0.13 – 18% C	77.4	64.0	29.1	23.91	80
DOX	102.3	88.5	16.5	24.0	126
Acero Aleado Ni-Cr-No 0.36–0.44% C	128	87.5	12.5	30.0	60
DOX	147.4	105.8	15.0	34.9	91

Tabla 3. Velocidad de corrosión en mpy
(Ref. Corrosion Data Survey-NACE)

METAL	H ₂ SO ₄ pH 1 y 2	HCL pH 1 y 3, 28%	KOH
Inox. 304	>50 mpy	>50 mpy	<20 mpy
Inox. 316	> 2 mpy	>50 mpy	<20 mpy
Ni-Cr-Pe	>20 mpy	>50 mpy	<20 mpy
Niquel	>20 mpy	>50 mpy	< 2 mpy
Platino	-----	-----	< 2 mpy
Cadmio	>75 mpy	>75 mpy	6.43mpy
DOX	0.00378mpy 0.00180mpy	0.0255mpy 0.0073mpy	0.000468mpy

Tabla 4. Propiedades Mecánicas
Acero Grado y Superalloys⁽⁸⁾

ALEACIÓN	TRATAMIENTO TÉRMICO	PUNTO DE FLUENCIA psi	TRACCIÓN MÁXIMA psi	ELONGACIÓN %
Fe C grado 5	595° C	40000	70000	22
Fe C grado 10	595° C	55000	85000	20
SS-304	reconocido	30000	85000	62
SS-316	reconocido	30000	90000	50
SS-317L	reconocido	38000	88000	55
Stellite 3	25° C	105000	125000	<1
Stellite 190	25° C	75000	90000	<1
Haynes 188	25° C	70000	139000	56
Astroloy	870° C	100000	112000	25
Hastelloy	25° C	52000	114000	43
Inconel 600	25° C	36000	90000	47
Dox Super Star	As deposited	88525	108170	15
Dox Super Star	As deposited	108000	147000	15

Tabla 5. Dureza de diferentes tipos de Acero DOX⁽⁸⁾

ACERO TIPO	HV 100 gr	ROCKWELL C
Star	944	66
Super Star	978	70
Premium	1005	71
Super Premium	1008	73

CAPÍTULO 2

TÉCNICA EXPERIMENTAL

2.1 TÉCNICA EXPERIMENTAL

Con el propósito de recabar más información con respecto al comportamiento de el DOX como recubrimiento y analizar las interacciones que ocurren dentro del sistema que conforman esta aleación y los diferentes electrolitos, se sometió al DOX a la prueba de Dielectricidad o Impedancia a Altas Frecuencias.

La aleación cuyos componentes son Níquel-Cobalto-Boro, es obtenida electrolíticamente y debido a sus características físicas, el DOX se molió hasta reducirlo a un tamaño de partícula de aproximadamente malla 40 y a partir de ahí se llevó a cabo el ensayo de Dielectricidad como se describe a continuación, primero siendo expuesto el DOX y posteriormente el polvo de cobre malla 400 en los mismos medios corrosivos y por último el polvo de cobre en los mismos medios mas el inhibidor para el cobre conocido como Benzotriazol.

La metodología fue la siguiente:

- Se prepararon las siguientes soluciones (electrolitos) con diferentes concentraciones:

Solución	Concentración
a) H_2SO_4	0.1 M
b) H_2SO_4	1 M
c) HCl	0.1 M
d) HCl	1 M
e) NaOH	0.1 M
f) NaOH	1 M

- El equipo en que se efectuaron las pruebas fue el Vector Impedance Meter 4193A, Hewlett Packard (figura 9), cuya función es proporcionar el ángulo de fase y la magnitud del vector de impedancia operando a un intervalo de frecuencias que va desde los 0.4 hasta los 110 MHz. Debido a que los valores proporcionados por el equipo son susceptibles de error a causa de las resistencias internas(ruido interno) del mismo es necesario utilizar las expresiones de resistencia, R_x , y reactancia, X_x , con el propósito de corregir los errores existentes y darle confiabilidad a los valores finales de impedancia real.

También se muestra la conexión a la celda de medición, la cual esta hecha de acero inoxidable y tiene una capacidad de 5ml.

Debido a que el sistema se comporta como un capacitor y la capacitancia depende de la geometría del mismo, la forma de la celda es una parte importante con respecto a la veracidad de los resultados.

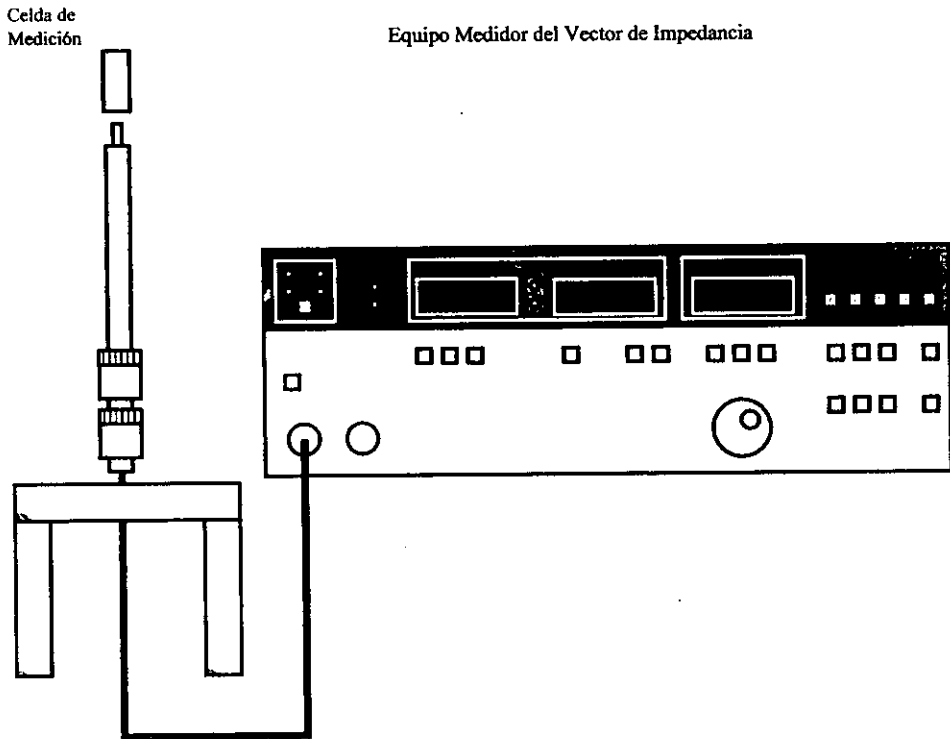


Figura 9. Celda de medición y Equipo Medidor de Impedancia (Vector Impedance Meter 4193A, Hewlette Packard).

- Una vez que se tenía el DOX hecho polvo, se procedió a acondicionar la aleación. Esta se agregó en tubos de ensayo y se adicionaron los diferentes electrolitos. Fue muy importante que la mezcla fuera expuesta a una agitación muy vigorosa con el propósito de favorecer la interacción entre el metal y el electrolito. Para lo anterior, se utilizó el Rot-Tap con una base para fijar los tubos de ensaye. El tiempo de acondicionamiento para cada una de las pruebas fue de 25 minutos.

- Posteriormente se vertió la mezcla en la celda siguiendo la secuencia descrita a continuación:

- a) Se agitó vigorosamente el tubo que contenía la muestra hasta que se observó homogénea y se vació rápida y cuidadosamente.
- b) Como siguiente paso, se hicieron las conexiones indicadas de la celda con el equipo encendido.
- c) Una vez conectada, se dejó reposar el sistema 2 minutos para que se separaran las fases metal-solución perfectamente.
- d) Se aseguró que la fracción volumétrica de sólidos fuera equivalente a aproximadamente un 75% y que se alcanzara un equilibrio de fases en el sistema.
- e) Posteriormente se realizaron las mediciones evaluadas a las siguientes frecuencias: 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 MHz., se leyó el ángulo de fase y la magnitud de la impedancia para cada frecuencia.
- f) Por último, se recomienda limpiar perfectamente la celda después de cada muestra para evitar que las pruebas posteriores no se vean afectadas por residuos de la prueba anterior. Lavar con agua abundante y secar muy bien primero retirando el exceso de agua y después agregando acetona.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1 Procedimiento de Cálculo.

En el presente capítulo se presenta la metodología de cálculo que se siguió para la determinación de los valores de dielectricidad, impedancia y conductividad mostrados en las tablas dentro del mismo capítulo así como los diagramas que representan dichos datos de manera gráfica.

Es de gran importancia saber que con el propósito de que el equipo utilizado (Vector Impedance Meter 4193A, Hewlette Packard) proporcione resultados confiables de impedancia real con base en su resistencia, R_x y su reactancia, X_x , se recurrió a dos expresiones cuya función es corregir los errores que pudieran existir en las resistencias internas del equipo.

Las expresiones son las siguientes:

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

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

Donde:

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

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

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

Es importante mencionar que las dos ecuaciones descritas solo son válidas cuando $Z_0 \gg Z_s$.

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

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

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

Aquí, en este punto cabe señalar, que para cada frecuencia se debe tomar los valores ya mencionados de Z_0 y θ_0 (aire) y Z_s y θ_s (mercurio) para obtener los valores de impedancia reales.

Los valores obtenidos para los circuitos abierto (aire) y cerrado (mercurio) se muestran al principio de las tablas junto con los demás resultados.

Como siguiente paso se deben calcular los valores de R_x y C_x , de igual manera para cada una de las frecuencias por medio de las siguientes ecuaciones:

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

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

Donde:

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

Una vez determinadas la resistencia y la capacitancia real, el siguiente paso es el cálculo de la constante dieléctrica y de las pérdidas de dielectricidad.

Para la constante dieléctrica:

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

Pérdidas de dielectricidad:

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

Donde:

C_a = constante de la celda (en pF)

K = constante de la celda (en MHz⁻²)

F = Frecuencia (en MHz)

C_x = Capacitancia del sistema

ω = Frecuencia Angular (en Hz)

Para demostrar que e' y e'' son adimensionales se hace lo siguiente:

Para e' :

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

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

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

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

Para e'' :

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

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

$$e'' = 1/(\Omega \text{HzpF}) * (0) = \text{adimensional.}$$

Como se mencionó antes, C_a y K son las constantes de la celda y tienen los valores siguientes:

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

$$K = 7.268674106 * 10^{-8}$$

Y por último se calcula la conductividad eléctrica por medio de la siguiente ecuación:

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

En donde $\epsilon_0 = 8.854187818 * 10^{-12} \text{ C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$ (y es la constante de permitividad o constante dieléctrica del vacío)

3.2 Tablas de resultados de DOX en diferentes medios

DOX en H2SO4 0.1M

Frecuencia	Zm	θ_m	Z ₀	x	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	0.98	-5.7	65000	-90	0.5	10.9	0.484177991	-0.588297923	0.76192045	-50.54530315	1.19898629	322572.3706	27515334.87	689685.9528	19.18452271
1	0.85	1.2	33000	-90	0.5	14.4	0.365520964	-0.466466838	0.592620243	-51.91825609	0.960816988	211392.1172	6878833.9	430323.3611	23.94002157
2	0.84	11.3	16413	-89.8	0.5	23.3	0.364476554	-0.294589619	0.468642936	-38.94716346	0.60257978	106738.8225	1719708.635	343076.5434	38.17250278
5	0.93	33.3	6593.3	-89.8	0.7	44.3	0.276195416	0.009655614	0.276364142	2.002215938	0.27653297	-4024.071006	275153.5371	299032.5957	83.1796531
10	1.33	53.1	3300	-89.8	1.1	62	0.281624864	0.547007163	0.61524743	62.75871418	1.344090844	-22999.1885	68788.52224	30761.42112	17.11338849
20	2.3	67.9	1657.3	-89.5	2.1	74	0.284235897	1.575743859	79.60829282	8.735591585	-4967.301562	17197.27514	2366.523794	2.633118899	
30	3.28	74.1	1244.1	-89.5	3.05	77.5	0.233841741	2.487056364	2.498025484	84.52896723	26.58527569	-2114.412707	7643.340334	516.4606115	0.861961908
40	4.3	77	831	-89.6	4	81	0.331731482	3.544186326	3.559676306	84.85308866	38.19744607	-1112.895874	4299.463171	270.6023614	0.602172873
50	5.28	78.9	691.3	-89.6	4.95	82.2	0.329397018	4.472423631	4.484537382	85.7880627	61.05421247	-707.8752829	2751.725718	135.4562105	0.376733649
60	6.28	80.2	551.7	-89.6	5.9	83.4	0.366739868	5.443716373	5.456055908	86.14617345	81.71073899	-485.0714596	1910.979449	84.89126367	0.28336347
70	7.28	81.4	481.5	-89.6	6.9	84.1	0.346796752	6.385384528	6.394785036	86.89159631	117.9174931	-355.0216788	1404.035964	50.08752512	0.195055063
80	8.24	82	411.3	-89.6	7.9	84.9	0.399261606	7.302077266	7.312984495	86.87064287	133.9466189	-271.6353253	1075.010144	38.58113462	0.171709608
90	9.2	82.5	368.8	-89.4	8.5	85.4	0.45965918	8.223624293	8.236460592	86.80111746	147.5860507	-214.3673394	849.4311251	31.1242281	0.155837048
100	1.16	83.5	326.3	-89.3	9.1	86	0.504485693	0.513713451	0.720005086	-45.51942241	1.02759569	1577.135199	688.0762889	4023.022238	22.38113193

DOX en HCl 1M

Frecuencia	Zm	θ_m	Z ₀	x	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	15.5	-8.2	65000	-90	0.5	10.9	14.85159616	-2.698173315	15.09470264	-10.29698048	15.34178854	3769.379206	27515334.78	53900.10436	1.49930236
1	15.5	-6	33000	-90	0.5	14.4	14.95220311	-2.099426579	15.09887313	-7.992633476	15.24698187	1465.651563	6878833.839	27117.62897	1.508625098
2	15.6	-5	16413	-89.8	0.5	23.3	15.103957	-1.805956869	15.21154158	-6.818423947	15.31989248	621.0835645	1719708.604	13494.28466	1.501445169
5	15.3	-4.4	6593.3	-89.8	0.7	44.3	14.78932814	-1.641860517	14.88016591	-6.334865451	14.97160187	236.030788	275153.5384	5523.281507	1.536373462
10	15.1	-4.9	3300	-89.8	1.1	62	14.49019074	-1.734268011	14.59360521	-6.825044209	14.69775774	129.6015342	68788.52896	2813.091846	1.56499706
20	14.4	-6.6	1657.3	-89.5	2.1	74	13.7244149	-2.109060378	13.88552124	-8.736456585	14.04851875	87.04699014	17197.27661	1471.541935	1.637315045
30	13.2	-7.5	1244.1	-89.5	3.05	77.5	12.47294217	-2.248856662	12.67401843	-10.21970578	12.87833624	74.26639493	7643.340983	1070.161003	1.766076227
40	11.9	-6.21	831	-89.6	4	81	11.23990972	-1.74607041	11.37472339	-8.830102265	11.51115405	53.69566042	4299.46351	897.9393942	1.998189307
50	10.6	-3.7	691.3	-89.6	4.95	82.2	9.935711125	-1.194691583	10.00727893	-6.856478421	10.07996345	37.9728203	2751.725935	820.3842326	2.282006742
60	9.54	1.2	551.7	-89.6	5.9	83.4	8.851144277	-0.313695278	8.856701403	-2.029790093	8.862262017	10.60795922	1910.978593	777.5313269	2.595368893
70	8.67	8.7	481.5	-89.6	6.9	84.1	7.812780504	0.750169119	7.848712819	5.494644795	7.884810392	-27.68747688	1404.036059	749.0598988	2.917052167
80	8.15	16.9	411.3	-89.6	7.9	84.9	7.004622319	1.799256014	7.232209754	14.40560585	7.466978539	-68.43528264	1075.010203	692.0888235	3.080217876
90	7.94	25.7	368.8	-89.4	8.5	85.4	6.339528225	2.865990347	6.952763743	24.32699124	7.635192568	-104.7066814	849.431157	601.6222615	3.01284738
100	8.03	35.1	326.3	-89.3	9.1	86	5.751064436	4.047016575	7.032288768	35.1313657	8.598944745	-130.24448942	688.0757525	480.7615269	2.6746202954

Tablas de resultados de DOX en diferentes medios

DOX en HCl 0.1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	x	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	θ
0.5	3.02	-14	65000	-90	0.5	10.9	2.439380224	-1.221456901	2.728100592	-26.59834237	3.050993349	52240.40074	27515334.79	271034.3514	7.539177287
1	2.2	-6	33000	-90	0.5	14.4	1.703687047	-0.714109974	1.847296026	-22.74135512	2.003010244	33305.13688	6878833.848	206420.3108	11.48370537
2	2.02	-0.3	16413	-89.8	0.5	23.3	1.560752252	-0.469551522	1.629854664	-16.74395171	1.702016589	14066.12958	1719708.608	121462.3824	13.51454426
5	1.91	12.3	6593.3	-89.8	0.7	44.3	1.364942318	-0.093596081	1.368147564	-3.922728492	1.371360337	1591.625512	275153.5388	60299.52115	16.77310562
10	2.08	29.1	3300	-89.8	1.1	62	1.299913583	0.495845202	1.391272004	20.87916943	1.489051129	-4077.003510	68788.52774	27766.77176	15.4473862
20	2.82	48.3	1657.3	-89.5	2.1	74	1.29234433	1.526150472	1.999821609	48.74228528	3.094606691	-3036.714492	17197.2757	6680.340073	7.432898138
30	3.68	59.6	1244.1	-89.5	3.05	77.5	1.192544659	2.508658099	2.777683967	64.57516415	6.469802336	-1724.938729	7643.340459	2130.187753	3.555239599
40	4.63	65.9	831	-89.6	4	81	1.245615615	3.583637151	3.793944318	70.83362936	11.55574265	-990.6066739	4299.463206	894.4746673	1.990479232
50	5.58	70	691.3	-89.6	4.95	82.2	1.207800293	4.537534086	4.695529483	75.09491393	18.25467111	-655.0883387	2751.725734	452.9772735	1.260015918
60	6.57	72.5	551.7	-89.6	5.9	83.4	1.252918426	5.524527236	5.664821777	77.22222616	25.61236637	-456.65573823	1910.979457	269.0374833	0.898035813
70	7.57	74.8	481.5	-89.6	6.9	84.1	1.215889459	6.494907549	6.60738739	79.39689164	35.90688811	-338.211463	1404.035969	164.4735918	0.50506927
80	8.53	76.2	411.3	-89.6	7.9	84.9	1.251771307	7.427935206	7.532672356	80.43458274	45.32868944	-260.4348391	1075.010147	114.0075433	0.367403185
90	9.52	77.2	368.8	-89.4	8.5	85.4	1.322865963	8.38596812	8.489666404	81.03591322	54.48355137	-205.7541308	849.4311276	84.30988406	0.422134275
100	10.5	78.6	326.3	-89.3	9.1	86	1.308491265	9.338282318	9.429510382	82.02389496	67.95281589	-167.1505575	688.0757817	60.83694669	0.338451952

DOX en NaOH 1M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	x	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	θ
0.5	1.72	-11.7	65000	-90	0.5	10.9	1.193302158	-0.839730479	1.459149518	-35.13430677	1.784223135	125542.1136	27515334.81	463464.4551	12.89187395
1	1.58	-5.9	33000	-90	0.5	14.4	1.087354281	-0.646629235	1.265096321	-30.73927525	1.471892582	64302.41242	6878833.857	280905.0075	15.62748916
2	1.46	1.1	16413	-89.8	0.5	23.3	1.000502898	-0.431085549	1.089414318	-23.30898291	1.186227006	28903.22327	1719708.612	174276.0775	19.39087408
5	1.44	16.8	6593.3	-89.8	0.7	44.3	0.877381009	-0.084519627	0.881442569	-5.502443944	0.885522931	3462.730087	275153.5393	93382.52993	25.97558003
10	1.69	36.6	3300	-89.8	1.1	62	0.839513729	0.491446574	0.972781084	30.34458089	1.127203766	-8265.425091	68788.52852	36680.27419	20.40620228
20	2.5	55.9	1657.3	-89.5	2.1	74	0.819248702	1.489925948	1.700308139	61.19565905	3.528901248	-4101.082793	17197.27539	5858.193171	6.518134202
30	3.41	65.6	1244.1	-89.5	3.05	77.5	0.741481982	2.439180945	2.54939193	73.09163359	8.765417598	-1990.98811	7643.340382	1572.303158	2.624140932
40	4.4	70.4	831	-89.6	4	81	0.835502418	3.501398164	3.599701848	76.57936544	15.50905553	-1075.146294	4289.463182	686.4699262	1.46308907
50	5.37	73.5	691.3	-89.6	4.95	82.2	0.830652359	4.442416797	4.519408185	79.40931949	24.58918793	-692.3174508	2751.725723	336.2643017	0.935419055
60	6.35	75.7	551.7	-89.6	5.9	83.4	0.85451396	5.417159634	5.478954227	81.01773755	35.09134424	-478.2015048	1910.979451	196.3642816	0.656455719
70	7.34	77.6	481.5	-89.6	6.9	84.1	0.820275138	6.359545456	6.412228143	82.65069808	50.12546149	-351.6650598	1404.035965	117.8282497	0.456856703
80	8.3	78.6	411.3	-89.6	7.9	84.9	0.874194087	7.282707043	7.334987194	83.15545859	61.54472923	-269.2918745	1075.010145	83.96840148	0.37371066
90	9.3	79.4	368.8	-89.4	8.5	85.4	0.945081092	8.246660418	8.300637705	83.462626029	72.90441734	-211.6565927	849.4311259	63.00718217	0.315472989
100	10.2	80.5	326.3	-89.3	9.1	86	0.951804859	9.170682603	9.2199843162	84.07493646	89.31174396	-171.6976264	688.0757804	46.28777424	0.257511075

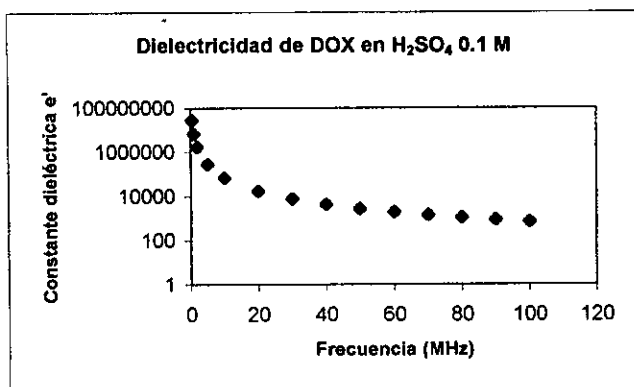
Tablas de resultados de DOX en diferentes medios

DOX en NaOH 0.1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Z ₀	X	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	3.9	-12.3	65000	-90	0.5	10.9	3.3195964	-1.321582015	3.572995842	-21.70834022	3.84573838	32951.72921	27515334.78	215023.468	5.981160829
1	3.72	-7.6	33000	-90	0.5	14.4	3.203140266	-0.975878897	3.348499244	-16.94411347	3.500454634	13852.06956	6878833.842	118116.6564	6.571140586
2	3.51	-3.3	16413	-89.8	0.5	23.3	3.045045045	-0.66052708	3.115861895	-12.23895961	3.188325691	5414.063527	1719708.605	64839.98498	7.214438163
5	3.59	4.6	6503.3	-89.8	0.7	44.3	3.077143085	-0.21114292	3.084378527	-3.925300737	3.091630983	706.4644174	275153.5385	26747.16748	7.440076749
10	3.46	14.6	3300	-89.8	1.1	62	2.830090315	0.35890424	2.852757165	7.2275394	2.87560556	-701.8884483	68788.52872	14379.23849	7.998992637
20	3.89	30	1657.3	-89.5	2.1	74	2.782128807	1.370757524	3.101484444	26.2296291	3.457500835	-1133.993445	17197.27625	5979.169828	6.652739202
30	4.47	41.1	1244.1	-89.5	3.05	77.5	2.692418769	2.28057177	3.528473668	40.26590746	4.624141893	-971.7797475	7643.340678	2980.421843	4.974261428
40	5.22	49.2	831	-89.6	4	81	2.752810413	3.321068957	4.313637003	50.34509997	6.759442677	-710.1495661	4299.463288	1529.167338	3.402864206
50	5.99	55.1	691.3	-89.6	4.95	82.2	2.706949543	4.223180046	5.016256126	57.34139607	9.29563892	-534.231267	2751.725769	889.551667	2.474405067
60	6.84	59.4	551.7	-89.6	5.9	83.4	2.73014721	5.168825777	5.845639184	62.15791303	12.51635712	-401.2399343	1910.979473	550.5345122	1.837661065
70	7.74	63	481.5	-89.6	6.9	84.1	2.705391948	6.114938259	6.666674473	66.13453339	16.52685317	-310.9515962	1404.035977	357.3696279	1.391698932
80	8.59	65.7	411.3	-89.6	7.9	84.9	2.700999434	7.009994434	7.512263273	68.92998532	20.89567536	-247.118468	1075.010151	247.3149313	1.100702463
90	9.53	67.8	368.8	-89.4	8.5	85.4	2.750719518	7.970065291	8.431393634	70.95811287	25.84356498	-198.2621241	849.4311298	177.7425791	0.889945889
100	10.4	70	326.3	-89.3	9.1	86	2.708953216	8.873803284	9.278082359	73.02414364	31.77714983	-164.0636867	688.0757826	130.0947963	0.723751604

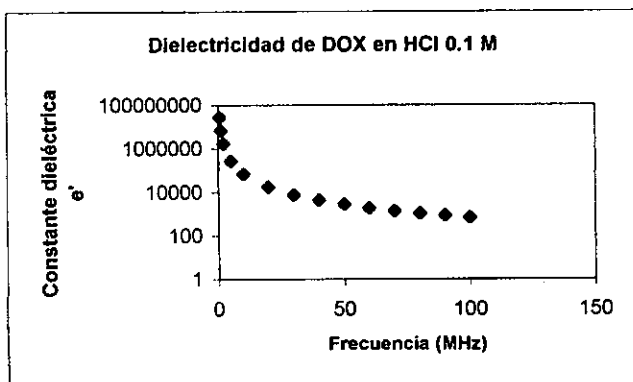
Gráficas de Dielectricidad de DOX en diferentes medios

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.87
1	6878833.9
2	1719708.635
5	275153.5371
10	68788.52224
20	17197.27514
30	7643.340346
40	4299.463171
50	2751.725718
60	1910.979449
70	1404.035964
80	1075.010144
90	849.4311251
100	688.0762889



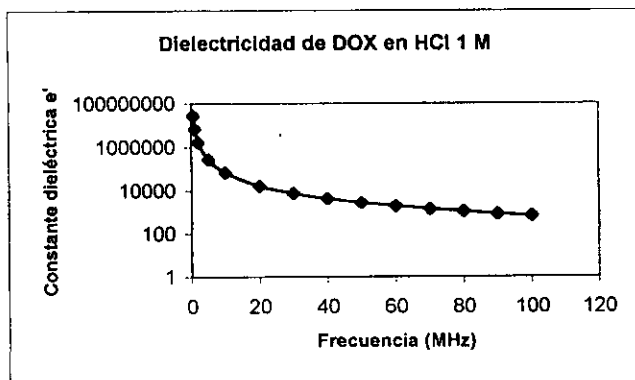
Gráfica 1

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.839
2	1719708.604
5	275153.5384
10	68788.52896
20	17197.27661
30	7643.340983
40	4299.46351
50	2751.725935
60	1910.979593
70	1404.036059
80	1075.010203
90	849.431157
100	688.0757925



Gráfica 2

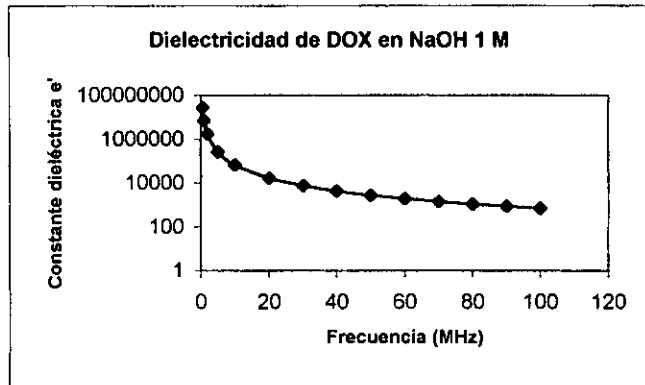
Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.839
2	1719708.604
5	275153.5384
10	68788.52896
20	17197.27661
30	7643.340983
40	4299.46351
50	2751.725935
60	1910.979593
70	1404.036059
80	1075.010203
90	849.431157
100	688.0757925



Gráfica 3

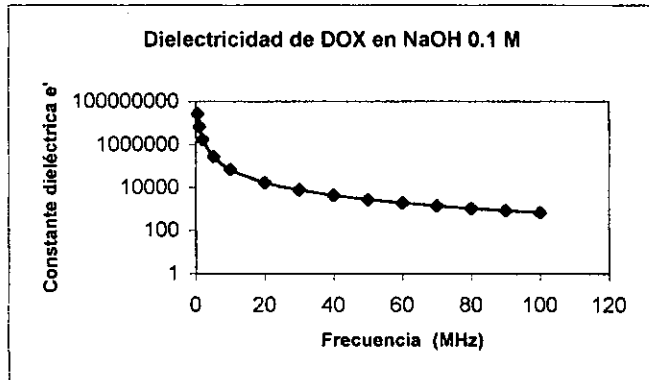
Gráficas de Dielectricidad de DOX en diferentes medios

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.81
1	6878833.857
2	1719708.612
5	275153.5393
10	68788.52652
20	17197.27539
30	7643.340382
40	4299.463182
50	2751.725723
60	1910.979451
70	1404.035965
80	1075.010145
90	849.4311259
100	688.0757804



Gráfica 4

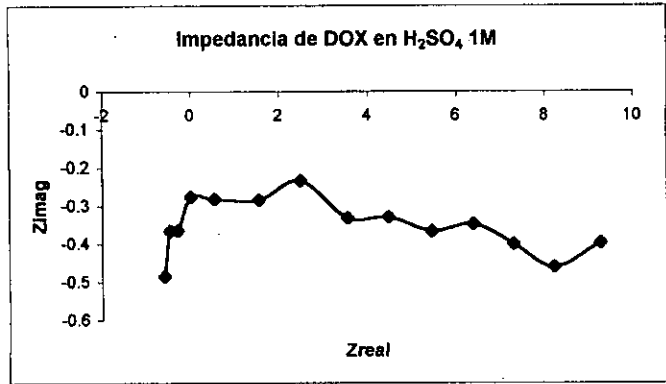
Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.842
2	1719708.605
5	275153.5385
10	68788.52872
20	17197.27625
30	7643.340678
40	4299.463288
50	2751.725769
60	1910.979473
70	1404.035977
80	1075.010151
90	849.4311298
100	688.0757826



Gráfica 5

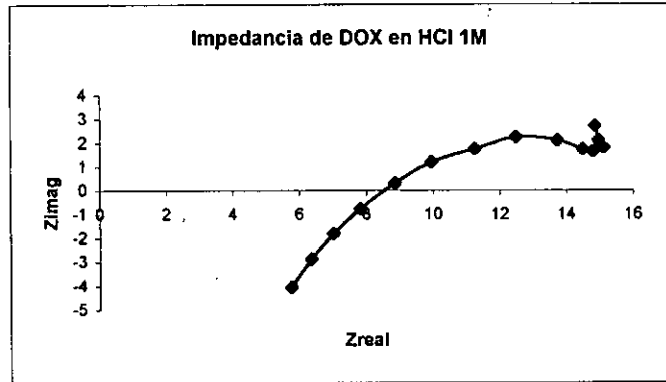
Gráficas de Impedancia de DOX en diferentes medios

R	X
-0.58829792	-0.48417799
-0.46646884	-0.36552096
-0.29458962	-0.36447655
0.009655614	-0.27619542
0.547007163	-0.28162486
1.54989634	-0.2842359
2.487056364	-0.23384174
3.544185326	-0.33173148
4.472423631	-0.32939702
5.443716373	-0.36673987
6.385384528	-0.34679675
7.302077266	-0.39926161
8.223624293	-0.45965918
9.27	-0.396



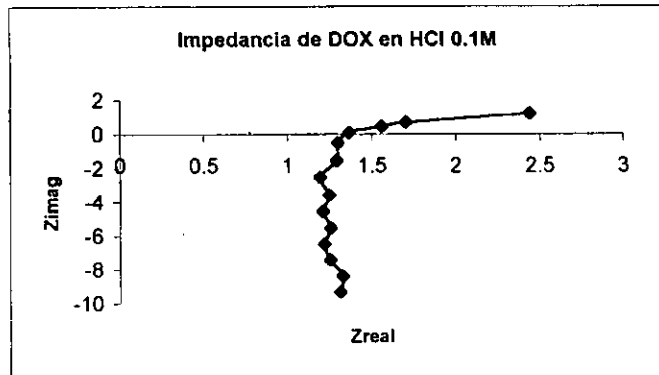
Gráfica 6

R	X
14.85159616	2.698173315
14.95220311	2.099426579
15.103957	1.805956869
14.78932814	1.641860517
14.49019074	1.734268011
13.7244149	2.109060378
12.47294217	2.248656662
11.23990972	1.74607041
9.935711125	1.194691583
8.851144277	0.313695278
7.812780504	-0.75016912
7.004822319	-1.79925601
6.339528225	-2.86599035
5.751064436	-4.04701658



Gráfica 7

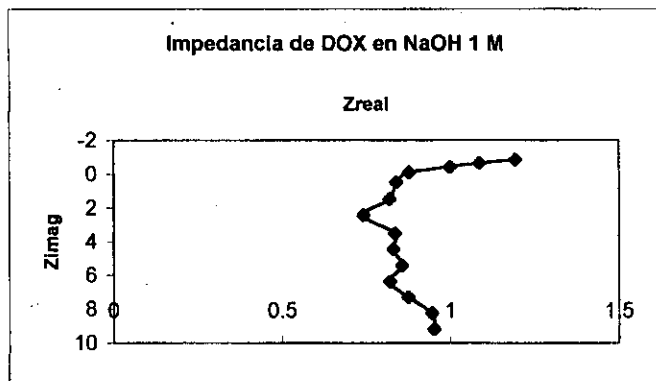
R	X
2.439380224	1.221456901
1.703687047	0.714109974
1.560752252	0.469551522
1.364942318	0.093596081
1.299913583	-0.4958452
1.2923433	-1.52615047
1.192544659	-2.5086581
1.245615615	-3.58363715
1.207800293	-4.53753409
1.252918426	-5.52452724
1.215889459	-6.49490755
1.251771307	-7.42793521
1.322865963	-8.38596812
1.308491265	-9.33828232



Gráfica 8

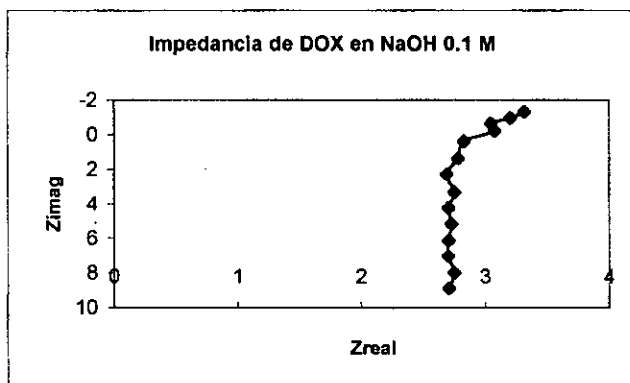
Gráficas de Impedancia de DOX en diferentes medios

R	X
1.193302158	-0.83973048
1.087354281	-0.64662924
1.000502898	-0.43106555
0.877381009	-0.08451963
0.839513729	0.491446574
0.819248702	1.489925948
0.741481982	2.439180945
0.835502418	3.501398164
0.830652359	4.442416797
0.855451396	5.411759634
0.820275136	6.35954546
0.874194067	7.282707043
0.945081092	8.246660418
0.951804859	9.170682603



Gráfica 9

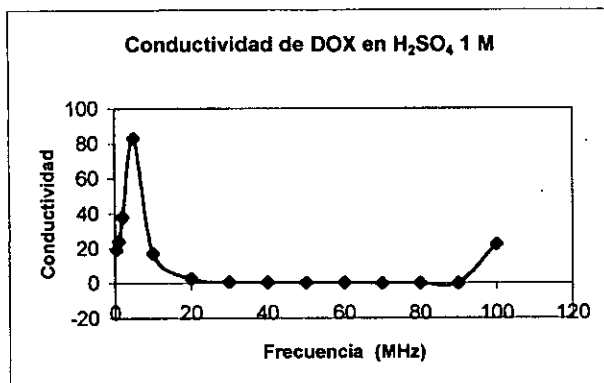
R	X
3.3195964	-1.32158201
3.203140266	-0.9758789
3.045045045	-0.66052708
3.077143085	-0.21114292
2.830090315	0.35890424
2.782126807	1.370757524
2.692418769	2.28057177
2.752810413	3.321068957
2.706949543	4.223180046
2.73014721	5.168925777
2.705391948	6.114938259
2.700754989	7.009994434
2.750719518	7.970065291
2.708953216	8.873803284



Gráfica 10

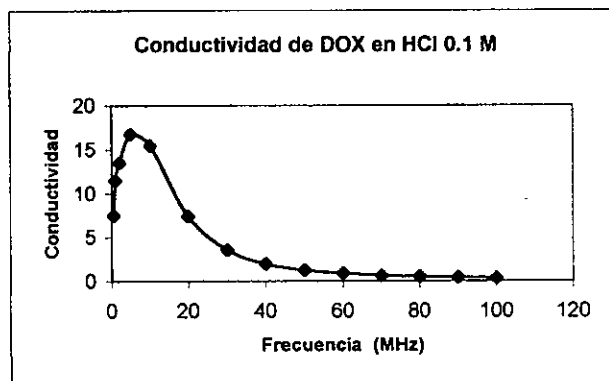
Gráficas de Conductividad de DOX en diferentes medios

Frecuencia	σ
0.5	19.18452271
1	23.94002157
2	38.17250278
5	83.1798531
10	17.11338849
20	2.63311899
30	0.861961908
40	0.602172873
50	0.376733649
60	0.28336347
70	0.195055063
80	0.171709608
90	0.155837048
100	22.38113193



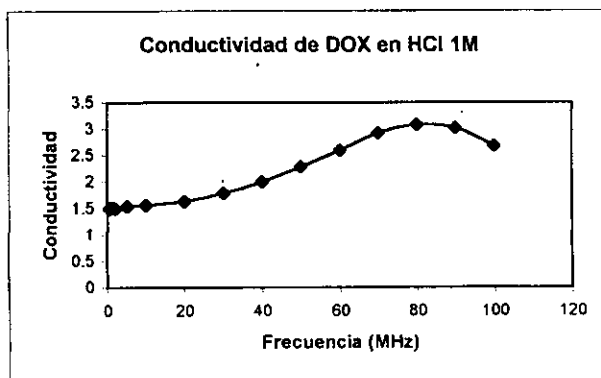
Gráfica 11

Frecuencia	σ
0.5	7.539177287
1	11.48370537
2	13.51454426
5	16.77310562
10	15.4473862
20	7.432898138
30	3.555238599
40	1.990479232
50	1.260015918
60	0.898035813
70	0.640506927
80	0.507403185
90	0.422134275
100	0.338451952



Gráfica 12

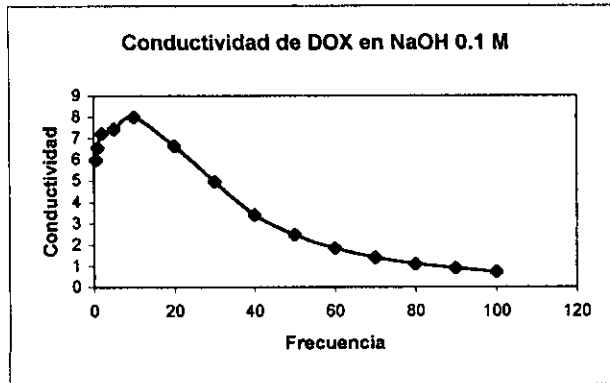
Frecuencia	σ
0.5	1.49930236
1	1.508625098
2	1.501445169
5	1.536373462
10	1.56499706
20	1.637315045
30	1.786076227
40	1.998189307
50	2.282006742
60	2.595366893
70	2.917052167
80	3.080217876
90	3.012284738
100	2.674602954



Gráfica 13

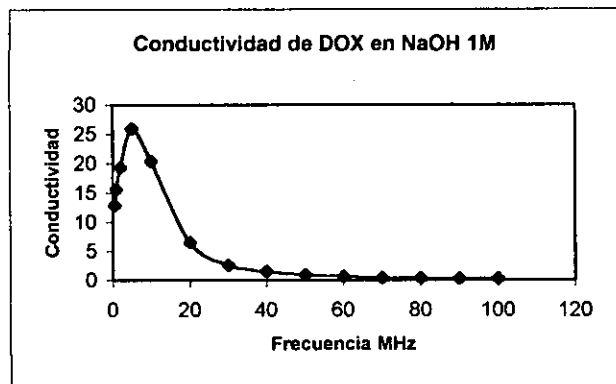
Gráficas de Conductividad de DOX en diferentes medios

Frecuencia	σ
0.5	5.981160829
1	6.571140586
2	7.214438163
5	7.440076749
10	7.998992637
20	6.652739202
30	4.974261428
40	3.402864206
50	2.474405067
60	1.837661065
70	1.391698932
80	1.100702463
90	0.889945889
100	0.723751604



Gráfica 14

Frecuencia	σ
0.5	12.89187395
1	15.62748516
2	19.39087408
5	25.97558003
10	20.40620228
20	6.518134202
30	2.624140932
40	1.48309907
50	0.935419055
60	0.655455719
70	0.458856703
80	0.37371066
90	0.315472989
100	0.257511075



Gráfica 15

3.3 Tablas de resultados de polvo de Cu en diferentes medios

Cu en H₂SO₄
0.1 M

Frecuencia	Zm	θ _m	Z ₀	θ ₀	Zs	θ _s	R	X	Zx	θ _x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	4.21	-10	65000	-90	0.5	10.9	3.655154953	-1.221779227	3.853946316	-18.4828919	4.063548261	26183.67048	27515334.78	203497.9645	5.660563778
1	3.62	-9.5	33000	-90	0.5	14.4	3.086191806	-1.081386267	3.27016454	-18.31028152	3.465104178	16093.87991	6878833.843	119321.6642	6.638178343
2	3.2	-7.2	16413	-89.8	0.5	23.3	2.715700893	-0.859684518	2.648523971	-17.56581487	2.987943334	8431.182093	1719708.606	69190.70606	7.59855223
5	2.82	0.3	6593.3	-89.8	0.7	44.3	2.318966047	-0.485014908	2.369143936	-11.813247	2.420407576	2709.561156	275153.5391	34164.64748	9.503346458
10	2.66	13	3300	-89.8	1.1	62	2.074467608	0.083874099	2.076162499	-2.315309377	2.077858775	-3.086878437	68788.52883	19898.43728	11.07002456
20	2.93	34.4	1657.3	-89.5	2.1	74	1.833926906	1.078405673	2.127497754	30.45696058	2.468062755	-1895.978996	17197.27603	8378.19901	9.318800032
30	3.55	49.1	1244.1	-89.5	3.05	77.5	1.65416795	2.021742741	2.612224209	50.71053707	4.12516475	-1571.820157	7643.340504	3340.931695	5.575944796
40	4.35	58.3	831	-89.6	4	81	1.639743503	3.065195008	3.476230601	61.85543078	7.369554549	-1009.253067	4299.463201	1402.5704	3.121147366
50	5.18	64.5	691.3	-89.6	4.95	82.2	1.528195585	3.979412302	4.262757795	68.99220547	11.89056178	-697.0866017	2751.725721	689.001649	1.934406184
60	6.1	68.5	551.7	-89.6	5.9	83.4	1.511848838	4.948682125	5.174470183	73.01208983	17.71019761	-493.2598004	1910.879447	389.0801649	1.298733239
70	7.06	71.9	481.5	-89.6	6.9	84.1	1.423603652	5.919080729	6.087870238	76.47688408	26.03404675	-360.1153142	1404.035961	226.8642849	0.883474024
80	7.95	74.1	411.3	-89.6	7.9	84.9	1.395991126	6.815437394	6.956937408	78.42484368	34.66997547	-280.1474475	1075.010141	149.0572866	0.865395954
90	8.87	75.7	368.8	-89.4	8.5	85.4	1.408574049	7.730820044	7.858095151	79.67415135	43.83841903	-221.3948958	849.4311231	104.7825632	0.524639688
100	9.81	77.6	326.3	-89.3	9.1	86	1.350121455	8.686876791	8.791169224	81.16603571	57.24274364	-178.8914144	688.0757783	72.21949167	0.401776047

Cu en H₂SO₄
1 M

Frecuencia	Zm	θ _m	Z ₀	θ ₀	Zs	θ _s	R	X	Zx	θ _x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	0.67	8.5	65000	-90	0.5	10.9	0.17165924	-0.391940894	0.427883815	-66.34816999	1.066558135	681424.8574	27515334.97	775320.1379	21.566555031
1	0.65	12.2	33000	-90	0.5	14.4	0.151023454	-0.346919444	0.378366468	-66.47545585	0.947940077	385675.8765	6878833.95	436168.9143	24.26252509
2	0.68	20.7	16413	-89.8	0.5	23.3	0.176860217	-0.218840294	0.281372726	-51.05608374	0.447645106	219964.4081	1719708.668	461818.9351	51.38440657
5	0.87	40.5	6593.3	-89.8	0.7	44.3	0.160455045	0.064049977	0.172766377	21.76083538	0.166022328	-68304.5502	275153.5184	444529.297	123.651676
10	2.29	70.9	1657.3	-89.5	2.1	74	0.1720157	0.565814171	0.610547004	73.63618426	2.187059939	-25011.56004	68788.52165	19079.40811	10.61437707
20	3.3	76.2	1244.1	-89.5	3.05	77.5	0.122913054	2.536878417	2.539854271	87.22649504	52.48311328	-2086.315176	7643.340354	262.5967275	1.530234316
40	4.33	78.6	831	-89.6	4	81	0.221297923	3.598168946	3.604867758	86.4809077	58.72532525	-1101.635459	4299.463174	176.0112704	0.43826842
50	5.33	80.5	691.3	-89.6	4.95	82.2	0.194415761	4.546591362	4.550746148	87.55181673	106.5206361	-698.8272218	2751.725721	77.62769233	0.215931646
60	6.33	81.4	551.7	-89.6	5.9	83.4	0.246836865	5.512170082	5.517694034	87.43632478	123.3403588	-480.2587061	1910.97945	55.98724955	0.186482531
70	7.37	82.5	481.5	-89.6	6.9	84.1	0.223422204	6.490442708	6.49428703	88.02880966	198.7715871	-349.8907313	1404.035965	31.28752311	0.10184251
80	8.33	83.1	411.3	-89.6	7.9	84.9	0.258308312	7.496921908	7.411424649	88.09302036	212.6498169	-268.2646819	1075.010145	24.3019844	0.10815867
90	9.3	83.5	368.8	-89.4	8.5	85.4	0.317976498	8.335935203	8.341997648	87.81583408	218.8492711	-211.8316312	849.4311259	20.98934066	0.105092306
100	10.29	84.3	326.3	-89.3	9.1	86	0.322311835	9.296410986	9.301996685	88.01465694	268.4578504	-170.9944722	688.0757806	15.39922127	0.085669922

Tablas de resultados de polvo de Cu en diferentes medios

Cu en NaOH

0.1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_0	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	95.8	-21.8	65000	-90	0.5	10.9	88.55529873	-35.965444989	95.58009478	-22.1039018	103.1621444	1253.140296	2751.5334.78	8015.769816	0.22296919
1	80.9	-28.9	33000	-90	0.5	14.4	70.50865803	-39.47552842	80.80710626	-29.24317333	92.60973774	982.1614885	6878833.838	4464.56288	0.248375388
2	62.6	-37.2	16413	-89.8	0.5	23.3	49.63417031	-38.24275237	62.65827137	-37.61412404	79.09992142	775.1423106	1719708.604	2613.542293	0.280796478
5	38.8	-46.3	6593.3	-89.8	0.7	44.3	26.53441403	-28.56229794	38.94563827	-47.10805236	57.27957623	598.1814747	275153.5385	1443.662421	0.401573707
10	25	-48.3	3300	-89.8	1.1	62	16.30364049	-19.20392085	25.19125382	-49.68978079	38.92377715	481.6254811	68788.52908	1062.233562	0.590948498
20	15.55	-44.3	1657.3	-89.5	2.1	74	10.89703817	-11.43588202	15.65905563	-46.91212527	22.92279595	371.1313598	17187.42769	901.8526562	1.003448755
30	11.56	-36.9	1244.1	-89.5	3.05	77.5	8.687986202	-7.570989774	11.52393162	-41.07009634	15.28558947	302.4469484	7643.341049	901.8263416	1.504795752
40	9.25	-27.8	831	-89.6	4	81	7.641855578	-4.881099343	9.067694717	-32.5678073	10.75957098	236.2016848	4299.463563	960.6627121	2.13776784
50	7.85	-17.4	691.3	-89.6	4.95	82.2	6.869733608	-2.945636005	7.474624494	-23.2089978	8.132776977	167.8222085	2751.725973	1016.743827	2.828206805
60	7.07	-5.4	551.7	-89.6	5.9	83.4	6.376943811	-1.254303565	6.499129927	-11.12769944	6.623657203	79.76986188	1910.379612	1040.314452	3.472525919
70	6.72	-7.4	481.5	-89.6	6.9	84.1	5.978099718	-1.483089868	6.159493916	-13.9395931	6.346392179	88.92198587	1404.036093	930.6382205	3.624169814
80	6.71	-19.1	411.3	-89.6	7.9	84.9	5.705622988	-2.810873272	6.360435705	-26.2272481	7.090398781	138.2282028	1075.010263	728.8464877	3.243811927
90	7	-29.6	368.8	-89.4	8.5	85.4	5.519520356	-4.069942321	6.657808357	-36.40418137	8.520583751	153.0361996	849.431232	539.1064452	2.699271986
100	7.48	-38.9	326.3	-89.3	9.1	86	5.356276831	-5.294248148	7.531186158	-44.6664849	10.58921462	148.5582052	688.0758735	390.4011496	2.171904384

Cu en NaOH

1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_0	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	11.42	-2.9	65000	-90	0.5	10.9	10.91459817	-1.066752393	10.96660448	-5.582169502	11.0188586	2823.373774	2751.5334.78	75046.24878	2.087510204
1	11.26	-5.3	33000	-90	0.5	14.4	10.72827428	-1.520603684	10.83550205	-8.067281471	10.94380154	2061.280418	6878833.839	37780.47289	2.101827179
2	10.84	-8.9	16413	-89.8	0.5	23.3	10.25247061	-2.129466846	10.47128388	-11.7337045	10.69476676	1945.468337	1719708.604	19330.1074	2.150789558
5	9.56	-15.9	6593.3	-89.8	0.7	44.3	8.700595467	-3.10825847	9.239135228	-19.65916136	9.811008923	1159.053041	275153.5386	8428.528841	2.344506255
10	7.79	-20.3	3300	-89.8	1.1	62	6.801730651	-3.205083032	7.519048949	-25.23085191	8.312016455	902.2618131	68788.52919	4974.261375	2.76731257
20	5.41	-16.4	1657.3	-89.5	2.1	74	4.62070059	-2.091505415	5.072008364	-24.35341587	5.567395753	646.9760316	17197.27877	3713.223431	4.131527921
30	4.14	-1.7	1244.1	-89.5	3.05	77.5	3.478913012	-0.769224581	3.862940107	-12.46814799	3.648896729	321.4652045	7643.341054	3776.899292	6.303565555
40	3.76	19.2	831	-89.6	4	81	2.914581597	0.624116488	2.980655511	12.08659523	3.048227328	-279.5124841	4299.463413	3390.927808	7.545849678
50	4.03	38.5	691.3	-89.6	4.95	82.2	2.459302159	1.942227726	3.072778889	36.83649267	3.83928834	-621.0546318	2751.725743	2153.771846	9.990999923
60	4.74	52.1	551.7	-89.6	5.9	83.4	2.194331025	3.052230306	3.759148639	54.28682811	6.439866332	-572.9360761	1910.979423	1070.004608	3.571630414
70	5.67	61.2	481.5	-89.6	6.9	84.1	1.966410388	4.224001831	4.659287637	65.03673906	11.03989351	-442.3908438	1404.035938	534.9866322	2.083390044
80	6.61	66.9	411.3	-89.6	7.9	84.9	1.815459541	5.305293568	5.607319608	71.10944233	17.31904924	-335.6819024	1075.010125	298.3889304	1.328012946
90	7.61	70.8	368.8	-89.4	8.5	85.4	1.724854186	6.384585352	6.613475038	74.88221405	25.35753598	-258.136767	849.4311124	181.1493808	0.90700353
100	8.62	74.1	326.3	-89.3	9.1	86	1.608783816	7.467182287	7.638525021	77.84192884	36.26776705	-203.6842101	688.0758735	113.9866666	0.634137838

Tablas de resultados de polvo de Cu en diferentes medios

Cu en HCl

0.1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_o	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e^x	e^{xx}	σ
0.5	780	-35.8	65000	-90	0.5	10.9	641.0541447	-453.6937218	785.3587777	-35.2883518	962.1471365	234.1400341	27515334.78	859.4569986	0.023906925
1	560	-38.7	33000	-90	0.5	14.4	445.9015506	-348.398724	565.8708896	-38.00192165	718.117852	173.1653384	6878833.838	575.7578596	0.032030926
2	379	-40.8	16413	-89.8	0.5	23.3	295.2128389	-246.6822172	384.7112379	-39.88255477	501.3424792	132.6347179	1719708.604	412.3548246	0.045880769
5	235	-42.5	6593.3	-89.8	0.7	44.3	181.0138571	-158.649283	240.698175	-41.2330477	320.0617477	87.1648984	275153.5383	258.3638073	0.071867294
10	125.5	-44.9	3300	-89.8	1.1	62	93.28169824	-88.96782436	128.9059696	-43.64422135	178.1351487	85.21303363	68788.52895	232.105473	0.129126386
20	77.8	-50.1	1657.3	-89.5	2.1	74	53.06612089	-60.85205245	80.74154905	-48.90901569	122.8458373	70.20471438	7643.340981	126.40532941	0.210968162
30	59.5	-56	1244.1	-89.5	3.05	77.5	35.37932438	-52.61757914	62.10780524	-55.27482427	109.0292014	70.20471438	7643.340981	126.40532941	0.210968162
40	47	-60	831	-89.6	4	81	25.32521232	-41.67157914	49.62086352	-59.31146357	97.22445631	68.95554643	4299.463514	106.3139778	0.23688106
50	37.8	-62.7	691.3	-89.6	4.95	82.2	18.45943489	-35.48583383	39.98993923	-62.51716555	86.67627956	70.5988727	2751.725945	95.40038993	0.265368742
60	30.8	-64.2	551.7	-89.6	5.9	83.4	14.16600679	-29.50628954	32.73087171	-64.35452665	75.62447811	73.0588159	1910.979611	91.11714203	0.304145191
70	24.9	-65	481.5	-89.6	6.9	84.1	10.86222357	-24.12838072	26.46066244	-65.76371633	64.45896997	78.35159247	1404.03609	91.62734521	0.356822932
80	20.1	-64.7	411.3	-89.6	7.9	84.9	8.691126465	-19.51495902	21.36280189	-65.99411161	52.5087991	85.07076663	1075.010248	98.41615038	0.438011965
90	15.43	-63.2	368.8	-89.4	8.5	85.4	6.818589311	-14.84754705	16.33838467	-65.33376572	39.1482729	98.35878682	688.4312161	117.3330096	0.587478937
100	12.26	-60.8	326.3	-89.3	9.1	86	5.753605833	-11.58363866	12.93403392	-63.58699293	29.07554641	110.20565637	688.0758624	142.1827655	0.791000159

Cu en HCl

1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_o	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e^x	e^{xx}	σ
0.5	430	-28.3	65000	-90	0.5	10.9	380.4877069	-202.7634968	431.1425874	-28.05344891	488.5412258	347.2138489	27515334.78	1692.639147	0.047082986
1	329	-31.5	33000	-90	0.5	14.4	282.6644178	-171.3633949	330.5519418	-31.22617576	386.552319	249.6075678	6878833.838	1068.614583	0.059505475
2	243	-34	16413	-89.8	0.5	23.3	204.3485143	-134.9539815	244.8895514	-33.44133516	293.4735915	179.0747324	1719708.604	704.4279145	0.078378359
5	168	-36.4	6593.3	-89.8	0.7	44.3	138.850051	-98.83840958	170.4358174	-35.44475137	209.2067497	108.3061516	275153.5383	395.2662704	0.109948517
10	127.1	-40	3300	-89.8	1.1	62	101.7648158	-81.21168407	130.1974449	-38.59122665	166.5743493	76.2487467	68788.52894	248.2143418	0.138088174
20	93.2	-47.4	1657.3	-89.5	2.1	74	67.96367201	-69.47339078	97.18854222	-45.62953301	138.9803179	58.52985934	17197.2766	148.7475693	0.165504378
30	73.2	-53.5	1244.1	-89.5	3.05	77.5	47.23759898	-60.70396755	76.91789411	-52.11145687	125.2468915	54.43273842	7643.340977	110.0378087	0.183650787
40	58.7	-57.5	831	-89.6	4	81	34.87460756	-51.93231456	62.55560386	-56.11729024	112.207816	52.80370123	4299.46351	92.11763553	0.204989864
50	48.5	-60.5	691.3	-89.6	4.95	82.2	26.36937291	-44.66547893	51.86191514	-59.43935496	101.9993252	52.85046654	2751.725938	81.06868185	0.225033211
60	40.2	-62.3	551.7	-89.6	5.9	83.4	20.63508198	-37.9734889	43.21795597	-61.48026799	90.51544016	53.92869765	1910.979605	76.12719234	0.254109369
70	33.6	-63.5	481.5	-89.6	6.9	84.1	16.3178198	-32.23169716	36.12690888	-63.14868954	79.98332874	56.14907973	1404.036083	73.84282747	0.287564964
80	28.2	-63.8	411.3	-89.6	7.9	84.9	13.41077413	-27.22074683	30.3449818	-63.7722814	68.66254784	58.81057188	1075.01024	75.26391702	0.334970389
90	23.7	-63.6	368.8	-89.4	8.5	85.4	11.1617942	-22.86209577	25.44132608	-63.97756547	57.98899108	62.4616076	849.4312056	78.21335404	0.39661627
100	19.9	-62.9	326.3	-89.3	9.1	86	9.483584593	-19.08343936	21.30999847	-63.57499856	47.88442916	66.88195024	688.0758498	96.33373532	0.4802973

3.4 Tablas de resultados de polvo de Cu en diferentes medios(HCl, H2SO4 y NaOH) + Benzotriazol

Cu en HCl

1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_0	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	500	-16.7	65000	-90	0.5	10.9	480.5184884	-140.9371509	500.7607195	-16.34659428	521.655671	178.9015446	27515334.78	1594.583726	0.044077282
1	434	-18.8	33000	-90	0.5	14.4	413.801745	-135.7626408	435.5035922	-18.16401925	458.3435935	113.9241797	6878833.838	902.0787098	0.050185014
2	367	-21.7	16413	-89.8	0.5	23.3	346.1116093	-130.0463776	369.7388069	-20.59305515	394.9746346	75.7010681	1719708.604	523.403206	0.058236597
5	293	-27.4	6593.3	-89.8	0.7	44.3	270.1955889	-127.2888679	298.6772709	-25.22517423	330.1612455	45.41875099	275153.5383	250.46056539	0.0689668903
10	215	-35.2	3300	-89.8	1.1	62	188.5927581	-118.872917	222.9304798	-32.22398585	263.5201866	38.06826946	68788.52893	156.8993367	0.067287232
20	179.3	-47.1	1657.3	-89.5	2.1	74	142.4912105	-131.9845654	194.22388237	-42.80801263	204.7438425	27.84186501	17197.27659	78.08674332	0.086883423
30	113.1	-60.2	1244.1	-89.5	3.05	77.5	65.38427508	-104.0636803	122.899768	-57.85865593	231.00896338	36.56063412	7643.340972	59.65956302	0.098570557
40	93.9	-63.7	831	-89.6	4	81	50.67989403	-91.51163707	104.6079842	-61.02219654	215.9205881	33.27405901	4299.463504	47.87092698	0.106527428
50	79	-66.9	691.3	-89.6	4.95	82.2	37.86657827	-80.00038874	88.51810556	-64.65695311	206.8134777	32.49952306	2751.725934	39.98264978	0.111217004
60	78.6	-65.7	551.7	-89.6	5.9	83.4	41.79017538	-80.22412959	90.456231	-62.48443202	195.7955345	26.00733806	1910.979597	35.19327626	0.117473677
70	67.4	-67.7	481.5	-89.6	6.9	84.1	32.86323375	-70.36181159	77.65807532	-64.96482242	183.5113583	26.52679878	1404.036075	32.18435751	0.1253350338
80	58.2	-68.8	411.3	-89.6	7.9	84.9	27.0810154	-61.62645493	67.31419887	-66.2777363	167.3202158	27.05720639	1075.010231	30.88576177	0.1374605
90	50.6	-69.7	368.8	-89.4	8.5	85.4	22.30688966	-53.95729719	58.38653309	-67.53920343	152.8221683	27.96990453	849.4311956	30.0578232	0.150497626
100	44.2	-69.8	326.3	-89.3	9.1	86	19.27309777	-47.15623523	50.94274059	-67.77006765	134.652086	28.91968898	688.0758388	30.70165334	0.170801381

Cu en HCl

0.1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_0	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	827	-40.7	65000	-90	0.5	10.9	636.9618872	-538.0862017	833.8208478	-40.19027053	1091.52089	246.3516459	27515334.78	757.5888019	0.02107333
1	515	-45	33000	-90	0.5	14.4	371.8025915	-364.5525138	520.7069256	-44.43606079	729.2464026	213.9695204	6878833.838	566.9715969	0.031542123
2	354	-45.6	16413	-89.8	0.5	23.3	294.9762245	-253.4528436	359.5152556	-44.82850051	506.9147889	156.0456407	1719708.604	407.8219744	0.04537642
5	227	-45.8	6593.3	-89.8	0.7	44.3	165.767223	-163.2944628	232.688319	-44.56962593	326.8258119	96.00003819	275153.5383	253.1715765	0.070423007
10	167.4	-49.3	3300	-89.8	1.1	62	117.4097526	-128.4786555	174.0454392	-47.57766755	258.0008411	67.50326893	68788.52894	160.25568437	0.089154545
20	114.6	-58.5	1657.3	-89.5	2.1	74	66.90816002	-101.89277	121.8968353	-56.70920672	222.0781209	54.56920519	17197.2766	93.08879409	0.103575494
30	85.4	-64.9	1244.1	-89.5	3.05	77.5	40.45406691	-81.89062168	91.33706827	-63.71081172	205.2241472	50.07512543	7643.340976	66.82967743	0.11537327
40	65.9	-69	831	-89.6	4	81	26.86259044	-66.25325523	71.49190579	-67.93001289	190.268046	51.57658668	4299.463509	54.32503732	0.120889794
50	52.8	-71.6	691.3	-89.6	4.95	82.2	18.66261843	-54.2046704	57.327477	-71.00173453	176.0974556	52.50010381	2751.725939	46.95667415	0.130616171
60	43.1	-73.2	551.7	-89.6	5.9	83.4	13.84381814	-44.93503336	47.01923568	-72.87699028	159.6964437	53.91403097	1910.979605	43.14865231	0.144028388
70	35.6	-74.4	481.5	-89.6	6.9	84.1	10.3658866	-37.40107894	38.81098183	-74.50932095	145.3124435	56.45415973	1404.036083	40.64479958	0.158282405
80	29.5	-74.7	411.3	-89.6	7.9	84.9	8.264147151	-31.09815332	32.17749629	-75.11823929	125.2871287	59.75293352	1075.01024	41.24775112	0.18357768
90	24.6	-74.8	368.8	-89.4	8.5	85.4	6.667058285	-25.92711493	26.7709987	-75.57933976	107.4934281	63.97563891	849.4312061	42.7328603	0.213960738
100	20.4	-74	326.3	-89.3	9.1	86	5.713513971	-21.39151474	22.14138985	-75.04609334	85.80378855	69.44656535	688.0758505	48.18017597	0.266039004

Tablas de resultados de polvo de Cu en diferentes medios(HCl, H2SO4 y NaOH) + Benzotriazol

Cu en H2SO4

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_o	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ		
0.5	4.4	-19.9	65000	-90	0.5	10.9	3.64648098	-1.98841507	4.153386332	-28.60361157	4.730757114	36690.31994	27515334.79	174797.3693	4.862218939
1	3.29	-25.4	33000	-90	0.5	14.4	2.487937997	-1.895275881	3.127603898	-37.29977963	3.931732283	30836.7117	6878833.847	105160.262	5.950342253
2	2.36	-25.8	16413	-89.8	0.5	23.3	1.665797244	-1.486155315	2.232383945	-41.73818214	2.991683469	23730.97263	1719708.611	69101.89255	7.688640442
5	1.47	-7.8	6593.3	-89.8	0.7	44.3	0.955022234	-0.700172109	1.184578195	-36.23332325	1.468573752	15882.77742	275153.5429	56307.94586	15.66279635
10	1.37	27.2	3300	-89.8	1.1	62	0.70161748	0.110131641	0.710209467	8.920858836	0.718904647	-3475.037809	68788.52791	57512.69372	31.99582577
20	2.21	58.9	1657.3	-89.5	2.1	74	0.560082784	1.312145335	1.426680818	66.88528328	3.634138055	-5130.000688	17197.27509	5688.56257	6.329383137
30	3.24	89.6	1244.1	-89.5	3.05	77.5	0.463681559	2.370303275	2.415230468	78.9318107	12.58048349	-2155.681633	7643.340334	1095.497945	1.82836305
40	4.32	74.2	831	-89.6	4	81	0.538697415	3.512048997	3.553123001	81.27993519	23.43557387	-1106.876601	4299.463173	441.0523282	0.981476536
50	5.36	76.9	691.3	-89.6	4.95	82.2	0.524855441	4.511771073	4.542173659	83.36741907	39.32360165	-696.0952952	2751.725722	210.2795985	0.584920386
60	6.41	78.5	551.7	-89.6	5.9	83.4	0.570733427	5.535498333	5.564843074	84.11368554	54.259039359	-474.1532657	1910.979452	126.995977	0.423907234
70	7.48	79.9	481.5	-89.6	6.9	84.1	0.562503643	6.547524803	6.571642975	85.09005308	76.75484741	-344.7071616	1404.035967	76.92813929	0.298980045
80	8.47	80.6	411.3	-89.6	7.9	84.9	0.625437339	7.492312163	7.518371726	85.22848953	90.37821997	-263.692273	1045.010148	57.17984411	0.254485222
90	9.51	81.1	368.8	-89.4	8.5	85.4	0.715060637	8.486522878	8.516594523	85.18405463	101.4352889	-206.906651	849.4311273	45.28504774	0.226739379
100	10.47	82	326.3	-89.3	9.1	86	0.730255921	9.420941319	9.449201503	85.56796072	122.2686548	-167.9280303	688.0757815	33.81113374	0.188100239

Cu en H2SO4

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_o	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ		
0.5	0.7	6.5	65000	-90	0.5	10.9	0.204519212	-0.411730134	0.459727976	-63.58521914	1.033398327	620097.3659	27515334.96	800198.7031	22.25858035
1	0.7	9.9	33000	-90	0.5	14.4	0.205279878	-0.363927819	0.417831647	-60.57429806	0.850464679	331765.8716	6878833.935	486160.1011	27.04636643
2	0.72	18.1	16413	-89.8	0.5	23.3	0.225128533	-0.235511751	0.325805297	-46.29132727	0.471502295	176557.195	1719708.655	438451.7084	48.78444587
5	0.88	37.9	6593.3	-89.8	0.7	44.3	0.193295246	0.039612036	0.197312356	11.58133361	0.20414285	-32386.77604	275153.5289	410561.3533	114.2030452
10	1.28	56.4	3300	-89.8	1.1	62	0.191464285	0.549522913	0.581922679	70.79085932	1.768653645	-25827.02336	68788.52141	23377.18572	13.00534391
20	2.24	70.2	1657.3	-89.5	2.1	74	0.177987782	1.526407058	1.536749218	83.34934125	13.26831609	-5143.437709	17197.27508	1558.071517	1.733992414
30	3.22	75.9	1244.1	-89.5	3.05	77.5	0.120312354	2.455533115	2.458478279	86.44040479	50.23688529	-2155.314875	7643.340334	274.3381429	0.457864596
40	4.24	78.4	831	-89.6	4	81	0.218235391	3.507900494	3.514682352	87.48994284	101.3908201	-716.0662665	2751.725716	81.55522532	0.406357737
50	5.22	80.3	691.3	-89.6	4.95	82.2	0.194517718	4.440980856	4.440980856	87.56288338	126.9959883	-490.6857056	1910.979447	54.25925972	0.226856596
60	6.21	81.4	551.7	-89.6	5.9	83.4	0.229696935	5.396078293	5.400964844	87.56288338	126.9959883	-490.6857056	1910.979447	54.25925972	0.181115129
70	7.23	82.5	481.5	-89.6	6.9	84.1	0.208237941	6.355646133	6.358991419	88.14176833	196.0885398	-357.3586567	1404.035963	30.12311615	0.117307978
80	8.19	83.1	411.3	-89.6	7.9	84.9	0.242807904	7.273233561	7.277283553	88.08830036	218.1102065	-273.2233784	1075.010143	23.69358417	0.105450918
90	9.18	83.5	368.8	-89.4	8.5	85.4	0.305728963	8.222346148	8.228028098	87.87090782	221.4394268	-214.7735672	849.431125	20.74363037	0.103863051
100	10.12	84.3	326.3	-89.3	9.1	86	0.307505725	9.13719396	9.142366938	88.07281795	271.8091617	-173.9861443	688.0757798	15.2093543	0.084613642

Tablas de resultados de polvo de Cu en diferentes medios(HCl, H2SO4 y NaOH) + Benzotriazol

Cu en NaOH

1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_0	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	13.54	-5.6	65000	-90	0.5	10.9	12.9844735	-1.809479883	13.11041858	-7.933230224	13.2371022	3350.963949	27515334.78	62470.16838	1.737688972
1	13.16	-10.5	33000	-90	0.5	14.4	12.45722354	-2.877601531	12.78526531	-13.00714508	13.12194555	2801.755821	6878833.839	31509.1993	1.752939718
2	12.01	-17.5	16413	-89.8	0.5	23.3	10.99989325	-4.063500379	11.72653686	-20.27479636	12.50107965	2351.526509	1719708.605	16537.05086	1.839399359
5	9.05	-58.8	6593.3	-89.8	0.7	44.3	4.46587252	-8.078694612	9.230889535	-61.06658114	19.08010727	3017.888537	275153.5392	4333.957374	1.205547298
10	6.43	-26.8	3300	-89.8	1.1	62	5.233015547	-3.408131376	6.244982882	-33.07531332	7.452645772	1390.826443	68788.52893	5547.847519	3.086413644
20	4.3	-12.3	1657.3	-89.5	2.1	74	3.627158057	-1.484754797	3.919282125	-22.26152236	4.234933283	769.1849953	17197.2768	4881.537196	5.431455336
30	3.64	8.6	1244.1	-89.5	3.05	77.5	2.935828681	-0.105662115	2.937729485	-2.061225392	3.29363152	64.95215395	7643.34088	4688.306388	7.824684845
40	3.74	29.4	831	-89.6	4	81	2.618244399	1.218959731	2.880900047	24.96505892	3.185746955	-581.4691358	4299.463325	3244.551142	7.220116904
50	4.27	45.2	691.3	-89.6	4.95	82.2	2.310718107	2.357924473	3.301397582	45.5794944	4.71681334	-688.625886	2751.725724	1753.080007	4.876422824
60	5.06	55.7	551.7	-89.6	5.9	83.4	2.130380028	3.485155997	4.084707014	58.56392756	7.831856838	-554.0746306	1910.979428	879.8278622	2.936628762
70	5.99	63	481.5	-89.6	6.9	84.1	1.95043442	4.56456881	4.962214929	66.95367544	12.72683431	-419.9278285	1404.035945	464.0814919	1.807265269
80	6.91	67.8	411.3	-89.6	7.9	84.9	1.828564794	5.613819987	5.904119244	71.99582206	19.06337919	-320.3888333	1075.01013	271.08588613	1.206497617
90	7.9	71.1	368.8	-89.4	8.5	85.4	1.775124996	6.661613234	6.894066987	75.07935284	26.77454248	-247.8591883	849.4311154	171.5622941	0.859001591
100	8.86	74.1	326.3	-89.3	9.1	86	1.668001261	7.687487318	7.866364438	77.75824165	37.09810713	-197.7521857	688.0757729	111.4353854	0.891944389

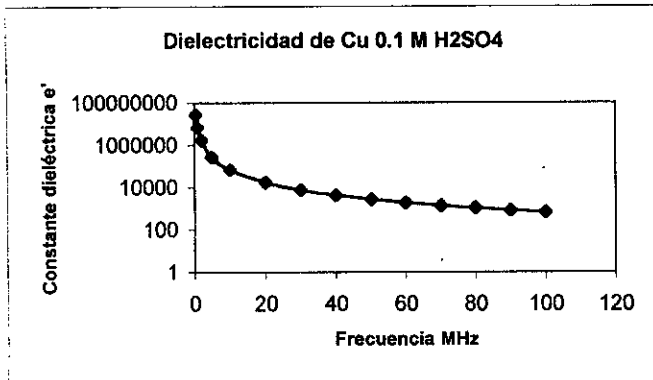
Cu en NaOH

0.1 M

Frecuencia	Zm	θ_m	Zo	θ_0	Zs	θ_s	R	X	Zx	θ_x	Rx	Cx	e'	e''	σ
0.5	91.4	-24.3	65000	-90	0.5	10.9	82.90769441	-38.01808992	91.20888638	-24.634335549	100.3412411	1454.672065	27515334.78	8241.117954	0.229237545
1	76.3	-29.6	33000	-90	0.5	14.4	66.00977044	-38.08118433	76.20673457	-29.98085893	87.97889092	1043.621115	6878833.838	4899.5591	0.261448946
2	59.5	-36.6	16413	-89.8	0.5	23.3	47.51548019	-35.87212776	59.53595894	-37.0513651	74.5973816	805.3553567	1719708.604	2771.280166	0.308348337
5	37.6	-45	6593.3	-89.8	0.7	44.3	26.30160211	-27.08800386	37.75624752	-45.8440531	54.19952066	604.8510869	275153.5385	1525.703008	0.424394377
10	24.6	-46.9	3300	-89.8	1.1	62	16.47616905	-18.49028525	24.7660008	-48.2968593	37.22678454	479.7897451	68788.52906	1110.655754	0.617887038
20	15.53	-43	1657.3	-89.5	2.1	74	10.92523508	-11.16030987	15.61772234	-45.60999596	22.32567531	364.1077576	17197.27689	925.9735317	1.030286911
30	11.66	-36.1	1244.1	-89.5	3.05	77.5	8.865691895	-7.496891325	11.61037792	-40.21749595	15.20477764	295.0358415	7643.341047	908.4185943	1.512793587
40	9.42	-27.5	831	-89.6	4	81	7.817633443	-4.913573136	9.233558015	-32.15048617	10.9059339	229.3075663	4299.463561	947.7701523	2.109077958
50	8.01	-17.8	691.3	-89.6	4.95	82.2	7.008652366	-3.044475825	7.641337647	-23.4796476	8.331136713	165.967427	2751.725972	992.5357218	2.760868773
60	7.18	-6.6	551.7	-89.6	5.9	83.4	6.475082118	-1.412171195	6.627285713	-12.30321478	6.783087013	85.28719397	1910.979614	1015.865875	3.390917598
70	6.76	5.5	481.5	-89.6	6.9	84.1	6.00837818	0.031516935	6.00820562	0.300920931	6.001003347	-1.989891023	1404.036066	984.2012807	3.832759598
80	6.68	17.2	411.3	-89.6	7.9	84.9	5.617198032	1.361580414	5.779862883	13.6254619	5.947238243	-81.08440856	1075.010199	868.9432288	3.867327973
90	6.91	27.6	368.8	-89.4	8.5	85.4	5.336088365	2.592239991	5.932414956	25.91030549	6.595383135	-130.2533107	849.4311496	696.472327	3.487193036
100	7.31	37.3	326.3	-89.3	9.1	86	5.024073225	3.83697252	6.32168252	37.36974864	7.954436192	-152.8067159	688.0757859	519.7152539	2.8913121793

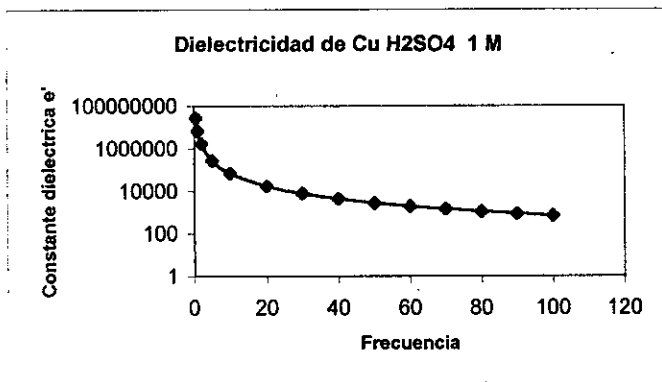
Gráficas de Dielectricidad de Cobre en diferentes medios

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.843
2	1719708.606
5	275153.5391
10	68788.52883
20	17197.27603
30	7643.340504
40	4299.463201
50	2751.725721
60	1910.979447
70	1404.035961
80	1075.010141
90	849.4311231
100	688.0757783



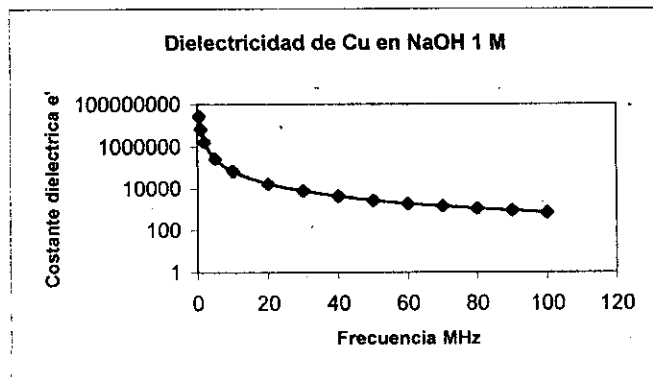
Gráfica 16

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.97
1	6878833.95
2	1719708.668
5	275153.5184
10	68788.52165
20	17197.27513
30	7643.340354
40	4299.463174
50	2751.725721
60	1910.97945
70	1404.035965
80	1075.010145
90	849.4311259
100	688.0757806



Gráfica 17

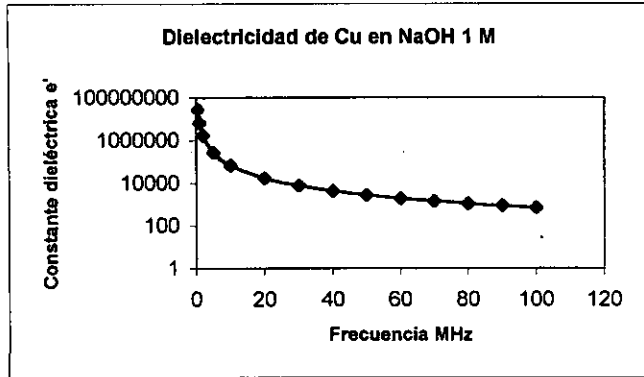
Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.838
2	1719708.604
5	275153.5385
10	68788.52906
20	17197.27669
30	7643.341049
40	4299.463563
50	2751.725973
60	1910.979612
70	1404.036093
80	1075.010263
90	849.431232
100	688.0758735



Gráfica 18

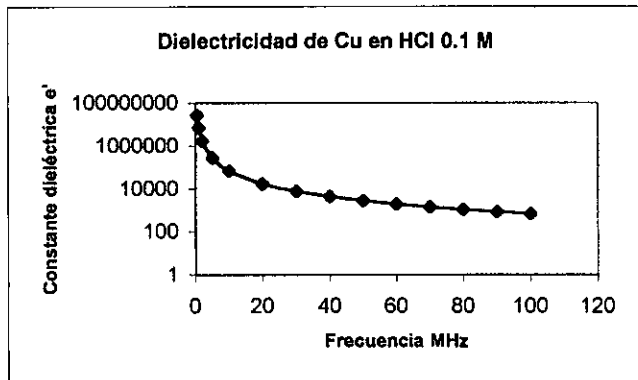
Gráficas de Dielectricidad de Cobre en diferentes medios

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.839
2	1719708.604
5	275153.5386
10	68788.52919
20	17197.27677
30	7643.341054
40	4299.463413
50	2751.725743
60	1910.979423
70	1404.035938
80	1075.010125
90	849.4311124
100	688.0757711



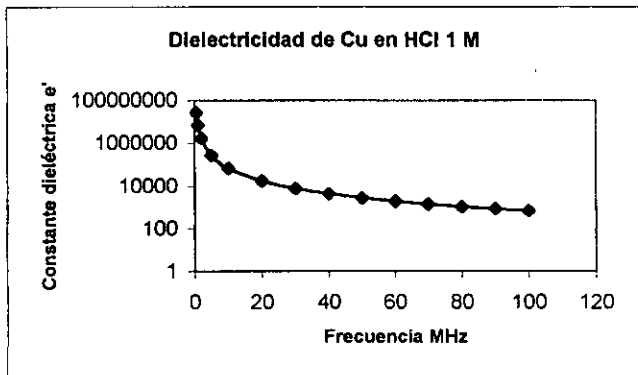
Gráfica 19

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.838
2	1719708.604
5	275153.5383
10	68788.52895
20	17197.2766
30	7643.340981
40	4299.463514
50	2751.725945
60	1910.979611
70	1404.03609
80	1075.010248
90	849.4312161
100	688.0758624



Gráfica 20

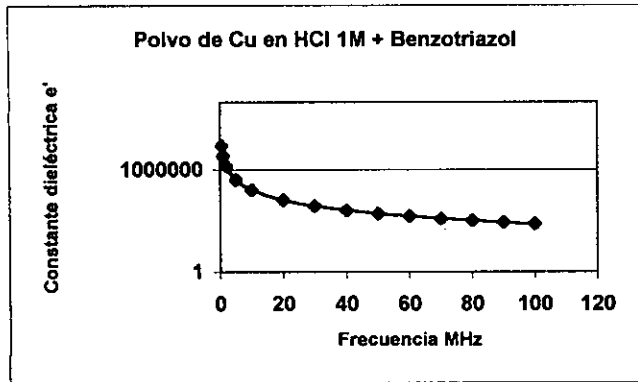
Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.838
2	1719708.604
5	275153.5383
10	68788.52894
20	17197.2766
30	7643.340977
40	4299.46351
50	2751.725939
60	1910.979605
70	1404.036083
80	1075.01024
90	849.4312056
100	688.0758498



Gráfica 21

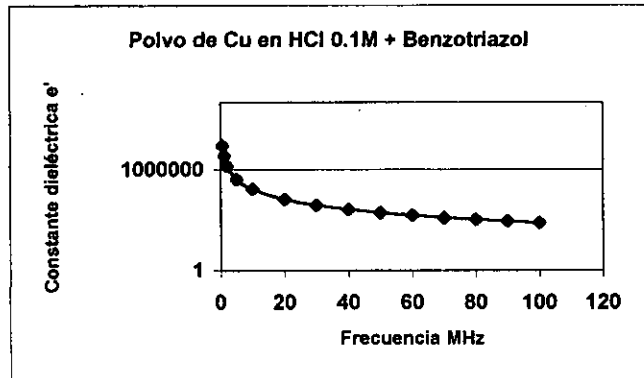
Gráficas de Dielectricidad de Cobre en diferentes medios +Benzotriazol

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.838
2	1719708.604
5	275153.5383
10	68788.52893
20	17197.27659
30	7643.340972
40	4299.463504
50	2751.725934
60	1910.979597
70	1404.036075
80	1075.010231
90	849.4311956
100	688.0758388



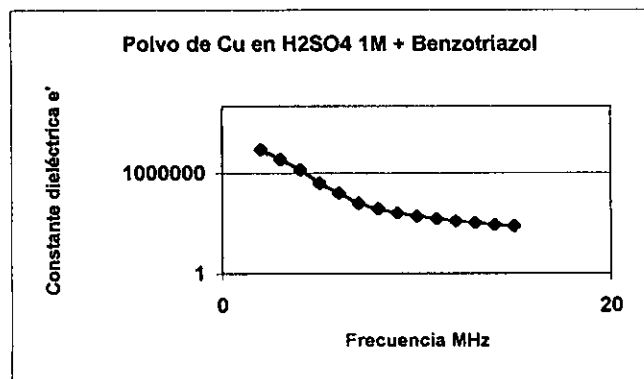
Gráfica 22

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.838
2	1719708.604
5	275153.5383
10	68788.52894
20	17197.2766
30	7643.340976
40	4299.463509
50	2751.725939
60	1910.979605
70	1404.036083
80	1075.01024
90	849.4312061
100	688.0758505



Gráfica 23

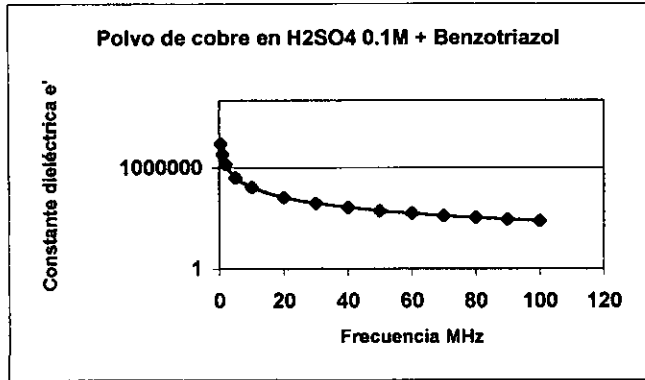
Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.79
1	6878833.847
2	1719708.611
5	275153.5429
10	68788.52791
20	17197.27509
30	7643.340334
40	4299.463173
50	2751.725722
60	1910.979452
70	1404.035967
80	1075.010146
90	849.4311273
100	688.0757815



Gráfica 24

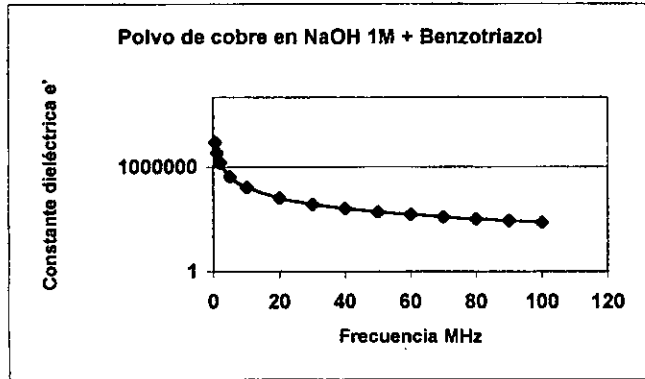
Gráficas de Dielectricidad de Cobre en diferentes medios +Benzotriazol

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.96
1	6878833.935
2	1719708.655
5	275153.5289
10	68788.52141
20	17197.27508
30	7643.340334
40	4299.463166
50	2751.725716
60	1910.979447
70	1404.035963
80	1075.010143
90	849.431125
100	688.0757798



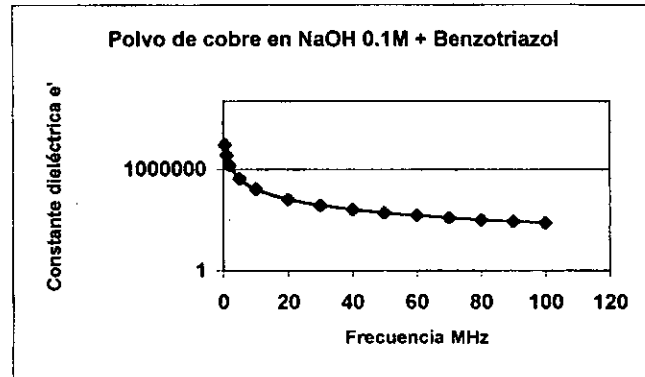
Gráfica 25

Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.839
2	1719708.605
5	275153.5392
10	68788.52933
20	17197.2768
30	7643.34098
40	4299.463325
50	2751.725724
60	1910.979428
70	1404.035945
80	1075.01013
90	849.4311154
100	688.0757729



Gráfica 26

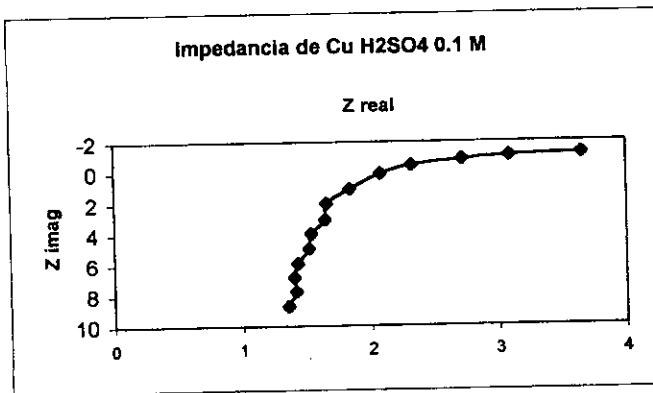
Frecuencia	ϵ'
0.5	27515334.78
1	6878833.838
2	1719708.604
5	275153.5385
10	68788.52906
20	17197.27669
30	7643.341047
40	4299.463561
50	2751.725972
60	1910.979614
70	1404.036066
80	1075.010199
90	849.4311496
100	688.0757859



Gráfica 27

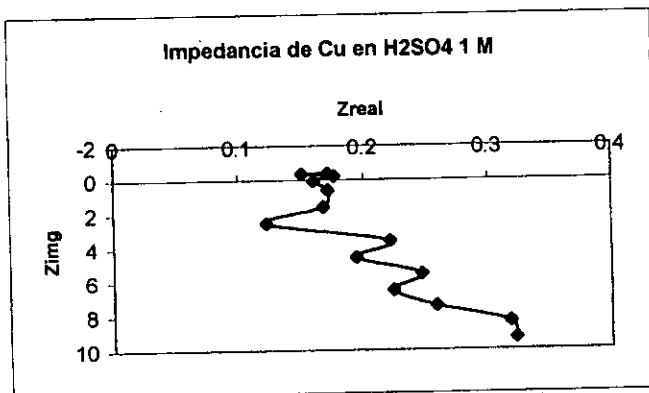
Gráficas de Impedancia de Cobre en diferentes medios

R	X
3.655154953	-1.22177923
3.086191806	-1.08138627
2.715700893	-0.85968452
2.318966047	-0.48501491
2.074467608	0.083874099
1.833926906	1.078405673
1.65416795	2.021742741
1.639743503	3.065195008
1.528195585	3.979412302
1.511848838	4.948682125
1.423603652	5.919080729
1.395991126	6.815437394
1.408574049	7.730820044
1.350121455	8.686876791



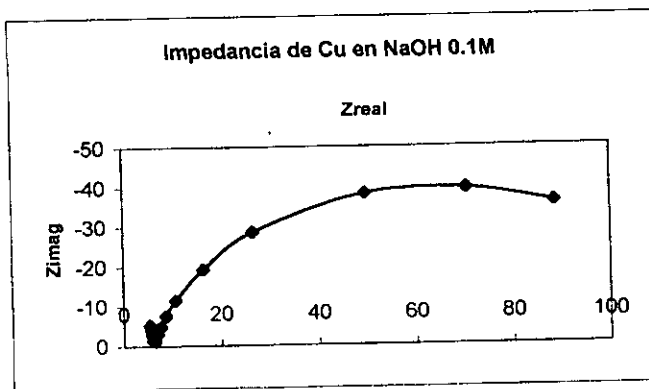
Gráfica 28

R	X
0.17165924	-0.39194089
0.151023454	-0.34691944
0.176860217	-0.21884029
0.160455045	0.064049977
0.1720157	0.585814171
0.168516069	1.582613816
0.122913054	2.536878417
0.221297923	3.598168946
0.194415761	4.546591362
0.246836865	5.512170082
0.223422204	6.490442708
0.258308312	7.406921908
0.317976498	8.335935203
0.322311835	9.296410996



Gráfica 29

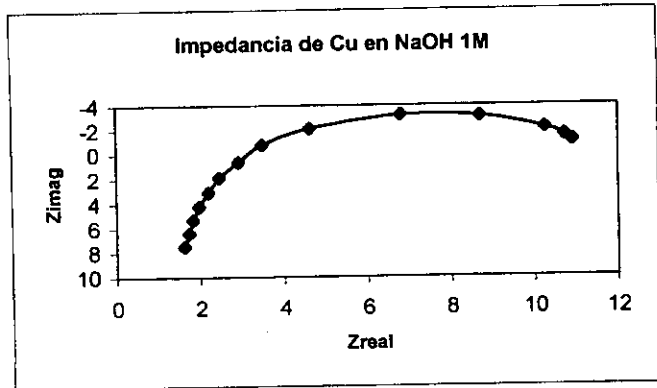
R	X
88.55529873	-35.9654499
70.50865903	-39.4755294
49.63417031	-38.2427524
26.53441403	-28.5622979
16.30364049	-19.2039208
10.69703817	-11.435882
8.687986202	-7.57098977
7.641855578	-4.88109934
6.869733609	-2.945636
6.376943811	-1.25430357
5.978099718	-1.48380897
5.705622998	-2.81087327
5.519520356	-4.06994232
5.356276831	-5.29424815



Gráfica 30

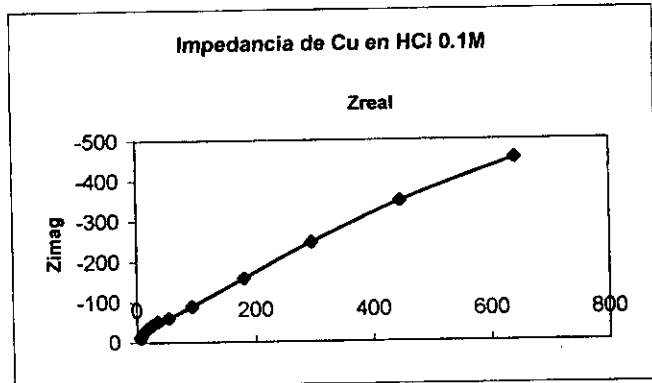
Gráficas de Impedancia de Cobre en diferentes medios

R	X
10.91459817	-1.06675239
10.72827428	-1.52060368
10.25247061	-2.12946665
8.700595467	-3.10825647
6.801730651	-3.20508303
4.62070059	-2.09150542
3.478913012	-0.76922458
2.914581597	0.624116488
2.459302159	1.842227726
2.194331025	3.052230306
1.966410388	4.224001831
1.815459541	5.305293568
1.724854186	6.384585352
1.608783816	7.467182287



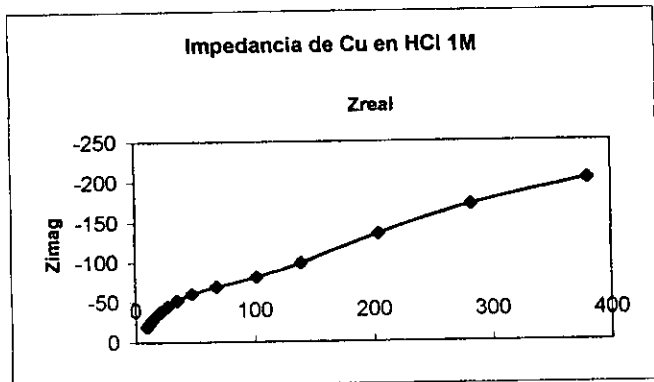
Gráfica 31

R	X
641.0541447	-453.693722
445.9015506	-348.398724
295.2128389	-246.682217
181.0138571	-158.649283
93.28169824	-88.9678244
53.06812089	-60.8520525
35.37932428	-51.04589
25.32521332	-42.6715791
18.45943489	-35.4858338
14.16600679	-29.5062895
10.86222357	-24.1283807
8.691126465	-19.514959
6.818589311	-14.8475471
5.753605833	-11.5838359



Gráfica 32

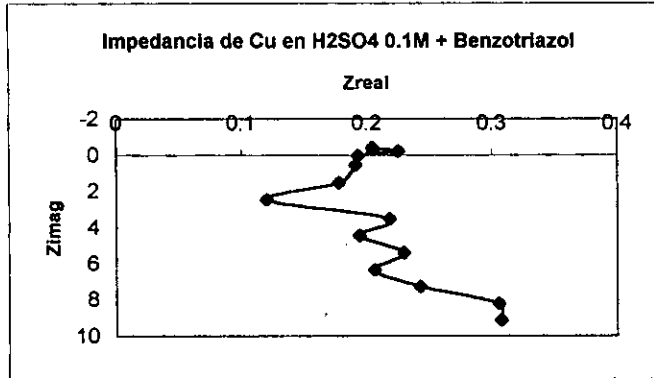
R	X
380.4877069	-202.763497
282.6644178	-171.363395
204.3485143	-134.953982
138.850051	-98.8384096
101.7646158	-81.2116841
67.96367201	-69.4733908
47.23759898	-60.7039676
34.87460756	-51.9323146
26.36937291	-44.6577475
20.63506198	-37.9734899
16.3178198	-32.2316972
13.41077413	-27.2207468
11.1617942	-22.8620958
9.483584593	-19.0834394



Gráfica 33

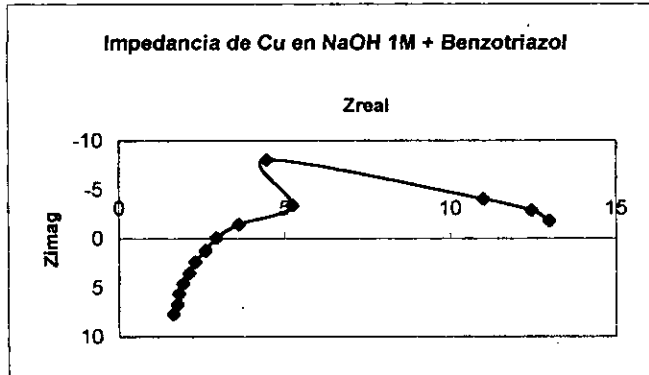
Gráficas de Impedancia de Cobre en diferentes medios + Benzotriazol

R	X
0.204519212	-0.41173013
0.205279878	-0.36392782
0.225129533	-0.23551175
0.193295246	0.039612036
0.191464285	0.549522913
0.177987782	1.526407058
0.120312354	2.455533115
0.218235391	3.507900419
0.194517718	4.436718812
0.229696335	5.396078283
0.206237941	6.355646133
0.242807904	7.273233561
0.305728963	8.222346148
0.307505725	9.13719396



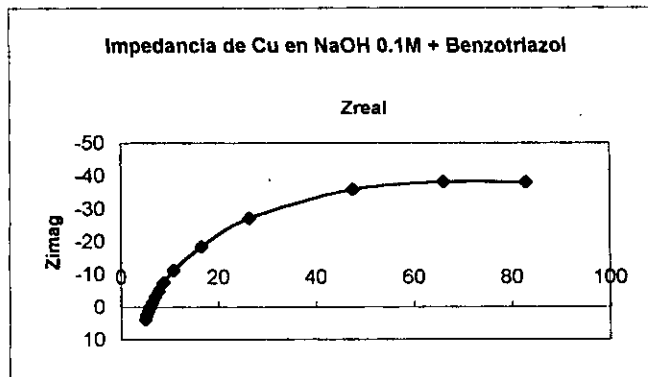
Gráfica 34

R	X
12.98494735	-1.80947988
12.45722354	-2.87760153
10.99998325	-4.06350038
4.465872252	-8.07869461
5.233015547	-3.40813138
3.627158057	-1.4847548
2.935828681	-0.10566212
2.618244399	1.218958731
2.310718107	2.357924473
2.130380028	3.485155997
1.95043442	4.58456881
1.828564794	5.613819987
1.775124996	6.661613234
1.668001261	7.687487318



Gráfica 35

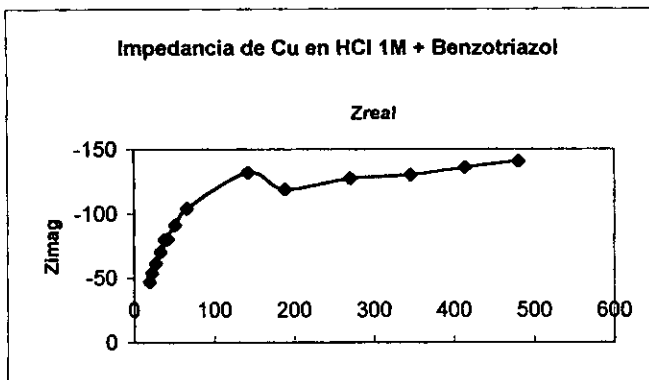
R	X
82.90769441	-38.0180899
66.00977044	-38.0811843
47.51548019	-35.8721278
26.30160211	-27.0880039
16.47616905	-18.4902853
10.92523508	-11.1603087
8.865691995	-7.49669133
7.817633443	-4.91357314
7.008652366	-3.04447582
6.475082118	-1.41217119
6.000837818	0.031516935
5.617198032	1.361580414
5.336088365	2.592239991
5.024073225	3.83697252



Gráfica 36

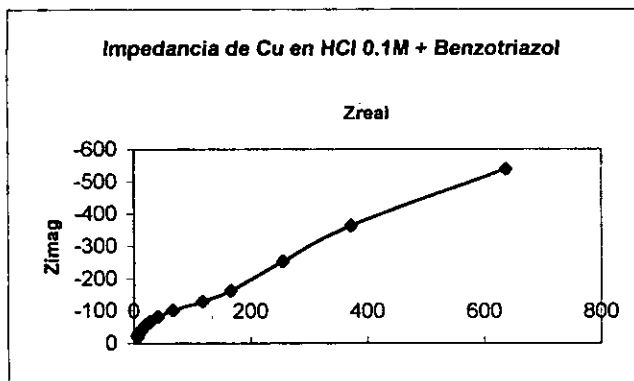
Gráficas de Impedancia de Cobre en diferentes medios + Benzotriazol

R	X
480.5184884	-140.937151
413.801745	-135.762641
346.1116093	-130.046378
270.1955889	-127.288868
188.5927581	-118.872917
142.4912105	-131.984565
65.38427508	-104.06368
50.67988403	-91.5116371
37.88657827	-80.0003887
41.79017538	-80.2241296
32.86323375	-70.3618116
27.0810154	-61.6264549
22.30688966	-53.9572972
19.27309777	-47.1562352



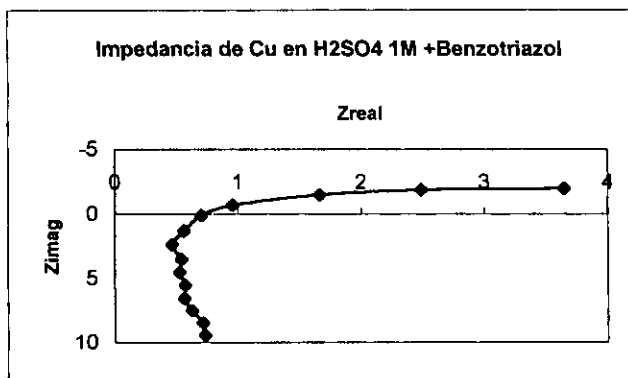
Gráfica 37

R	X
636.9618872	-538.086202
371.8025915	-364.552514
254.9762245	-253.452844
165.767223	-163.294463
117.4097526	-128.478655
66.90816002	-101.89277
40.45406691	-81.8906217
26.86259044	-66.2532552
18.66261843	-54.2046704
13.84381814	-44.9350334
10.3658866	-37.4010789
8.264147151	-31.0981533
6.667058265	-25.9271149
5.713513971	-21.3915147



Gráfica 38

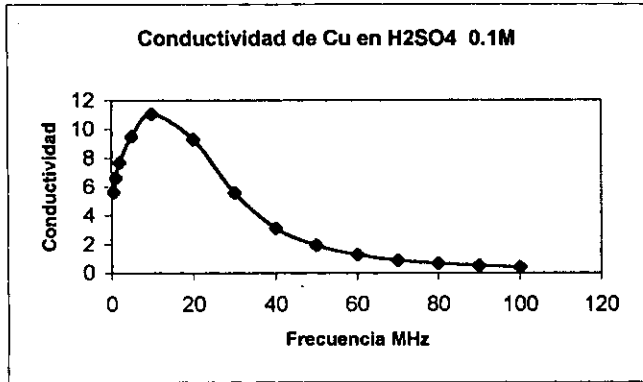
R	X
3.64648098	-1.98841507
2.487937997	-1.89527588
1.665797244	-1.48615531
0.955502234	-0.70017211
0.70161748	0.110131641
0.560082784	1.312145355
0.463681559	2.370303275
0.538697415	3.512048997
0.524655441	4.511771073
0.570733427	5.535498333
0.562503643	6.547524803
0.625437339	7.492312163
0.715060637	8.486522878
0.730255921	9.420941319



Gráfica 39

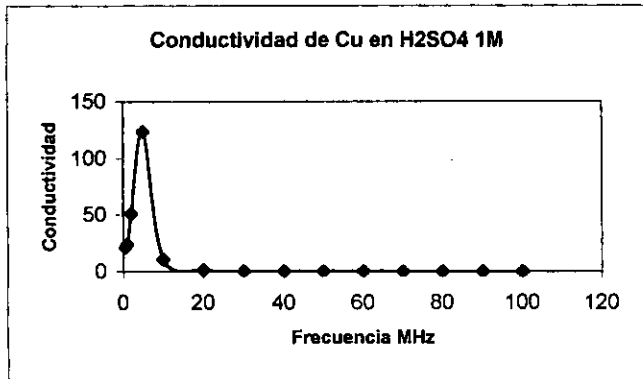
Gráficas de Conductividad de Cobre en diferentes medios

Frecuencia	σ
0.5	5.660563778
1	6.638178343
2	7.6985223
5	9.503346458
10	11.07002456
20	9.319800092
30	5.575944796
40	3.121147366
50	1.934406184
60	1.298733239
70	0.883474024
80	0.663395954
90	0.524639688
100	0.401776047



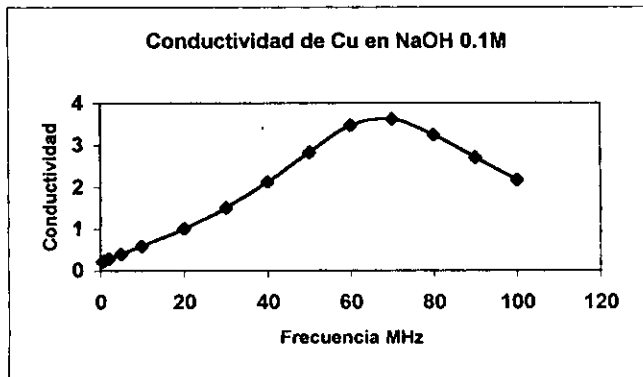
Gráfica 40

Frecuencia	σ
0.5	21.56655031
1	24.26522509
2	51.38440657
5	123.651676
10	10.61437707
20	1.530234316
30	0.43826842
40	0.391678816
50	0.215931646
60	0.186482531
70	0.12184251
80	0.10815867
90	0.105092306
100	0.085669922



Gráfica 41

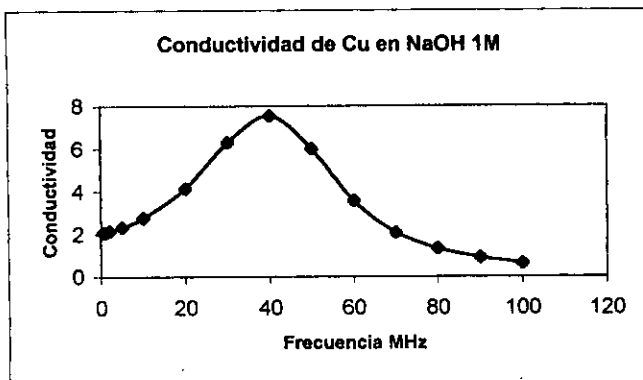
Frecuencia	σ
0.5	0.22296919
1	0.248375388
2	0.290796478
5	0.401573707
10	0.590948498
20	1.003448755
30	1.504795752
40	2.13776784
50	2.828206805
60	3.472525919
70	3.624169814
80	3.243811927
90	2.699271986
100	2.171904384



Gráfica 42

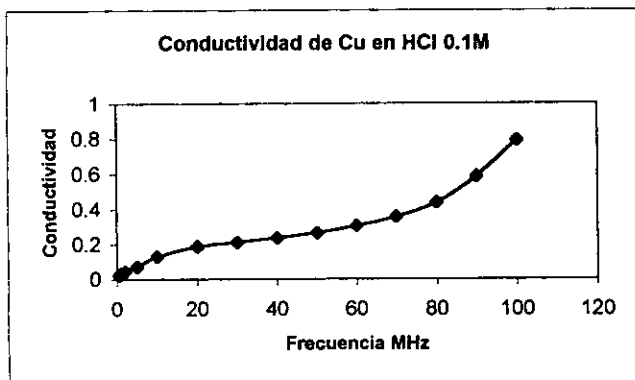
Gráficas de Conductividad de Cobre en diferentes medios

Frecuencia	σ
0.5	2.087510204
1	2.101827179
2	2.150769538
5	2.344506255
10	2.76731257
20	4.131527921
30	6.303565555
40	7.545849678
50	5.990999923
60	3.571630414
70	2.083390044
80	1.328012946
90	0.90700353
100	0.634137838



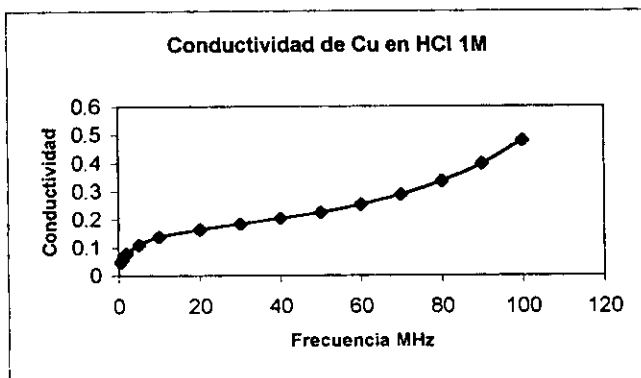
Gráfica 43

Frecuencia	σ
0.5	0.023906925
1	0.032030926
2	0.045880769
5	0.071867294
10	0.129126386
20	0.1872416
30	0.210968162
40	0.23658106
50	0.265368742
60	0.304145191
70	0.356822932
80	0.438011965
90	0.587478937
100	0.791000159



Gráfica 44

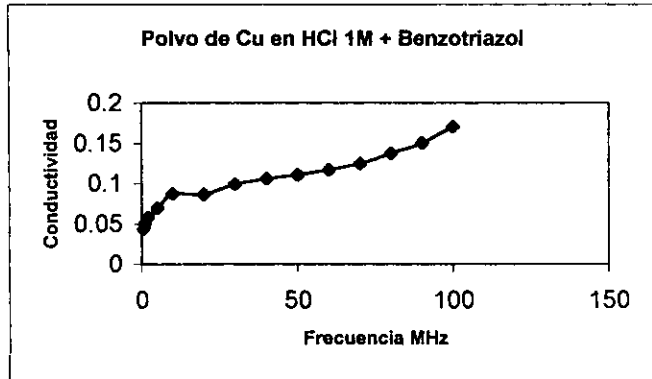
Frecuencia	σ
0.5	0.047082986
1	0.059505475
2	0.078378359
5	0.109948517
10	0.138088174
20	0.165504378
30	0.183650787
40	0.204989864
50	0.225503211
60	0.254109369
70	0.287564964
80	0.334970389
90	0.39661627
100	0.4802973



Gráfica 45

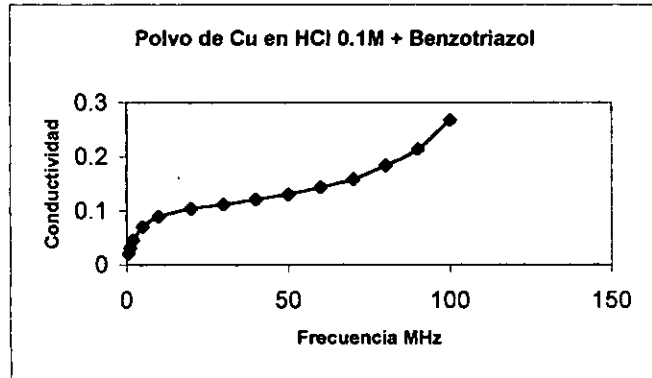
Gráficas de Conductividad de Cobre en diferentes medios + Benzotriazol

Frecuencia	σ
0.5	0.044077282
1	0.050185014
2	0.058236597
5	0.069668903
10	0.087287232
20	0.086883423
30	0.099570557
40	0.106527428
50	0.111217004
60	0.117473677
70	0.125335038
80	0.1374605
90	0.150497626
100	0.170801381



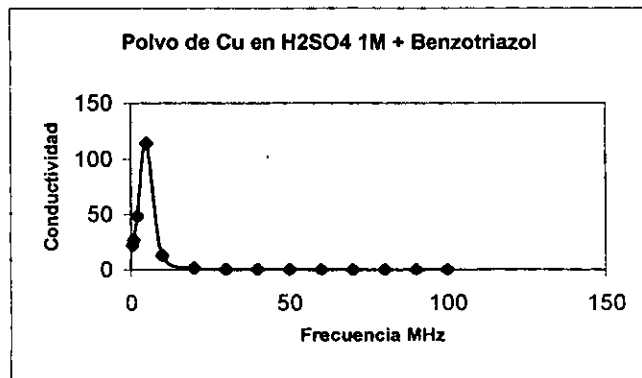
Gráfica 46

Frecuencia	σ
0.5	0.02107333
1	0.031542123
2	0.04537642
5	0.070423007
10	0.089154545
20	0.103575494
30	0.111537327
40	0.120889794
50	0.130616171
60	0.144028388
70	0.158282405
80	0.18357768
90	0.213960738
100	0.268039004



Gráfica 47

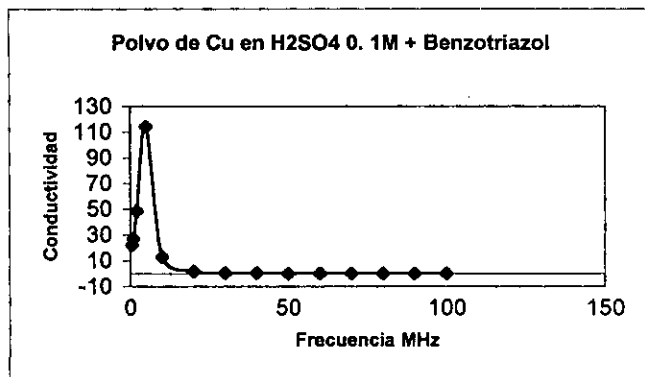
Frecuencia	σ
0.5	4.862218939
1	5.850342253
2	7.688640442
5	15.66279635
10	31.99582577
20	6.329383137
30	1.82836305
40	0.981476536
50	0.584920386
60	0.423907234
70	0.299580045
80	0.254485222
90	0.226739379
100	0.188100239



Gráfica 48

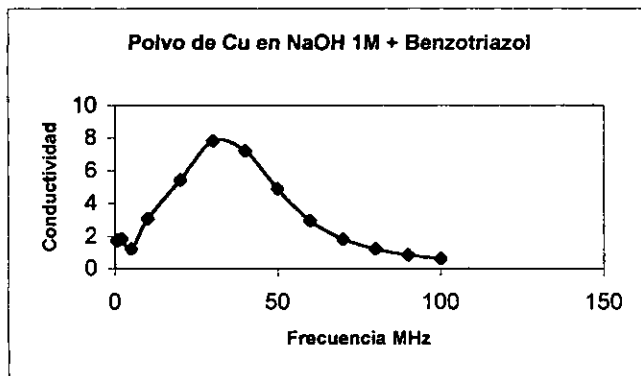
Gráficas de Conductividad de Cobre en diferentes medios+ Benzotriazol

Frecuencia	σ
0.5	22.25858035
1	27.04636643
2	48.78444587
5	114.2030452
10	13.00534391
20	1.733592414
30	0.457864596
40	0.406357737
50	0.226856596
60	0.181115129
70	0.117307978
80	0.105450918
90	0.103863051
100	0.084613642



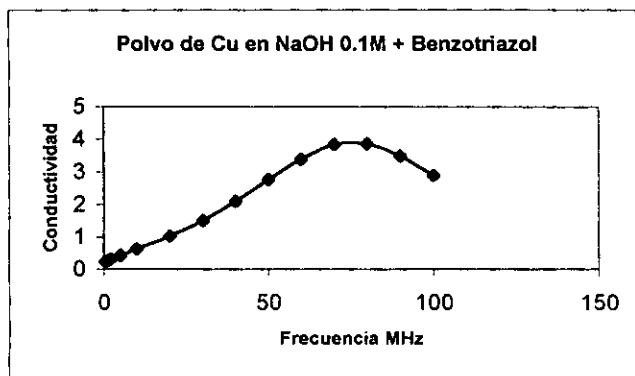
Gráfica 49

Frecuencia	σ
0.5	1.737689972
1	1.752939718
2	1.839999359
5	1.205547298
10	3.086413644
20	5.431455336
30	7.824684845
40	7.220116904
50	4.876422824
60	2.936828762
70	1.807265269
80	1.206497617
90	0.859001591
100	0.619944389



Gráfica 50

Frecuencia	σ
0.5	0.229237545
1	0.261448846
2	0.308348337
5	0.424394377
10	0.617887038
20	1.030286911
30	1.512793587
40	2.109077958
50	2.760868773
60	3.390917598
70	3.832759598
80	3.867327973
90	3.487193036
100	2.891312793



Gráfica 51

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al ser analizados los resultados obtenidos durante la experimentación del DOX en los diferentes medios se observó que a frecuencias menores, por ejemplo 5MHz, la conductividad es mayor para H_2SO_4 0.1M, le sigue el NaOH 1M, después el HCl 0.1M, el siguiente en el orden es el NaOH 0.1M y finalmente el HCl 1M (ver gráficas N° 11, 15, 12, 14 y 13 respectivamente), en cambio a frecuencias mayores por ejemplo 60MHz el orden sería exactamente al contrario, primero el HCl 1M, después el NaOH 0.1M, el HCl 0.1M, NaOH 1M y al último el H_2SO_4 0.1M. Con base en los resultados y tomando en cuenta que las unidades de conductividad que se manejaron fueron $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, la posible explicación es que los valores obtenidos reflejan básicamente lo que ocurre en la interfase metal electrolito mas que en el electrolito o el metal en si por lo que se puede hacer la siguiente observación: Se puede ver en los diagramas que la conductividad aumenta a frecuencias bajas, pero al incrementar la frecuencia, la conductividad disminuye, por lo tanto la resistividad aumenta, lo cual podría ser debido a la posible formación de una capa pasivante sobre la superficie del metal. Se puede entender que cuando se tiene DOX en diferentes medios la resistividad aumenta a medida que se aumenta la frecuencia; por ejemplo en el caso del H_2SO_4 1M, se observa en la gráfica N° 11 que dentro del rango que comprende 0.5 MHz a 20 MHz no existe la posibilidad de que se forme la capa pasivante y que después de este último valor si puede existir tal posibilidad. En cuanto al NaOH 1M, NaOH 0.1M y HCl 0.1M (ver graficas N° 15, 14 y 12 respectivamente) se observa el mismo comportamiento solo que los rangos cambian entre 0.5MHz - 40MHz, 0.5MHz-60MHz y entre 0.5MHz-40MHz respectivamente e igualmente existe la posibilidad de formación de una capa pasivante a partir de los valores mas altos. Finalmente en la gráfica N° 13 de el HCl 1M aparentemente

se aprecia la posible formación de la capa desde el principio de la prueba y hasta 50MHz que es el punto en que empieza a aumentar la conductividad pero su tendencia es, de acuerdo con la gráfica, disminuir y establecerse a frecuencias mayores a 100MHz.

Se puede concluir que a diferencia de los otros electrolitos el H_2SO_4 1M por ser uno de los ácidos más oxidantes, tiene gran influencia en la disminución de la conductividad y por lo tanto en la posible formación de la capa pasivante, ya que la resistividad empieza a aumentar a partir de los 20MHz.

En términos del diagrama de Nyquist el único que presenta la formación de un semicírculo capacitivo es en el caso del DOX presente en HCl 1M (gráfica N° 7), por lo que se puede decir que los resultados de dielectricidad o impedancia a altas frecuencias del DOX no presentan ninguna diferencia al cambiar el metal ni el electrolito y la respuesta de dielectricidad de cobre es prácticamente la misma.

Con base en estos resultados se puede establecer que la técnica de dielectricidad no es sensible al cambio ni del metal estudiado ni a la concentración del medio

Ante este resultado se decidió añadir benzotriazol, aditivo conocido por sus características como inhibidor de la corrosión del cobre, sin embargo, los diagramas obtenidos no reflejan en ningún caso un cambio respecto a los obtenidos anteriormente.

En cuanto al cobre, el análisis de resultados en términos de la representación de Nyquist presenta resultados diferentes. Por ejemplo, en el caso del NaOH (gráficas N° 30 y 31) con ambas concentraciones parece definirse un semicírculo capacitivo, mientras que en el de HCl también podría suponerse la aparición de uno ó dos semicírculos de los cuales, el de menor frecuencia parecería tener un diámetro mayor admitiendo que la información obtenida tendría que ver con la superficie del metal directamente en contacto con la del electrolito(ver gráficas N° 32 y 33). De esta manera puede afirmarse por los valores de

impedancia obtenidos que el NaOH sería más agresivo que el HCl independientemente de la concentración aunque en la literatura se reporta lo contrario⁽³⁾, es decir, que en función de la diferencia de las velocidades de corrosión del cobre en ambos medios, el ácido clorhídrico es más agresivo para el cobre que el hidróxido de sodio.

Aún cuando por trabajar a tan altas frecuencias no se puede tener información sobre el proceso de transferencia de carga involucrado en la reacción de corrosión, sí existen evidencias experimentales de una mayor resistencia a la corrosión del cobre en NaOH que en HCl.

Se abre una interesante posibilidad de considerar esta técnica para evaluar la resistencia a la corrosión de un metal en cualquier medio ya que podría tomarse un solo valor de frecuencia, por ejemplo 50MHz, y por la simple medición de impedancia correspondiente, llegar a clasificar su comportamiento de mayor a menor resistencia a la corrosión.

Esta posibilidad no ha sido comprobada ya que al añadir benzotriazol, inhibidor que debería actuar en la superficie del cobre aumentando su resistencia a la corrosión, no parece producir ningún efecto.

Por otra parte cualitativamente hablando, el comportamiento es diferente y parece ser función del electrolito.

Se podrían tomar dos valores de frecuencia para evaluar los diagramas de cobre y su comportamiento de conductividad en ambos casos con y sin benzotriazol. Los valores arbitrarios pueden ser 10MHz y 50MHz.

Sin benzotriazol, con ambas concentraciones, evaluando a la frecuencia menor, el que tiene mayor conductividad sería de el H₂SO₄ seguido por el NaOH y como último el HCl, en cambio a la frecuencia mayor, el primero es el NaOH después el H₂SO₄ y al final el HCl.

(Ver gráficas N° 40 a la 45).

Cuando se le añade benzotriazol, a 10MHz, el de mayor conductividad es H_2SO_4 con una gran diferencia con respecto a los otros electrolitos, le sigue el NaOH y después el HCl y a una frecuencia de 50MHz, sucede lo mismo que cuando no se añade benzotriazol, el de mayor conductividad es el NaOH seguido del H_2SO_4 y por último el HCl. (Ver gráficas N° 46 a la 51).

El análisis a las mismas frecuencias en presencia de benzotriazol, reactivo orgánico, tiende a disminuir lo cual sería coherente con su naturaleza.

Analizando los diagramas de conductividad contra frecuencia del cobre en contacto con los diferentes electrolitos como el H_2SO_4 0.1M y 1M sin benzotriazol, se aprecia que la posible pasivación comienza aproximadamente después de los 50MHz y 20MHz respectivamente y al añadir el inhibidor, el proceso empieza a partir de los 20MHz en ambas concentraciones, lo anterior nos permite ver que el inhibidor si tuvo efecto sobre el proceso, haciendo que la concentración mas baja actuara de manera mas oxidante o pasivante.

Cuando se tiene NaOH con ambas concentraciones con y sin inhibidor, la formación de la capa pasivante tendría lugar a frecuencias extremadamente altas con referencia a las gráficas N° 42, 43, 50 y 51, contrario a lo que ocurre en el caso del HCl 0.1M y 1M, en donde se observa que dicho proceso de pasivación de la superficie del metal podría presentarse a frecuencias muy bajas a causa de que la conductividad en estos medios tiende a incrementar a medida que se aumenta la frecuencia.(Ver gráficas N° 44,45,46 y 47).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

- 1) El ácido sulfúrico 0.1M tiene mayor influencia, a comparación de los otros electrolitos utilizados, sobre la conductividad, disminuyéndola conforme se aumenta la frecuencia y como resultado incrementando la resistividad.
- 2) Por ser uno de los ácidos más oxidantes, el H_2SO_4 con una concentración 0.1M influye en la posible formación de una capa pasivante sobre la superficie del metal, DOX en este caso, a partir de una frecuencia de 20 MHz y en los otros electrolitos dicho proceso no se hace notar sino hasta después de los 40 MHz a excepción del HCl en donde al parecer se podría empezar a formar desde el inicio de la prueba.
- 3) La técnica de Dielectricidad o Impedancia a altas frecuencias no es sensible al cambio del metal en estudio, ni al cambio del medio y de la concentración del mismo.
- 4) El inhibidor orgánico (Benzotriazol) tampoco parece tener efecto en el proceso al aplicar la técnica de dielectricidad al cobre aunque cualitativamente hablando si existen cambios dependiendo del electrolito.
- 5) Para el DOX, los diagramas de Nyquist, no presentan resultados consistentes al exponer el DOX en los diferentes electrolitos a excepción del HCl 1M que es el único que muestra la formación de un semicírculo capacitivo.
- 6) Para el cobre en términos del diagrama de Nyquist, se puede concluir que el NaOH es más agresivo que el HCl independientemente de la concentración.
- 7) La conductividad del cobre en HCl con ambas concentraciones tiende a incrementar conforme se aumenta la frecuencia

- 8) Existe la posibilidad de la formación de una capa pasivante cuando se expone al cobre en H_2SO_4 0.1M y 1M, sin la presencia del inhibidor a partir de una frecuencia de 50 MHz y 20 MHz respectivamente de acuerdo a los diagramas de conductividad.
- 9) Al agregar Benzotriazol, en cuanto a conductividad se refiere, el proceso de pasivación empezaría en los 20 MHz en H_2SO_4 tanto 0.1M como en 1M, así que se puede afirmar que el inhibidor si tuvo efecto sobre el proceso de tal forma que la concentración más baja actuó de manera más oxidante o pasivante.
- 10) El inhibidor no presenta diferencias en cuanto a la posible pasivación del cobre en NaOH (ambas concentraciones), pero se puede concluir que podría ocurrir a frecuencias extremadamente altas.
- 11) Para el mismo cobre en HCl (ambas concentraciones), el inhibidor tampoco produce cambios, pero se puede observar que la posible pasivación ocurriría a frecuencias muy bajas.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

CAPÍTULO 6

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1 Referencias Bibliográficas

- 1) Shreir L.L. Corrosion. Corrosion Control Volume 2. Editorial Butterworks Publishers Inc. reprinted 1979.

- 2.) Ávila Javier, Genesca Llongueras Juan. Mas Allá de la Herrumbre II. La lucha contra la corrosión. Fondo de Cultura Económica S.A. de C.V., México D:F. Col. La Ciencia de México No 79, 1989.

- 3) Heidersback Robert. Cathodic Protection. Corrosion Metals Handbook. Volume 13, ninth edition, California Polytechnic State University, ASM International.

- 4) "Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems," NACE RP-01-69, National Association of Corrosion Engineers.

- 5) Bueche Frederick J., Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería. Tomo 2. Editorial McGraw Hill, México 1990, p.p. 262-265.

- 6) Francis W. Sears, Mark W. Zemansky & Hugh D. Young., FÍSICA UNIVERSITARIA, Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, México D.F. 1986. p.p. 599-607.

- 7) R. M. Burns and W. W. Bradley; Protective coatings for metals. Third Edition. Reinhold Publishing Corporation; United States of America, 1967.

- 8) L. X. Caballero, F. Paniagua y A. Arroyo. DOX , la mejor alternativa contra la corrosión. Revista SINCORR, México. Edición 1.
- 9) Martínez Castro Leobardo F. Análisis Dieléctrico de la Galena en presencia de Xantato Etilico de Potasio, Dicromato de Potasio y Mezcla de estos, por medio de la Técnica de Impedancia a Altas Frecuencias. Tesis de licenciatura. México D.F. 1998.
- 10) Ramírez Rodríguez Ruth Irene. Caracterización Electroquímica de una Aleación de Ni-Co-B depositada Electroquímicamente. Tesis de licenciatura. México D.F. 1998.
- 11) Martínez Hernández Nicolás. Estudio de Dielectricidad del Activador CuSO_4 y el Colector XEK sobre ZnS bajo las Condiciones de Flotación. México D.F. 1997
- 12) Solís Gallardo Armando. Estudio de dielectricidad del sistema PbS-XEK- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ bajo las condiciones de flotación. Tesis de licenciatura. México D.F. 1996
- 13) Rodríguez C., Campillo Bernardo, Albarran J.L., Genesca Joan, Caballero L.X. Corrosion Behavior of Electrolytic NiCoB Coatings. Corrosion Reviews. Vol. 17 No. 2 Facultad de Química UNAM, México D.F., Centro de Ciencias Físicas, UNAM, Cuernavaca Mor., México, DTA S.A. de C.V. 1999
- 14) Alberto Pérez Millán. Recubrimientos Barrera Física para controlar la Corrosión Tesis de Licenciatura. México D.F. 1989.
-

15) Hladky K., Callow L.M. and Dawson J.L. Corrosion Rates from Impedance Measurements: An Introduction. Corrosion and Protection Center, UMIST, Manchester M60 IQD. January 1980.

16) Silverman D.C. Primer on the AC Impedance Technique. Corrosion Magazine Article.