

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS



**DESARROLLO DE POLÍMERO CONDUCTOR DE
ELECTRICIDAD**

Tesis presentada por:

Ing. Jesús Rubén Bautista Díaz

Director de tesis:

M.C. Mario Rafael Contreras Orendain

CONTENIDO

Lista de tablas.....	i
Lista de figuras	i
Nomenclatura	ii
Dedicatoria	iii

Capítulo I

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Historia de Plamex	1
1.2 Necesidad de nuevos conductores.....	3
1.2.1 Rechazos del cliente	4
1.2.2 Descripción de rechazos relacionados con el cable	6
1.2.3 Antecedentes	8
1.2.4 Objetivos o metas	9
1.2.5 Hipótesis.....	10
1.2.6 Alcance.....	10

Capítulo II

MARCO TEÓRICO	11
2.1 Teoría de polímeros conductores	11
2.1.1 Conductividad	12
2.1.2 Dopaje	13
2.1.3 Síntesis de polímeros conductores	16
2.1.4 Fotoquímica de polímeros conductores.....	16
2.2 Principales aplicaciones	18
2.3 Polímeros orgánicos conductores.....	27
2.3.1 Algunos de los polímeros conductores.....	28
2.4 Celulosa.....	29

2.4.1 Función de la celulosa	30
2.4.2 Historia y aplicaciones	30
2.4.3 Algunos de los polímeros celulósicos	32
2.4.4 Composición química de la madera	32
2.5 Conductividad eléctrica.....	34
2.5.1 Modelo matemático.....	34
2.6 El campo eléctrico.....	34
2.6.1 Fuente de campo.....	35
2.6.2 Líneas de campo.....	36
2.6.3 Potencial eléctrico	36
2.6.4 Trabajo eléctrico.....	36
2.6.5 Superficies equipotenciales	42
2.6.6 Campo eléctrico uniforme	43
2.6.7 Campo eléctrico no uniforme.....	45
2.6.8 Definición matemática	46
2.6.9 Ejemplos de potencial eléctrico.....	47
2.7 Potencial debido a dos cargas puntuales	49
2.7.1 Potencial eléctrico debido a una distribución discreta	49
2.7.2 Potencial eléctrico generado por una distribución continua.....	51
2.7.3 Potencial eléctrico generado por un plano infinito.....	51
2.7.4 Esfera conductora cargada	51
2.8 Energía del campo.....	52

Capítulo III

EXPERIMENTACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS.....	53
3.1 Diseño experimental.....	53
3.2 Sistema de Medición	54
3.2.1 Proceso de mezcla y equipo de medición eléctrica.....	54
3.2.2 Equipo de medición e instrumentación	55
3.3 Experimentación	56

3.4 Análisis del diseño experimental.....	57
3.4.1 Análisis visual	57
3.4.2 Análisis de varianza	59
3.4.3 Segundo análisis.....	59
3.4.4 Gráficos de contorno	60
3.4.5 Modelo cuadrático.....	61
3.4.6 Verificación de supuestos.....	61
3.4.6.1 Gráficos de verificación de supuesto	61
3.5 Resultados obtenidos.....	63
3.5.1 Corrida de confirmación y conclusiones	63
3.6 Conclusión final	64
3.7 Trabajos futuros.....	65
Referencias Bibliográficas	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de rechazos	4
Tabla 2 Causas de rechazo del cliente.....	5
Tabla 3 Factores	54
Tabla 4 Matriz codificada	56
Tabla 5 Matriz valores reales	57
Tabla 6 Resultado optimo (datos reales).....	58
Tabla 7 Resultado optimo (datos codificados).....	58
Tabla 8 Matriz con valores transformados	58
Tabla 9 Resultado (datos codificados)	63
Tabla 10 Corrida de confirmación con datos codificados.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Audífonos Plantronics “Supra”.....	3
Figura 2 “QD connector” con falla interna en conector.....	6
Figura 3 “QD connector” con falla en bota de hule	7

Figura 4 Audífono con falla en botas de hule	7
Figura 5 Enlaces de carbono sencillos y dobles	11
Figura 6 Orbitales electrónicos π extendidos sobre la estructura	11
Figura 7 Grafica temperatura-conductividad	15
Figura 8 Estructura de la celulosa	29
Figura 9 Fuente de campo magnético	35
Figura 10 Trabajo eléctrico y energía potencial.....	37
Figura 11 Trayectoria de carga.....	38
Figura 12 Movimiento de carga de prueba.....	40
Figura 13 Superficies equipotenciales.....	42
Figura 14 Campo eléctrico uniforme	44
Figura 15 Diferencia de potencial e intensidad de campo	45
Figura 16 Potencial debido a una carga puntual	47
Figura 17 Superficies equipotenciales producidas por una carga puntual ...	49
Figura 18 Potencial eléctrico generado por cargas.....	50
Figura 19 Laboratorio de análisis químicos	54
Figura 20 Multímetro calibrado	55
Figura 21 Fuente de poder.....	55
Figura 22 Gráfica de residuales.....	60
Figura 23 Gráfica de contorno	62

NOMENCLATURA

\vec{J}	Densidad de corriente
\vec{E}	Campo eléctrico
\vec{F}	Fuerza eléctrica
π	Pi (3.1416)
∞	Infinito
G	Conductancia
W	Trabajo

σ Resistividad eléctrica (Siemens / metro)

DEDICATORIA

A mis padres y maestros:

Dedico esta tesis, a mis padres, esposa, hermanos y maestros, que con su apoyo y esfuerzo, han contribuido a mi formación, como profesionalista, muchas gracias a todos.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 HISTORIA DE PLAMEX

La empresa PLAMEX, es una empresa de PLANTRONICS, con la planta matriz en Santa Cruz California, Estados Unidos.

PLAMEX, es un importante fabricante, de audífonos, la cual tiene un firme compromiso a la protección ambiental.

En la actualidad esta planta disfruta de considerables ahorros anuales, y además de ingresos generados por el reciclaje y reducción de costos.

- EL programa fronterizo “Waste Wise” ha ayudado a que en 1996 Plamex aumente el volumen de reciclaje en un 30% y reciba precios más altos por sus materiales reciclables.
- Respaldado por las recomendaciones del Programa Fronterizo “Waste Wise”, PLAMEX está ampliando el programa de capacitación de empleados para concientizarlos aun más en la reducción de desechos y para mejorar la segregación de materiales reciclables en las líneas de producción.

Cuando se inauguró PLAMEX en 1972, Plantronics entendió la importancia de adoptar la cultura mexicana, devolver algo a las comunidades locales y crear un ambiente de trabajo que fomente los más altos niveles de participación, innovación y creatividad de los empleados.

Tras una evaluación extensiva y visita a la planta, PLAMEX fue distinguida con el Premio Nacional de Tecnología después de recibir altas calificaciones en cada una de las categorías en las que se juzga a las compañías: conocimientos estratégicos e integración del mercado y clientes; competitividad en productos, procesos y servicios;

tecnología y planeación estratégica; legado y capacidad tecnológica; y el valor que se crea a través de la administración de la tecnología.

PLAMEX ha recibido ahora siete prestigiosos premios por excelencia en manufactura y calidad en los últimos 12 meses. Entre otros premios que ha recibido la compañía se cuentan el Premio Internacional de Calidad Asia Pacífico, el Premio de Calidad Iberoamericano del 2005 y la Corona de Oro Internacional.

Los asociados de Plantronics México disfrutan de un entorno que promete innovación de procesos y están capacitados para evitar problemas proponiendo soluciones a cualquier riesgo potencial que identifiquen. Todos contribuyen a los procesos de calidad para incrementar la satisfacción de los clientes, minimizar la repetición del trabajo, reducir el costo, mantener el nivel de producción y sostener la excelencia en los productos. PLAMEX disfruta de una de las tasas de rotación de empleados más bajas de la industria gracias a sus amplias prestaciones para los empleados.

Plantronics manufactura a nivel mundial más de 8,000 diferentes modelos de audífonos.

La planta cuenta con la certificación ISO 9002-2000 y ha recibido numerosos premios y recomendaciones por su excelencia en aspectos ambientales, trabajo con la comunidad, satisfacción del cliente y seguridad laboral. Entre los premios que ha ganado antes la compañía se cuentan el Certificado de Industria Segura de la Secretaría del Trabajo, Premio a la Calidad de Baja California 2001 ("La Mejor Compañía Maquiladora ") y el Premio Ambiental PROFEPA/CNIME (EPA/Consejo Nacional de Maquiladoras).

En 1969 un "auricular Plantronics" transmitió las primeras palabras históricas desde la luna: "Es un pequeño paso para el hombre, un gran salto para la humanidad." Desde entonces, los audífonos de Plantronics se han convertido en los predilectos para aplicaciones de misión crítica como control del tráfico aéreo, despacho de llamadas al 911 y la Bolsa de Valores de Nueva York. Hoy día, esta historia de "Sound Innovation™" es la base de todos los productos que se construyen para los mercados de

la oficina, centro de contactos, teléfonos móviles personales, entretenimiento y residencial. La familia de marcas Plantronics incluye Plantronics, Altec Lansing, Clarity y Volume Logic.

Altec Lansing, Clarity, Plantronics, Sound Innovation y Volume Logic son marcas comerciales o registradas de Plantronics, Inc.

1.2 NECESIDAD DE NUEVOS CONDUCTORES

Actualmente la familia de productos de mayor venta de PLANTRONICS es el modelo “Supra” (figura 1), su venta es alrededor de 20,000 unidades por semana lo que representa 1,100,000 unidades por año aproximadamente.



Figura 1 Audífono “Plantronics Supra”

Dentro de las principales propiedades del cadmio, se puede mencionar que ofrece una alta flexibilidad cuando éste está aliado con el cobre, lo cual permite fabricar cables con una alta maleabilidad permitiéndoles una larga vida.

Debido a que el cadmio no se puede utilizar ya, porque es cancerígeno, y la falta de un material que lo sustituya, los cables que se encuentran principalmente en el auricular se rompen con mayor facilidad que antes, lo cual da como resultado un tiempo de vida menor.

El presente trabajo estudia la posibilidad de utilizar un polímero flexible alternativo para este propósito.

1.2.1 Rechazos del cliente

En la siguiente tabla se muestran los porcentaje de rechazos de los productos “Supra” y “Supra Plus”

FAMILIA	ORIG	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
SUPRA	PMX	5.84%	5.48%	4.97%	5.61%	6.05%	5.05%	5.58%	4.85%	3.30%	4.92%	5.84%	5.40%
SUPRA PLUS	PMX	1.77%	2.53%	2.24%	3.00%	2.94%	2.48%	3.08%	3.97%	3.05%	4.43%	4.23%	4.52%

Tabla 1 Porcentaje de rechazos del cliente

En las tablas 1 y 2 se pueden apreciar varios casos de cables rotos, una de las principales fallas, y razones por la que el cliente regresa el producto.

TOT.	DESCRIPCIÓN	CATEG.	CATEG.	%	TOT.	COD.	TOT.	GRUPO
937	ningún problema	ntf	ntf	53.377	184	07-Jun	17	acústico
346	tubo de "headband" quebrado en diámetro grande	sup	sup	35.025	150	03-Jun	842	dañado
204	tubo de "headband" quebrado	sup	des	6.3683	149	12-May	38	muerto
163	tubo de "headband" quebrado en diámetro chico	sup	dam	3.6917	146	01-Jun	57	intermitente
144	mala impresión del código de barras	ntf	man	2.5381	120	10-May	74	ruido
72	cables intermitentes en el cable de bota de "QD"	des			112	08-Jun	1141	sin problema
52	sin tubo de voz	ntf			108	05-Jun		
43	cables intermitentes en el cable de bota	des			106	06-May		
42	yugo externo roto	sup			104	12-Abr		
41	base de torre rota	dam			102	11-May		
20	base de torre rota	man			95	02-Jun		
15	elemento acústico del tubo de voz obstruido	des			93	09-May		
12	cables rotos dentro del conector de "QD"	man			74	06-Jun		
10	cables intermitentes en la bocina	des			72	04-Jun		
9	mal ensamble de la terminal con el "housing"	man			58	04-May		
9	ensamble de diadema doblada	des			58	08-May		
6	terminal de conector "QD" aplastada	man			56	01-May		
4	ensamble de cable cortado	des			52	03-May		
3	sin esponja en la bocina	dam			52	09-Jun		
3	cables intermitentes (sin bota)	des			44	07-May		
3	tubo de voz roto	dam			40	05-May		
3	mal ensamble de la terminal con el "housing"	man			37	10-Abr		
3	tapa del micrófono floja	man			35	11-Abr		
3	micrófono muerto	sup			25	02-May		
2	conector del "housing" roto	dam			18	09-Abr		
2	cable intermitente dentro del modulo de bocina	des			17	06-Abr		
2	mala impresión del código de barras	des			13	10-Jun		
2	elemento acústico del tubo de voz obstruido	dam			12	08-Abr		
1	cables rotos dentro de la bota	des			10	05-Abr		
1	cápsula de micrófono rota	des			7	04-Abr		
1	cable intermitente dentro del modulo de bocina	man			3	03-Abr		
1	ensamble de diadema roto	dam			3	02-May		
1	cable de bota roto	dam			3	11-Jun		

Tabla 2 Causas de rechazo del cliente

En la tabla 2, se pueden apreciar varios casos de cables rotos, una de las principales fallas, y razones por la que el cliente regresa el producto.

1.2.2 Descripción de rechazos relacionados con el cable

i) Cables intermitentes en conector (figura 2) (*)

Los cables de la parte de adentro del conector tenían fallas de falso contacto.



Figura 2 “QD conector” con falla interna en conector

Este tipo de fallas se deben a la mala deficiente flexibilidad del cable de cobre o a la mala colocación de soldadura en la línea de ensamble, es importante para la empresa Plantronics seguir conservando su calidad, y así mismo disminuir sus rechazos y seguir conservando la confianza del cliente.

A continuación, se describe otra falla en la misma parte (“QD connector”), este tipo de falla es todavía mas común, ya que el usuario manipula los audífonos constantemente de los auriculares, para su propio ajuste en los oídos.

ii) Cables intermitentes en bota (*)

En la figura 3, se puede apreciar la localización de la falla, por cables intermitentes en la bota, y en este caso, en particular es debido a la ruptura de varios de los alambres del cable, provocando este tipo de falla, la afectación en la funcionalidad de los audífonos, generando así, quejas del cliente.



Figura 3 “QD conector” con falla en bota de hule.

iii) Cables intermitentes en las botas de las bocinas (figura 4) (*)



Figura 4 Audífono con falla en botas de hule.

Debido a este tipo de problemas, se ha estado buscando un material que cumpla con lo siguiente:

1. con las especificaciones eléctricas de inductancia,

2. que sea altamente flexible,
3. que no tenga cadmio,
4. con minimización de puntos de soldadura
5. que sea biodegradable y libres de residuos metálicos y tóxicos.

1.2.3 Antecedentes

Debido a la reciente prohibición del cadmio por su efecto cancerígeno, ya no es posible utilizarlo en aleación con los cables de cobre, particularmente en nuestra industria electrónica, lo que hace que éstos sean más quebradizos y menos durables, por lo que es necesario buscar otras alternativas.

Hoy en día se sabe que un polímero (del griego poli- que significa varios y –meros que significa unidad) es un conjunto químico, natural o sintético, que consiste esencialmente en unidades estructurales idénticas repetidas.

Hasta antes de la producción del poliestireno completamente sintético la producción se basaba en modificaciones de polímeros naturales, como viscosa-rayón o acetato de celulosa. Con la llegada del nylon-66, la química de polímeros empezó a cambiar el mundo; a pesar de que algunas tribus indígenas ya usaban resina del caucho desde tiempos inmemoriales como algo similar a un zapato, se untaban los pies con esta resina y al polimerizarse, obtenían una resistente protección para la planta del pie.

- Los polímeros se caracterizan en general por ser materiales aislantes, pero desde hace unos 30 años se ha logrado sintetizar polímeros que son buenos conductores de la electricidad, tan buenos que se han denominado metales sintéticos. Los polímeros conductores reúnen las propiedades eléctricas de los metales y las ventajas de los plásticos que tanta expectación despertaron en los años 40.
- La idea de que un polímero condujera electricidad, se difundió rápidamente desde el momento en que esto se demostró.

La conductividad se debe principalmente a la adición de ciertas cantidades de otros productos químicos (polímeros dopados), pero también la presencia de dobles enlaces conjugados que permiten el paso de un flujo de electrones.

En 1977 [1] se sintetizó el primer plástico conductor y en 1981 [1] se fabricó la primera batería con electrodos de plástico conductor. En años recientes se ha conseguido igualar la conductividad de los polímeros, a la del cobre y fabricar la primera batería recargable de plástico.

El descubrimiento de los polímeros conductores sucedió por accidente, al intentar sintetizar poliacetileno, el cual es un polvo de color oscuro, y en vez de eso se obtuvo una película brillante y plateada similar al papel aluminio. Al repasar los cálculos se dieron cuenta de que la cantidad de catalizador usada era 1000 veces la necesaria. El material fue estudiado, y en uno de los estudios se le dopó con yodo y se observó que la conductividad aumentaba más de 1000, 000,000 de veces [1].

Desde entonces se ha comprobado que más de 100 polímeros y sus derivados son capaces de conducir la corriente eléctrica, algunos incluso sin ser dopados.

1.2.4 Objetivos o metas

El principal objetivo de este trabajo es el desarrollo de un polímero conductor de electricidad, para posible uso en transductores de audífonos, utilizando sustancias que han sido identificadas como potenciales para la conducción eléctrica, por medio de la investigación experimental y bibliográfica.

Se puede añadir además, que el polímero debe de ser muy flexible y además, que su mezcla, presente la menor resistencia posible, a la conducción de corriente eléctrica.

1.2.5 Hipótesis

Materiales como el **poliacetileno**, y la **celulosa** (poliméricos orgánicos altamente flexibles) combinadas con otras sustancias, adquirirán propiedades de conducción eléctrica, los cuales sustituirán de manera exitosa el cobre para posible uso en transductores de audiófonos electrónicos.

1.2.6 Alcance

Actualmente los audífonos de mayor venta de PLANTRONICS, son los modelos “Supra”, estos audífonos llevan en su cableado de cobre, una aleación de cadmio, dentro de las principales propiedades del cadmio, se puede mencionar que ofrece una alta flexibilidad cuando éste está aliado con el cobre, lo cual permite fabricar cables con una alta maleabilidad permitiéndoles una larga vida. Debido a que el cadmio ya no se puede utilizar por ser cancerígeno, y debido a la falta de un material que lo sustituya, los cables que se encuentran principalmente en el auricular se rompen con mayor facilidad que antes, lo cual da como resultado un tiempo de vida menor. El presente trabajo estudia la posibilidad de utilizar un polímero flexible y conductor de electricidad, alternativo para este propósito.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 TEORÍA DE POLÍMEROS CONDUCTORES

Un polímero conductor consiste, básicamente en una cadena carbonada muy larga que presenta una conjugación muy extendida (figura 5). Por conjugación se entiende la alternancia de enlaces sencillos y múltiples, es decir:

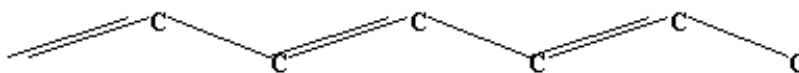


Figura 5 Enlaces de carbono sencillos y dobles

Este tipo de estructura tiene la propiedad fundamental de poseer orbitales electrónicos π extendidos sobre toda la estructura. Un electrón situado en uno de estos niveles estaría muy deslocalizado y tendría una gran libertad de movimiento, de manera que sería posible conseguir la conducción de electricidad (figura 6)

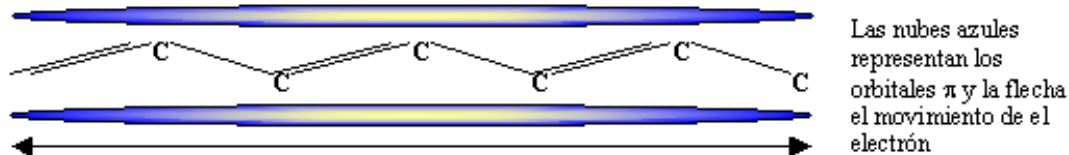


Figura 6 Orbitales electrónicos π extendidos sobre la estructura

La razón de que un polímero con esta estructura no conduzca la electricidad siempre, se debe a que el electrón necesita una gran cantidad de energía para poder ocupar este tipo de orbital, ya que la separación energética entre el mismo y los orbitales electrónicos ocupados es grande. Ahora bien, esta separación

energética se puede reducir significativamente mediante lo que se conoce como dopaje. Este proceso consiste en incorporar a la estructura cierto tipo de átomos, cuya electronegatividad es marcadamente diferente de la que posee el carbono.

Los compuestos que más atención ha recibido por sus especiales características son: poliparafenilo, politiofeno, polipirrol y la polianilina. Entre ellos destaca el poliacetileno que presenta la mayor conductividad, una cuarta parte del cobre a igualdad de volumen y el doble que la de éste a igualdad de peso.

2.1.1 Conductividad

Para que exista conducción eléctrica es necesaria la existencia de electrones que puedan moverse libremente, sin estar enlazados a los átomos. Desde el punto de vista de medidas cuantitativas de la conductividad se podría construir una escala, con unos puntos de referencia, en los que, en cada uno, la conductividad fuese 10.000 veces superior al del anterior. De menor a mayor conductividad se comenzaría con el cuarzo, continuando con diamante, vidrio, silicio y germanio, para dar un salto de 100 millones de mayor conductividad para llegar a los metales (cobre, hierro, plata). Dentro de esta escala, los aislantes presentan igual o menor conductividad que el vidrio. La conductividad de los semiconductores se sitúa en el rango de las del silicio y las del germanio y la de los conductores se corresponde a los metales.

Muchos polímeros plásticos, como el poliacetileno, cuentan con lo que en química se denomina sistemas de dobles enlaces conjugados, es decir, una serie alternada de enlaces sencillos (sigma, fijos) y dobles (algo móviles). Ello hace que se forme una especie de nube electrónica a un lado y al otro del plano en el que está situado el sistema alternante de enlaces. Podrían ser semiconductores, pero, sin embargo, esa disponibilidad electrónica no es suficiente para que la macromolécula adquiriera la propiedad de conductora eléctrica. Para ello, hay que dopar al polímero, lo que significa modificarlo quitándole electrones (oxidación) o insertándole

electrones (reducción). Se puede entender mejor acudiendo al símil del juego de las sillas, con un cierto número de sillas que es inferior en una unidad al número de jugadores, lo que hace que, en cada momento, uno de éstos, diferente en el transcurso del juego, no ocupe silla sino que queda libre. Los jugadores serían los electrones, su movimiento la corriente eléctrica y las sillas los átomos constituyentes de la molécula del polímero. En un plástico, con sistemas de dobles enlaces conjugados, adecuadamente dopado, al aplicar un campo eléctrico los electrones de los enlaces π se pueden mover a lo largo de su cadena polimérica y como el material plástico está formado por muchas moléculas poliméricas, si las cadenas poliméricas están adecuadamente ordenadas, también los electrones pueden saltar desde una molécula polimérica a otra. Pero, ¿cómo se descubrió la posibilidad de dopar los plásticos y las consecuencias que se derivaban de ello?.

2.1.2 Dopaje

Allí comenzaron a modificar (dopar) el polímero de poliacetileno mediante oxidación con vapores de yodo. Y cuando uno de los estudiantes del Dr. Heeger midió la conductividad de la lámina resultante comprobó que era ¡diez millones de veces superior a la de la lámina sin dopaje!. Se había descubierto el primer plástico con conductividad eléctrica y el artículo correspondiente, publicado en el verano de 1977, en *The Journal of Chemical Society* [2], fue considerado como un gran hito científico.

En fin el dopaje consiste en contaminación atómica con átomos diferentes de los de la estructura original alterando así el perfil energético de las bandas captando (conductividad tipo p) o cediendo e^- (conductividad tipo n). Una vez dopado el polímero y convertido en polímero conductor se produce un cambio en las posiciones de los átomos debido a la introducción de carga.

Este cambio favorece la formación de islas de carga (tanto positiva como negativa) llamadas solitones (ondas aisladas que se propagan sin disipar energía sobre

regiones cada vez más grandes del espacio; exhiben propiedades de partícula porque en cada instante su energía se encuentra confinada en una región del espacio limitada y finita), polarones (objetos que resultan cuando un e- de la banda de conducción deforma la red cristalina de un aislante o un semiconductor, es el mismo efecto que produciría un hueco en la banda de valencia) y bipolarones. Estas islas crean nuevas bandas de energía entre la banda de conducción y la banda de valencia, que son en último término los responsables de la conducción en los polímeros. Las moléculas contaminantes no reemplazan átomos del polímero, sino que actúan como meros dadores/aceptores de carga, esta carga se reparte por el resto de la cadena carbonada.

Las bandas de energía singulares que existen en los polímeros conductores no existen en los semiconductores clásicos. Estas bandas desempeñan cierto papel en el mecanismo de conducción de los modernos semiconductores a altas temperaturas.

En realidad este tipo de polímeros no necesita agentes dopantes, ya que son capaces de transmitir la carga por sí solos de un extremo a otro de la cadena carbonada. Pero esta cadena no es infinita, un polímero no tiene la estructura tan ordenada como un cristal, con lo que necesita de estos agentes para poder transmitir los e- de cadena en cadena.

Aunque el proceso por el que se transmite la carga todavía no está demasiado bien demostrado sí se han obtenido algunas pistas sobre cómo lo hace el poli acetileno dopado a niveles medios. Esto es, la carga se transmite a lo largo de la cadena carbonada hasta que se encuentra con el final de esta, es entonces cuando actúan los solitones “líquidos” que se encargan de empapar los extremos de las cadenas de polímeros.

Los polímeros conductores poseen una amplia gama de conductividades cuya razón no se ha podido demostrar, si bien se conocen bastante bien factores que afectan a la conductividad:

- porcentaje de contaminación,
- concentración de las cadenas de material,
- asimetría del polímero,
- dirección en debe conducirse, etc.

Por ejemplo en el poliacetileno dopado la conductividad aumenta más de mil veces a lo largo de la cadena que en la dirección perpendicular a ellas. El hecho de que las cadenas estén paralelamente alineadas también es un factor que hace que aumente la conductividad. Esta alineación se realiza antes de dopar el polímero estirando las delgadas películas con el fin de estirar las fibras.

La pureza también es otro factor determinante en cuanto a conductividad se refiere, ya que las impurezas (que no dopantes) pueden entorpecer el movimiento de los e- llegando incluso a cortar el paso a través de las cadenas.

A pesar de que el hecho de necesitar doparse se podría pensar que se trata de materiales semiconductores, no es así. En cuanto a conductividad se refiere los polímeros se mueven en un rango similar al de los metales, como se ha citado antes. Respecto a la variación de esta respecto a la temperatura en lo que a semiconductores se refiere la conductividad aumenta con la temperatura (figura 7), mientras que en los polímeros disminuye al aumenta ésta, debido a la descomposición del dopado.

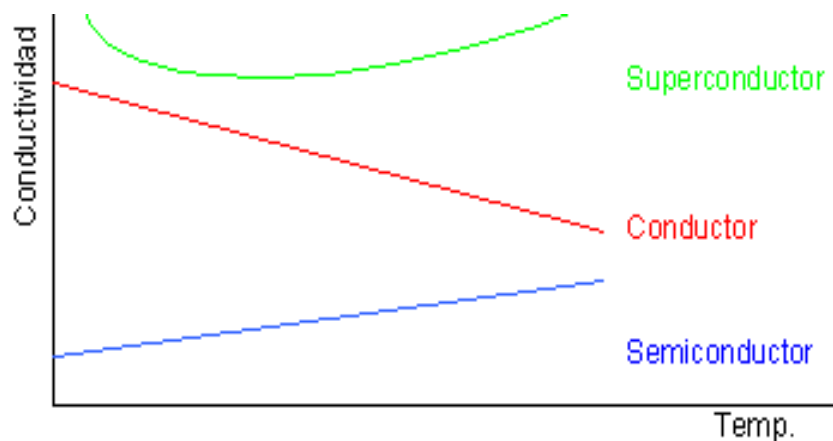


Figura 7 Gráfica Temperatura-Conductividad

2.1.3 Síntesis de polímeros conductores

Hoy en día se sintetizan y dopan tanto por medio químicos como por medios electroquímicos. Siguiendo con el ejemplo del poliacetileno, su síntesis consiste en hacer pasar acetileno ($\text{HC}\equiv\text{CH}$) por un recipiente de vidrio cuyas paredes están recubiertas del catalizador, en cinco minutos se forma una película del grosor de una hoja de papel que se despega de las paredes del recipiente y se lava con agua. Si la película se hace pasar a través de una disolución de iodo quedará dopado de forma *p*, pero si se hace pasar por sodio metálico en mercurio se tendrá contaminación tipo *n*.

Empleando técnicas electroquímicas la síntesis y el dopado se producen simultáneamente. Se introducen dos electrodos metálicos en una disolución que contenga el dopante y el monómero que más tarde constituirá el polímero. Para el dopado *p* se extraen electrones de los monómeros adyacentes al electrodo positivo, así la polimerización se produce sobre el electrodo. Al ser deficiente de e^- el polímero atraerá hacia sí los iones negativos. En el caso de la conductividad tipo *n* el proceso es el contrario.

Pero también se puede dopar un polímero después de haberlo sintetizado por medios electroquímicos. Se hace uniendo unas cintas de polímero a un electrodo sumergido en una disolución que contenga el Ion dopante.

Con la mejora de la estructura, los métodos de contaminación y la pureza se ha conseguido superar la conductividad de metales, tanto en relación al volumen, como al peso; como por ejemplo del cobre.

2.1.4 Fotoquímica de polímeros conductores

Al oxidar las cadenas poliméricas y extraer electrones se generan nuevos estados electrónicos: radicales, cationes, o estados polarónicos, y dicaciones, o bipolarones. En estado neutro el polímero sólo absorbe en el ultravioleta. Al crearse y poblarse estados intermedios, el polímero comienza a absorber en el visible y aumenta progresivamente la absorción con la oxidación del material. El

proceso es reversible: se puede modular y regular la absorbancia y la transmitancia de luz en cualquier valor intermedio.

Una película uniforme, en el estado neutro presenta un color tenue: amarillo-claro (polipirrol), verde tenue (polianilinas), naranja (politiofeno), rojo (poli 3-metil tiofeno). Al poblarse las bandas polarónicas y bipolarónicas a lo largo de la oxidación, aparecen nuevas transiciones electrónicas y nuevas absorciones en niveles menos energéticos. El color del polímero se va desplazando hacia el azul hasta llegar al negro. La anchura, o población, de las nuevas bandas depende del grado de oxidación. Mediante una formación de fotodiodos, controlada desde un programa que nos permite registrar un espectro cada 20 ms., se puede seguir la cinética de la población de los niveles conforme se va oxidando el polímero sometido a un salto de potencial.

El resultado para una película de polipirrol de 15 μm de espesor, generada sobre un electrodo de Pt pulido a espejo y después sometida a un salto de potencial entre -200 mV y 750 mV en una disolución de LiClO_4 0.1 M en carbonato de propileno. La banda polarónica comienza a poblarse a $\lambda = 650$ nm mientras que la bipolarónica empieza a poblarse a $\lambda > 800$ nm. A lo largo de la oxidación la máxima absorbancia alcanza 1,6 unidades arbitrarias, mientras que la máxima absorbancia descrita en la literatura no sobrepasa 0,8-0,9.

Ello es debido a la optimización de las condiciones de síntesis del polímero. Otro hecho llama la atención, el fuerte desplazamiento al azul hipsocrómico de las bandas a medida que se van poblando. Se ha comprobado que no corresponde a fenómenos solvatocrómicos, ni a interacciones con contraiones específicos, ni a fenómenos termocrómicos locales, ni a desplazamientos de interferencia debido al correspondiente aumento de espesor durante la oxidación (que provocaría el desplazamiento opuesto). El único fenómeno que nos queda es la variación de la energía conformacional de las moléculas al irse abriendo la estructura.

Al estar el cambio de color ligado a una reacción electroquímica en el sólido, el cambio de color se invierte al reducir el polímero. La posibilidad de manejar películas

delgadas de diferente superficie y la correlación potencial-color, hace que se puedan diseñar lonas, que unidas a una cámara de vídeo y a un programa de mimetización del entorno, sean capaces de comportarse como lo hacen los camaleones o las sepias, confundiéndose con dicho entorno. La misma propiedad electrocrómica sirve para construir pantallas planas, dispositivos de visualización, o ventanas inteligentes, que se discutirán más adelante.

2.2 PRINCIPALES APLICACIONES

a) Baterías. Una de las aplicaciones más conocidas son las baterías recargables, estas son de menor peso que las convencionales que contenían plomo y ácido sulfúrico; entre otras propiedades.

El uso de electrodos de plástico evita el desgaste mecánico asociado a la disolución/deposición del electrodo que ocurre durante el proceso de carga y descarga de las baterías comunes ($\text{Pb (S.)} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} \text{ (aq)}$). Además los polímeros no contienen sustancias tóxicas ni contaminantes.

La oxidación reversible del polipirrol y otros polímeros conductores y la formación de polarones y bipolarones suponen el almacenamiento de cargas positivas a lo largo de la cadena polimérica. Otros polímeros, como el politiofeno, pueden ser reducidos almacenando radical aniones y dianiones. El descubrimiento por Armand de que el polióxido de etileno disolvía, en estado fundido, al LiClO_4 , y de que se podían obtener láminas sólidas y transparentes desde esta disolución, con una elevada conductividad iónica, cierra el círculo para una batería totalmente polimérica y en estado sólido: ánodo, cátodo y electrolito.

Este tipo de baterías triplican la capacidad de las baterías de Li existentes en la actualidad, con un voltaje de dos a tres veces mayor que el de las baterías Ni-Cd y 1,5 mayor que las baterías Pb-ácido que se utilizan en los automóviles. Su mayor problema es que la velocidad de descarga espontánea (que determina la

vida útil de una batería) resulta ser significativamente menor que el de baterías clásicas.

b) Biomédicas. El cuerpo humano es otro “dispositivo” en el que los polímeros conductores podrían desempeñar un papel importante en el futuro debido a su alta estabilidad y a su carácter inerte se especula con la posibilidad de su utilización en prótesis neurológicas y musculares.

c) Músculos artificiales. La oxidación/reducción electroquímica de los polímeros conductores lleva asociado un cambio de volumen del material. El cambio de volumen (propiedad mecánica) está asociado al grado de oxidación y este a la carga consumida en el proceso electroquímico: propiedad electroquímica.

Se inicia con un polímero en estado neutro. Las elevadas interacciones polímero-polímero hacen que la estructura sea muy compacta. Al oxidarse y extraerse electrones de la cadena, las nacientes cargas positivas en cadenas vecinas provocan fuertes las repulsiones electrostáticas. Mediante variaciones conformacionales cadenas se mueven, la estructura se abre y los contraiones de la disolución penetran en el polímero para mantener la electroneutralidad. Con los iones también penetran moléculas del disolvente. El polímero se expande. Como la cantidad de contraiones que penetran es controlado por la carga de oxidación, también lo es la variación del volumen: puede ser detenida en cualquier momento o puede ser invertida desde cualquier momento.

Son de reseñar los siguientes aspectos del proceso: la modificación de las dimensiones, las variaciones conformacionales en las cadenas poliméricas, el intercambio de iones con el medio, el encadenamiento de procesos eléctricos, químicos y mecánicos, el mantenimiento de la temperatura constante y el trabajar con sistemas húmedos en disoluciones electrolíticas. Todos estos aspectos son compartidos por los polímeros conductores con los músculos naturales, en los que:

- Hay una variación de dimensiones durante el trabajo.

- El trabajo mecánico es originado por las variaciones conformacionales en la miosina.
- un flujo de iones Ca^{+2} , liberados por el pulso nervioso en el interior de las células musculares, desencadena el proceso.
- la transformación química de la ATP en ADP genera la energía para las transformaciones conformacionales en las cabezas miosínicas. El ATP se recupera en el ciclo de combustión de la glucosa.
- Todo ello ocurre a temperatura constante y en un medio acuoso.

Para transformar los movimientos conformacionales moleculares electroasistidos, en movimientos macroscópicos, en el laboratorio de Electroquímica de la Facultad de Químicas de San Sebastián, se ideó y patentó un dispositivo de doble capa, similar a los termómetros de bilamina metálica. Al electrodo metálico, recubierto de una película de polipirrol electrogenerada de 15 μm , se le adhirió una película polimérica comercial no conductora, de 30 μm . La bilamina polipirrol- película adherente fue pelada del electrodo y empleada como nuevo electrodo en una disolución acuosa.

Al estar el movimiento basado en una propiedad electroquimiomecánica, estará influenciado por las variables químicas y eléctricas que actúen sobre la cinética electroquímica del proceso: el gradiente de potencial, la corriente que fluye por el sistema, o la concentración del electrolito en el medio.

Al estar las variaciones de volumen relacionadas con el grado de oxidación del polímero, y estar éste controlado por el potencial eléctrico, debe de existir una relación biunívoca entre potenciales y volúmenes y, por lo tanto entre el potencial y la posición del extremo libre de la bicapa. Al dispositivo correspondiente se le denomina electroquimioposicionador.

El estado actual de desarrollo de los músculos artificiales permite estar trabajando en aplicaciones para microrrobótica, en equipos quirúrgicos manejables al final de una sonda, en los catéteres para controlar su flexibilidad y facilitar su

penetración, en equipos ópticos como posicionadores y como sensores-actuadores en sistemas de detección y alarma.

El dispositivo, además de actuador es sensor. Cuando se le hace trabajar a densidad de corriente constante, el potencial de trabajo varía con las condiciones experimentales. Así al modificar la concentración del electrolito, el potencial de trabajo es tanto mayor cuanto menor es la concentración. Cuando se carga un peso en extremo libre del músculo, el potencial de trabajo, a corriente constante, aumenta con el peso arrastrado.

En definitiva, el potencial de respuesta es sensible, y por lo tanto detecta, las modificaciones en las condiciones de trabajo.

El dispositivo es capaz de desarrollar un trabajo mecánico y el dispositivo es capaz de arrastrar un peso varios cientos de veces superior al del polímero conductor adherido al extremo libre del mismo. Para la misma densidad de corriente, la velocidad del movimiento circular, o la energía mecánica desarrollada, dependen de la densidad de corriente por unidad de masa. Al igual que en los músculos naturales existe una relación entre energía mecánica desarrollada y masa muscular.

Al estar el movimiento relacionado con la carga consumida mediante paso de corriente, el movimiento se puede detener, invertir, o acelerar en cualquier momento, sin más que hacer lo propio con la densidad de corriente.

Los músculos artificiales basados en los polímeros conductores electrónicos intrínsecos fueron patentados en 1992 [1],. Constituyen la segunda generación de músculos artificiales.

La primera se inició en 1955 [1], por Katchalski y se basaba en geles poliméricos no conductores electrónicos. Los geles trabajan a muy elevados potenciales (> 20 V), necesitan dos electrodos metálicos auxiliares para crear el campo eléctrico que requieren, trabajan mediante fenómenos electrocinéticos (electroforesis y electro-ósmosis), son dispositivos electrocinetomecánicos y su velocidad de

movimiento es baja. la segunda generación de músculos artificiales basados en polímeros conductores nos ha acercado a los músculos naturales en varios aspectos fundamentales: trabajan a bajo potencial (100 mV- 2 V) - los músculos naturales a 60-150 mV, que es el potencial del pulso nervioso- , el mismo material es conductor electrónico, iónico y es actuador y sensor de las condiciones de trabajo.

d) Nervios artificiales. Las señales del sistema nervioso van codificadas en pulsos iónicos K^+ , Na^+ o Ca^{2+} , o químicos -neurotransmisores- muchos de ellos también iónicos. Para llegar a entender la sutileza de las órdenes enviadas por el cerebro para mover un brazo, y para poder llegar a amplificarlas y emplearlas en mover un brazo artificial o en conseguir que un paciente no pierda masa muscular después de un accidente cerebro-vascular, se necesita un transductor ión-electrón. Los óxidos metálicos son empleados como transductores en redes neuronales, pero no son biocompatibles. Los polímeros conductores son biocompatibles, pero intercambian aniones

El intercambio de aniones se puede transformar en un intercambio de cationes mediante una ingeniería molecular sencilla en la síntesis. Al electro-generar polipirrol en presencia de un polielectrolito, como sulfato de poliestireno, carboximetil celulosa o poliacrilato sódico, se genera un material compuesto polipirrol-polielectrolito, debido a que el polielectrolito va compensando las cargas positivas del polímero durante la generación. Al reducir el polímero los aniones no se van, ya que forman parte de una madeja

polimérica entrelazada. Para mantener el principio de electroneutralidad se obliga a que penetren cationes desde el exterior para asociarse con el polianión. Durante la oxidación se expulsan los cationes.

El polímero conductor se transforma así en un transductor en el que una entrada de electrones en el material va asociada con una entrada de cationes y viceversa. Al ser un gel y comportarse, al mismo tiempo, como una membrana, los cationes presentes en el polímero- y su potencial eléctrico -dependen de la concentración en el medio. Ello quiere decir que el electrodo polimérico responde ante la concentración del medio con un potencial eléctrico, por lo que se dispone de la interfase adecuada, biocompatible y sensible, capaz de recibir señales eléctricas y transformarlas en señales iónicas, por lo tanto entendibles por el sistema nervioso, o de responder ante una variación de la concentración iónica, provocada por un pulso nervioso; transformándola en una señal eléctrica. El trabajo se centra ahora, en distintos laboratorios del mundo, en la selectividad y en la capacidad de los transductores para reconocer, o liberar, los distintos iones o neurotransmisores. Ya se ha recorrido algún camino, si se comparan las respuestas energéticas y cinéticas de los polímeros conductores a distintos aniones, con los de los canales iónicos de las neuronas.

En la actualidad se trabaja en la optimización de las condiciones de electro-generación de compuestos polímero y conductor-poli-electrolito, en las cinéticas de intercambio iónico y en el modelado de las respuestas ión-electrón.

e) Sensores. Los biosensores amperométricos constituyen un amplio campo de trabajo por su interés científico y sus múltiples aplicaciones biomédicas y analíticas. Las posibilidades de inmovilización de los bioreactivos (incluyendo enzimas, células, tejidos y anticuerpos) son muy diversas, lo que hace que existan un gran número de trabajos científicos que se publican en la actualidad sobre el tema.

Dentro de las posibilidades de modificar la superficie de los electrodos empleados en la detección amperométrica, destacan por sus ventajas la generación electroquímica de polímeros y el incipiente desarrollo de sensores basados en la tecnología sol-gel.

La formación de un polímero (conductor y no conductor) sobre un electrodo se realiza fácilmente aplicando un potencial eléctrico adecuado en el electrodo sumergido en una disolución de monómero. La inmovilización del enzima u otro bioreactivo se produce por su entrapamiento dentro de la estructura tridimensional del polímero, que queda restringida exclusivamente a la superficie sólida conductora del sensor. En el trabajo presentado se ha llevado a cabo la inmovilización del enzima glucosa oxidasa sobre el polímero conductor polipirrol, mediante un procedimiento de flujo continuo que reduce el consumo de disoluciones de monómero y enzima comparando con el procedimiento convencional directamente en una disolución, permitiendo además un mejor control de las propiedades del sensor (1,2). Se ha ensayado la determinación directa del peróxido de hidrógeno generado o la posibilidad de co-inmovilización mediante el entrapamiento simultáneo con el enzima de un mediador de transferencia de carga que mejora la selectividad.

Por otro lado, recientemente han aparecido en la bibliografía nuevos sensores amperométricos que aprovechan las ventajas de un gel de alta porosidad formado mediante el procedimiento sol-gel. Siguiendo este procedimiento, con la incorporación de una sal orgánica conductora OCS (tetracianoquinodimetano - tetratiafulvaleno) que actúa simultáneamente como matriz conductora y capacidad de mediación catalítica en la re-oxidación del enzima. Algunos aspectos técnicos como las propiedades físicas del gel (proporción silano/agua, pH y proporción de la sal OCS en el gel), así como su comportamiento analítico, han sido estudiados.

Finalmente se realiza una comparación de las propiedades analíticas de ambos tipos de biosensores, mostrándose los resultados obtenidos en su aplicación en muestras de suero artificial.

• **Biosensor.** El dopado al que se someten los polímeros es bastante sensible al calor, sufriendo así una pérdida de conductividad al calentarse. Conectándolo a una resistencia, estos polímeros permiten controlar la temperatura a la que, por ejemplo, un producto farmacéutico llega a alterarse.

Se podrían usar también como sensores de radiación si se colocan en una atmósfera de gases que los convierte en dopantes activos cuando son expuestos a radiación.

. **Sensor analítico.** Como otra aplicación debida al poder de cambiadores iónicos de los polímeros conductores se podría hablar de este tipo de sensores, ya que son capaces de detectar y separar iones como Hg^{2+} e incluso Au^0 de una gran variedad de disoluciones tanto acuosas como con disolventes orgánicos.

. **Ventanas inteligentes.** Permiten el control de la intensidad de la luz capaz de penetrar en un espacio cerrado: edificios, coches, aviones, etc. La más utilizada es una estructura de tres capas. La oxidación del polímero provoca un cambio del color (de amarillo claro a azul en polipirrol) e incrementa su reflectividad. La simultánea reducción del óxido provoca un cambio similar de incoloro a azul (óxido de wolframio). La capa intermedia actúa como un electrolito sólido transparente. Por lo tanto durante la oxidación del polímero la intensidad de luz que atraviesa la ventana desciende y la reflectividad aumenta. Durante la reducción polimérica ocurre el proceso inverso.

La intensidad puede ser controlada manualmente o automáticamente mediante la conexión de un suministrador de potencial con un fotomultiplicador a través de un microprocesador y un programa que defina el nivel de intensidad requerido. Cuando anochece la luz no es suficiente para mantener la iluminación adecuada (estando el polímero en estado reducido) se conecta automáticamente la luz eléctrica y se controla la intensidad hasta alcanzarse el nivel adecuado de intensidad.

Los parámetros técnicos más importantes son: el porcentaje de variación de la absorción entre los estados oxidado y reducido, y el tiempo de respuesta. El primer parámetro está relacionado con la capacidad de almacenamiento de carga en la película. El tiempo de transición está relacionado con las velocidades de oxidación/reducción, controladas por procesos de relajación.

f) Pantallas planas y dispositivos de visualización. Ambos dispositivos están basados en propiedades electrocrómicas. Se pueden construir sobre sistemas

transparentes o sobre superficies metálicas pulidas (espejos). Las propiedades más importantes son la variación de la definición del color en pequeñas superficies y los tiempos de transición, menores de 0.1 s para pantallas planas.

g) Espejos inteligentes. Este dispositivo está basado también en dispositivos electrocrómicos. Trabaja con grandes reflectancias y bajas absorciones. La reducción parcial provoca un incremento en la absorción evitando altas intensidades de reflexión en los espejos retrovisores de los coches.

h) Filtros ópticos. Un cambio en el estado de oxidación incluye un filtro para un nuevo color. Son necesarios polímeros que pasen a través de diferentes colores bien definidos (anilinas, tiofenos, etc.) o capaces de grandes variaciones de absorción en diferentes zonas del IR.

i) Escudos electromagnéticos. Los polímeros conductores absorben también energía electromagnética de bajas frecuencias se pueden utilizar, y de hecho se hace, como escudos electromagnéticos para detener las pérdidas de radiación en los terminales de ordenador.

Con este fin se utilizan normalmente plásticos rellenos de carbono o metales, pero debido a la facilidad de manipulación y a la mayor conductividad de los polímeros dopados homogéneamente les proporcionan ventajas. Las elevadas pérdidas de microondas de la polianilina hacen que sea especialmente valiosa para este fin.

i) Recubrimientos anticorrosión. Gracias a que durante el dopaje se puede decidir si una parte del polímero debe ser inerte electro-activamente se ha diseñado recubrimientos para evitar la corrosión en aceros.

Aunque todavía no han sido desarrollados a la perfección son capaces de proteger al sustrato tanto en aire, como en disoluciones de H₂SO₄ de concentración hasta 4 N. Los polímeros elegidos en esta ocasión en todos los estudios consultados en el polipirrol y el poli-3-metiltiofeno.

j) Membranas para depuración de aguas. Se han desarrollado muchos esfuerzos en hacer membranas de recubrimiento de electrodo para poder descontaminar aguas, las membranas convencionales no son demasiado inertes, su vida es “bastante corta” y no son tan fácilmente manipulables como las membranas de plástico conductor.

Se emplean membranas de polipirrol y polianilina como electrodos en cubas electrolíticas de transporte gracias a que la polaridad del polímero puede ser cambiada fácilmente con un pequeño ajuste en el potencial del sistema. Su uso más frecuente es la electrodiálisis en depuradoras de agua.

El principal objetivo de los estudios llevados a cabo se basa en tres aspectos fundamentales:

- . El transporte de materia tanto orgánica como inorgánica con éste tipo de electrodos.
- . Conseguir membranas robustas y que permitan un trabajo y limpieza fácil.
- . Tener un control en el flujo y la selectividad del transporte. Que se consigue con la disolución de sales inorgánicas.

Por lo tanto esta es una aplicación de los polímeros conductores como meras resinas de intercambio iónico.

2.3 POLÍMEROS ORGÁNICOS CONDUCTORES

El último medio siglo se ha definido como la época de los plásticos (polímeros), pero también como la de los semiconductores y la microelectrónica. Pues bien, la superposición de ambas áreas será, con toda probabilidad, uno de los soportes básicos sobre los que se asiente la tecnología más avanzada del siglo XXI.

El premio Nóbel de Química de 2000 ha sido concedido a los estadounidenses Alan J. Heeger y Alan G. MacDiarmid y al japonés Hideki Shirakawa por el descubrimiento y desarrollo de los polímeros conductores. Las espectaculares propiedades eléctricas y ópticas de estos polímeros, de origen orgánico, han

generado una dedicación intensa de químicos, físicos y tecnólogos en los últimos años con el fin de sintetizar este tipo de materiales, estudiar sus propiedades y aplicarlos industrialmente. Son muchas las aplicaciones: células solares, transistores orgánicos, fotodiodos, pantallas de teléfonos móviles y televisores de pequeño formato y blindajes electromagnéticos, por citar sólo algunas.

La electrónica molecular esta en la base de todas ellas. La posibilidad de producir componentes electrónicos formados por moléculas orgánicas individuales permitirá no sólo la reducción del tamaño de los ordenadores y otros sistemas electrónicos sino también aumentar la velocidad de transmisión de la información. Muchos de estos materiales moleculares orgánicos y poliméricos son de fácil acceso por síntesis orgánica convencional.

Como muestra de la viabilidad industrial de sus investigaciones, Alan J. Heeger ha fundado una empresa, Uniax Corporation, que produce este tipo de polímeros y desarrolla sus aplicaciones. Este modelo de investigador, muy extendido ya en Estados Unidos, se impondrá pronto en Europa. Además de los tres laureados, otros científicos han contribuido a este desarrollo, como Fred Wudl, ahora en la Universidad de California en Los Ángeles, quien participó de manera destacada en la preparación de estos plásticos conductores.

2.3.1 Algunos de los polímeros conductores

Uno de los polímeros conductores orgánicos usados actualmente es
El poliacetileno dopado con yodo.

Algunas otras clases comunes de polímeros conductores orgánicos Son:

1. Poliacetilenos
2. Polipirroles,

3. Politiofenos,
4. Polianíllenos,
5. Polifluorenos,
6. Poli(3-hexiltiofeno),
7. Polinaftalenos
8. Poly(p-fenileno sulfato),
9. Poli(para-fenileno vinileno)

Estos polímeros orgánicos, son llamados también melaninas .

El pigmento de melanina, en los animales es generalmente una mezcla de copolímero de poliacetileno, polipirrol, y polianinila. Algunas melaninas de hongos, son poliacetileno puro.

2.4 LA CELULOSA

La **celulosa** es un homopolisacárido (es decir, compuesto de un único tipo de monómero) rígido, insoluble, que contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de glucosa. La celulosa corresponde a la biomolécula más abundante de la biomasa terrestres (figura 8).

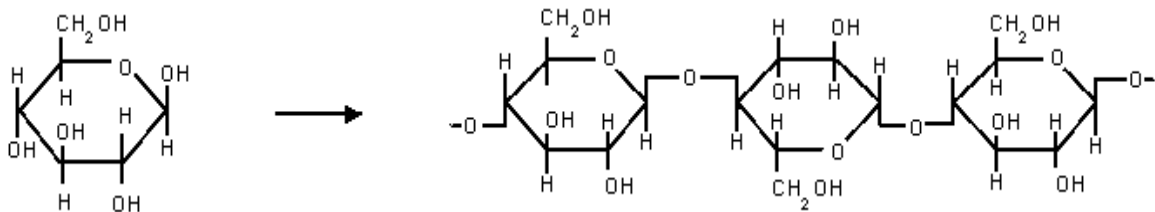


Figura 8 Estructura de la Celulosa

La celulosa se forma por la unión de moléculas de β -glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídico. Es una hexosana que por hidrólisis da glucosa. La celulosa es una larga cadena polimérica de peso molecular variable, con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n= 200$.

La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, lo que hace que sea insoluble en agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales.

2.4.1 Función de la celulosa

La celulosa es un polisacárido estructural en las plantas ya que forma parte de los tejidos de sostén. La chapa de una célula vegetal joven contiene aproximadamente un 40% de celulosa; la madera un 50 %, mientras que el ejemplo más puro de celulosa es el algodón con un porcentaje mayor al 90%. A pesar de que está formada por glucosas, los animales no pueden utilizar a la celulosa como fuente de energía, ya que no cuentan con la enzima necesaria para romper los enlaces β -1,4-glucosídicos,

Hay microorganismos (bacterias y hongos) que viven libres y también son capaces de hidrolizar la celulosa. Tienen una gran importancia ecológica, pues reciclan materiales celulósicos como papel, cartón y madera. De entre ellos, es de destacar el hongo *Trichoderma reesei*, capaz de producir cuatro tipos de celulasas: las 1,4- β -D-glucancelobiohirolasas CBH I y CBH II y las endo-1,4- β -D-glucanasa EG I y EG II. Mediante técnicas biotecnológicas se producen esas enzimas que pueden usarse en el reciclado de papel, disminuyendo el coste económico y la contaminación.

2.4.2 Historia y aplicaciones

La celulosa es la sustancia más frecuente en la pared de las células vegetales, ya descubierta en 1838. La celulosa es la biomolécula más abundante de los seres vivos.

La celulosa constituye la materia prima del papel y de los tejidos de fibras naturales.

También se utiliza en la fabricación de explosivos, celuloide, seda artificial, barnices.

En 1870 [3], cuatro años antes del descubrimiento de la estructura del átomo de carbono, el inventor americano John Wesley Hyatt ganó un concurso para encontrar un material que sustituyera al marfil para la fabricación de bolas de billar, ya que, como en la actualidad, escaseaba. La galardonada contribución de Hyatt fue el celuloide, un polímero basado en la celulosa que constituye el material estructural básico de las paredes celulares de las plantas. Este hecho marcó el inicio de la industria de polímeros. Hyatt trató el nitrato de celulosa, o algodón pólvora (un material explosivo que se consigue al exponer los tejidos de la planta del algodón a los efectos del ácido nítrico y ácidos sulfúricos), con alcohol y alcanfor. Obtuvo un material duro y brillante que podía moldearse al calentarlo. Este nuevo material, barato y consistente, sustituyó al marfil en la fabricación de bolas de billar. Aunque, en determinadas ocasiones, cuando las bolas de billar hechas de celuloide colisionaban, se producía una pequeña explosión similar a la de un petardo, debido a la naturaleza explosiva del nitrato de celulosa, que presenta una composición similar a la del trinitrotolueno (TNT). El celuloide también se empleó para fabricar peines y una gran variedad de utensilios de cocina y se convirtió en la primera película fotográfica flexible. En 1887, el conde Hilaire de Chardonnet creó un producto similar al hilar nitrato de celulosa en seda de Chardonnet, la primera fibra sintética que se fabricó y un predecesor del rayón, el nailon y el Dacron.

Tanto el celuloide como la seda Chardonnet eran polímeros creados mediante la alteración de polímeros naturales. El primer polímero verdaderamente sintético no llegó hasta 1909 [3], año en el que el inventor americano Leo Baekeland trató el fenol o ácido fénico, otro derivado del alquitrán, con el conservante formaldehído sometido a calor y presión. El producto obtenido, la baquelita, era duro, inmune a las sustancias químicas fuertes, aislante eléctrico y resistente al calor, características de gran utilidad en la fabricación de innumerables

productos para el hogar y piezas eléctricas. En poco tiempo, la baquelita se utilizaba en la fabricación de utensilios de cocina, máquinas y herramientas.

2.4.3 Algunos de los polímeros celulósicos

-Ésteres de celulosa
-Nitrocelulosa (celuloide)
-Éteres de celulosa
-Celulosa
-Metil-celulosa, carboxi-metil-celulosa
-Nitrocelulosa

Estos son algunos de los principales polímeros celulósicos, los cuales se pueden mezclar con otras sustancias para aumentar su conductividad eléctrica y flexibilidad.

2.4.4 Composición química de la madera

Si bien, en teoría, un químico puede transformar los componentes de la madera en cualquier producto químico deseado, los productos que pueden derivarse prácticamente de la madera dependen en realidad mucho de su composición química inherente. La madera es una mezcla de tres polímeros naturales: celulosa, lignina y hemicelulosas, que guardan una relación aproximada de 50:25:25, según la especie, las variaciones biológicas, tales como las diferencias genéticas que pueda haber dentro de una especie, y las condiciones de crecimiento. La celulosa y las hemicelulosas son polímeros de hidratos de carbono formados a partir de moléculas de monosacáridos, y la lignina es un polímero de unidades fenilpropánicas (Browning, 1963) [3]. La celulosa es un polímero de la glucosa de cadena larga que únicamente se diferencia del almidón, que es también un polímero glucósico, por la configuración de las moléculas glucósicas. El carácter fibroso de las células leñosas es el resultado de la disposición lineal, orientada y cristalina de su elemento más abundante, la celulosa. Las hemicelulosas son polímeros de cadena más corta o ramificada de

sacáridos con cinco átomos de carbono (pentosas), tales como la xilosa, o de seis átomos de carbono (hexosas) aparte de la glucosa. Son de naturaleza amorfa y sirven, con la lignina, para formar la matriz en la cual se incrustan las fibrillas de celulosa. Aunque la estructura de la celulosa es la misma en las diferentes especies las hemicelulosas varían considerablemente entre especies, especialmente entre las frondosas y las coníferas. Las hemicelulosas de las frondosas son, en general, más ricas en pentosas mientras que las hemicelulosas de las coníferas suelen contener más hexosas.

La lignina, que es el tercer componente de la membrana celular, es un polímero tridimensional que se forma a partir de las unidades fenilpropánicas que se han desarrollado aleatoriamente formando una molécula grande y compleja con muchas diferentes clases de ligamentos entre los bloques estructurales. La estructura de la lignina también varía según se trate de una especie frondosa o conífera. Los grupos fenílicos de la lignina de frondosas se sustituyen más con grupos metóxilos que los de la lignina de coníferas. Una de las consecuencias de esta diferencia es que las ligninas de frondosas están menos reticuladas y son más fáciles de disolver durante la conversión a pasta. La lignina actúa de cemento entre las fibras leñosas y como agente endurecedor entre las fibras en la producción de pasta de madera química. Se disuelve por varios tratamientos químicos, quedando la celulosa y las hemicelulosas en forma fibrosa. Algunas hemicelulosas se pierden durante este proceso a causa de su menor peso molecular, mayor solubilidad y más fácil hidrolización. Además de los componentes poliméricos del tabique celular que constituyen la fracción principal de la madera, hay diferentes especies que contienen diversas cantidades y clases de materiales extraños que se llaman, en conjunto, extractivos. En las coníferas, se encuentran con frecuencia cantidades considerables de resinas que consisten tanto en ácidos grasos como en los llamados ácidos resinosos que se derivan de terpenos simples tales como la trementina y el aceite de pino. Los taninos son fenoles polihidroxílicos que se encuentran en el duramen y corteza de muchas especies. El caucho se obtiene de la corteza interior de ciertos árboles, en forma de látex. También pueden

obtenerse de diversas especies aceites aromáticos y azúcares solubles. El aceite de cedro y el azúcar de arce son ejemplos bien conocidos.

2.5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es la capacidad de un medio o espacio físico de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de él. También es definida como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones pueden pasar por él. Varía con la temperatura. Es una de las características más importantes de No confundir con la conductancia, que es

$$G = \frac{1}{R} \quad (\text{Ecuación. 1})$$

(la inversa de la resistencia). La conductividad es la inversa de la

resistividad, por tanto $\sigma = \frac{1}{\rho}$, y su unidad es el S/m (siemens por metro). (Ecuación. 2)

2.5.1 Modelo matemático

Usualmente la magnitud de la conductividad σ es la proporcionalidad entre el

campo eléctrico \vec{E} y la densidad de corriente de conducción \vec{J} :

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (\text{Ecuación. 3})$$

Puede ser que la conductividad no sea homogénea ni constante en el medio, en tal de la dirección del campo.

2.6 EL CAMPO ELÉCTRICO

El campo eléctrico es una región del espacio que rodea a un espacio cargado y conforma un espacio vectorial de tal manera que todo punto perteneciente a dicha región, se caracteriza por un vector llamado intensidad de campo eléctrico

Si se simboliza la carga con q , y la intensidad del campo eléctrico con E , entonces se cumple que:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad \text{(Ecuación. 4)}$$

Esta definición indica que el campo no es directamente medible, sino a través de medición de la fuerza actuante sobre alguna carga. La idea de campo eléctrico fue propuesta por Michael Faraday al demostrar el principio de inducción electromagnética en el año 1831.

2.6.1 Fuente de campo

Un campo electromagnético tiene dos componentes. Una de ellas es debida a la existencia de una distribución de cargas, dando lugar a un campo electrostático. La otra es la presencia de un campo magnético variante en el tiempo, que da lugar a un campo eléctrico también variante. El campo eléctrico va a depender de la superficie en cuestión que genera dicho campo y del estado de movimiento del observador respecto a las cargas que generan el campo.

Si \vec{A} es el potencial del campo magnético, y V el potencial del campo eléctrico, entonces la intensidad del campo eléctrico está dada por lo siguiente:

$$\vec{E} = -\text{grad}V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad \text{(Ecuación.5)}$$

Representación geométrica

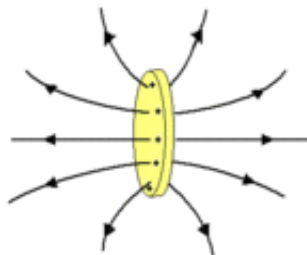


Figura 9 Fuente de campo magnético

En la figura 9, las líneas de campo eléctrico correspondientes a una moneda con carga eléctrica positiva

El campo eléctrico estático se representa como un campo vectorial, o como líneas de campo. Las líneas de campo son ayuda para visualizar el campo y se trazan un un papel en dos dimensiones. Sin embargo suponemos que existen estas líneas en en el espacio tridimensional.

2.6.2 Líneas de campo

- Son tangentes al campo.
- A mayor concentración de líneas, mayor módulo. En el ejemplo de la moneda, el campo es mayor en las cercanías de esta y disminuye a medida que nos alejamos de ella.
- Uniendo los puntos en que el campo eléctrico formamos superficies equipotenciales

2.6.3 Potencial eléctrico

El potencial eléctrico en un punto es el Trabajo requerido para mover una carga unitaria (trabajo por unidad de carga) desde ese punto hasta el infinito, donde el potencial es 0. Matemáticamente se expresa por:

$$V = \frac{W}{q} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

2.6.4 Trabajo eléctrico y energía potencial eléctrica

Considérese una carga puntual q en presencia de un campo eléctrico. La carga experimentará una fuerza eléctrica

$$\vec{F} = -q\vec{E} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Ahora bien, si se pretende mantener la partícula en equilibrio, o desplazarla a velocidad constante, se requiere de una fuerza que contrarreste el efecto de la generada por

el campo eléctrico. Esta fuerza deberá tener la misma magnitud que la primera, pero dirección contraria, es decir (figura 10):

$$\vec{F}_a = q\vec{E} \quad (1)$$

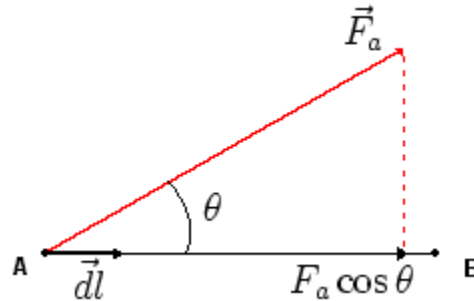


Figura 10 Trabajo eléctrico y energía potencial eléctrica

Partiendo de la definición clásica de trabajo, en este caso se realizará un trabajo para trasladar la carga de un punto a otro. De tal forma que al producirse un pequeño desplazamiento dl se generará un trabajo dW . Es importante resaltar que el trabajo será positivo o negativo dependiendo de cómo se realice el desplazamiento en relación con la fuerza \vec{F}_a . El trabajo queda, entonces, expresado como:

$$dW = \vec{F}_a \vec{dl} = F_a dl \cos \theta \quad (\text{Ecuación 8})$$

Nótese que en el caso de que la fuerza no esté en la dirección del desplazamiento, sólo se debe multiplicar su componente en la dirección del movimiento. Será considerado trabajo positivo el realizado por un agente externo al sistema carga-campo que ocasione un cambio de posición y negativo aquél que realice el campo. Teniendo en cuenta la expresión (1):

$$dW = \vec{F}_a \vec{dl} = q\vec{E}\vec{dl} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Por lo tanto, el trabajo total será:

$$W = \int_A^B q\vec{E}\vec{dl} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Si el trabajo que se realiza en cualquier trayectoria cerrada es igual a cero, entonces se dice que estamos en presencia de un campo eléctrico conservativo. Expresándolo matemáticamente:

$$W = \int_A^A q \vec{E} d\vec{l} = 0 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Ahora bien, sea una carga q que recorre una determinada trayectoria en las inmediaciones de una carga Q tal como muestra la figura 11.

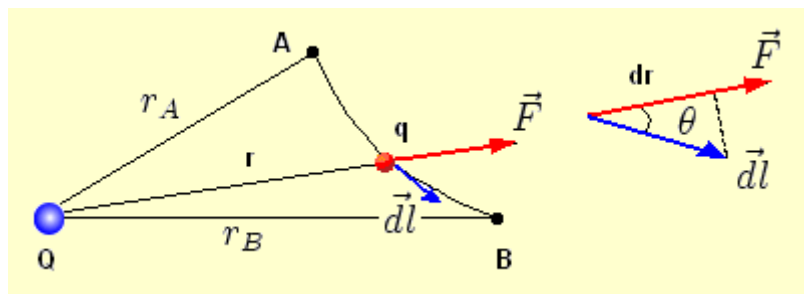


Figura 11 Trayectoria de carga

El trabajo infinitesimal es el producto escalar del vector fuerza F por el vector desplazamiento dl , tangente a la trayectoria, o sea:

$$\vec{F} \cdot d\vec{l} = F dl \cos \theta = F dr \quad (\text{Ecuación 12})$$

donde dr es el desplazamiento infinitesimal de la carga q en la dirección radial. Para calcular el trabajo total, se integra entre la posición inicial A , distante r_A del centro de fuerzas y la posición final B , distante r_B del centro fijo de fuerzas:

$$W = \int_A^B \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r_A} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r_B} \quad (\text{Ecuación 13})$$

De lo anterior se concluye que el trabajo W no depende del camino seguido por la partícula para ir desde la posición A a la posición B . lo cual implica que la

fuerza de atracción F , que ejerce la carga Q sobre la carga q es conservativa. La fórmula de la energía potencial es:

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Por definición, el nivel cero de energía potencial se ha establecido en el infinito, o sea, para $r = \infty$ $E_p = 0$.

Considérese una carga de prueba positiva q_0 en presencia de un campo eléctrico y que se traslada desde el punto **A** al punto **B** conservándose siempre en equilibrio. Si se mide el trabajo que debe hacer el agente que mueve la carga, la *diferencia de potencial eléctrico* se define como:

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \quad (\text{Ecuación 15})$$

El trabajo W_{AB} puede ser positivo, negativo o nulo. En estos casos el potencial eléctrico en B será respectivamente mayor, menor o igual que el campo eléctrico en A. La unidad MKS de la diferencia de potencial que se deduce de la ecuación anterior es Joule/Coulomb y se representa mediante una nueva unidad, el voltio, esto es: 1 voltio = 1 Joule/Coulomb. Aplicando esta definición a la teoría de circuitos y desde un punto de vista más intuitivo, se puede decir que el potencial eléctrico en un punto de un circuito representa la energía que posee cada unidad de carga al paso por dicho punto. Así, si dicha unidad de carga recorre un circuito constituyéndose en corriente eléctrica, ésta irá perdiendo su energía (potencial o voltaje) a medida que atraviesa los diferentes componentes del mismo. Obviamente, la energía perdida por cada unidad de carga se manifestará como trabajo realizado en dicho circuito (calentamiento en una resistencia, luz en una lámpara, movimiento en un motor, etc.). Por el contrario, esta energía perdida se recupera al paso por fuentes generadoras de tensión. Es conveniente distinguir entre potencial eléctrico en un punto (energía por unidad de carga situada en ese punto) y corriente eléctrica (número de cargas que atraviesan dicho punto por

segundo). Usualmente se escoge el punto **A** a una gran distancia (en rigor el infinito) de toda carga y el potencial eléctrico V_A a esta distancia infinita recibe arbitrariamente el valor cero. Esto permite definir *el potencial eléctrico en un punto* poniendo $V_A = 0$ y eliminando los índices:

$$V = \frac{W}{q_0} \quad (\text{Ecuación 16})$$

siendo W el trabajo que debe hacer un agente exterior para mover la carga de prueba q_0 desde el infinito al punto en cuestión. Obsérvese que la igualdad planteada depende de que se da arbitrariamente el valor cero al potencial V_A en la posición de referencia (el infinito) el cual hubiera podido escogerse de cualquier otro valor así como también se hubiera podido seleccionar cualquier otro punto de referencia. También es de hacer notar que según la expresión que define el potencial eléctrico en un punto, el potencial en un punto cercano a una carga positiva aislada es positivo porque debe hacerse trabajo positivo mediante un agente exterior para llevar al punto una carga de prueba (positiva) desde el infinito. Similarmente, el potencial cerca de una carga negativa aislada es negativo porque un agente exterior debe ejercer una fuerza para sostener a la carga de prueba (positiva) cuando la carga positiva viene desde el infinito. Por último, el potencial eléctrico queda definido como un escalar porque W y q_0 son escalares. Tanto W_{AB} como $V_B - V_A$ son independientes de la trayectoria que se siga al mover la carga de prueba desde el punto **A** hasta el punto **B**. Si no fuera así, el punto **B** no tendría un potencial eléctrico único con respecto al punto **A** y el concepto de potencial sería de utilidad restringida (figura 12).

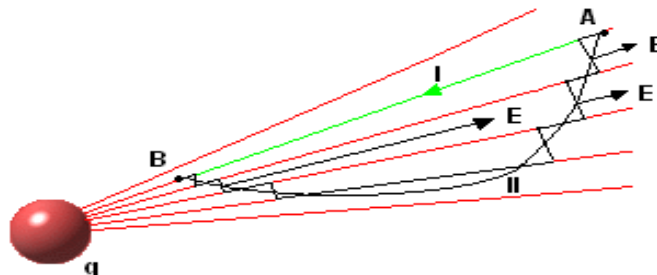


Figura 12 movimiento de carga de prueba

Una carga de prueba se mueve desde A hasta B en el campo de carga q siguiendo una de dos trayectorias. Las flechas muestran a **E** en tres puntos de la trayectoria II

Es posible demostrar que las diferencias de potencial son independientes de la trayectoria para el caso especial representado en la figura. Para mayor simplicidad se han escogido los puntos **A** y **B** en una recta radial.

Una carga de prueba puede trasladarse desde **A** hacia **B** siguiendo la trayectoria I sobre una recta radial o la trayectoria II completamente arbitraria.

La trayectoria II puede considerarse equivalente a una trayectoria quebrada formada por secciones de arco y secciones radiales alternadas. Puesto que estas secciones se pueden hacer tan pequeñas como se desee, la trayectoria quebrada puede aproximarse a la trayectoria II tanto como se quiera. En la trayectoria II el agente externo hace trabajo solamente *a lo largo de las secciones radiales*, porque a lo largo de los arcos, la fuerza \vec{F} y el corrimiento $d\vec{l}$ son perpendiculares y en tales casos $\vec{F}d\vec{l}$ es nulo. La suma del trabajo hecho en los segmentos radiales que constituyen la trayectoria II es el mismo que el trabajo efectuado en la trayectoria I, porque cada trayectoria está compuesta del mismo conjunto de segmentos radiales. Como la trayectoria II es arbitraria, se ha demostrado que el trabajo realizado es el mismo para todas las trayectorias que unen **A** con **B**.

Aún cuando esta prueba sólo es válida para el caso especial ilustrado en la figura, la diferencia de potencial es independiente de la trayectoria para dos puntos cualesquiera en cualquier campo eléctrico. Se desprende de ello el carácter conservativo de la interacción electrostática el cual está asociado a la naturaleza central de las fuerzas electrostáticas.

2.6.5 Superficies equipotenciales

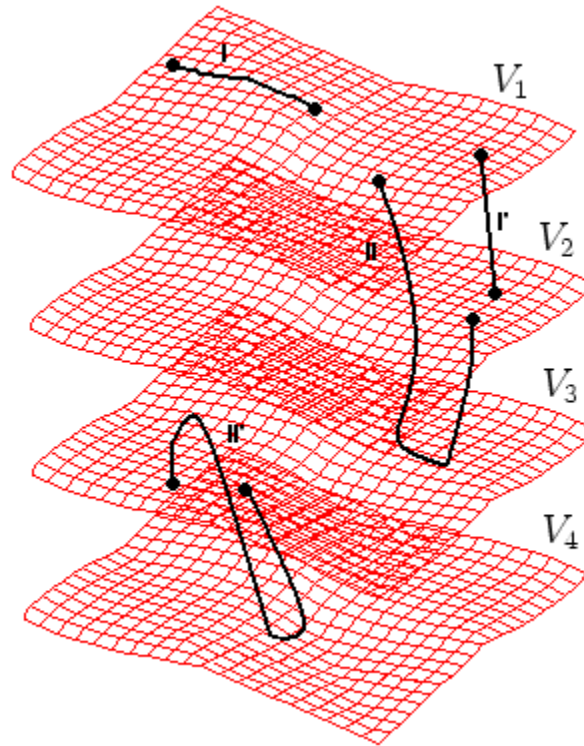


Figura 13 Superficies equipotenciales

En la figura 13 las líneas negras muestran cuatro trayectorias a lo largo de las cuales se desplaza una carga de prueba entre superficies equipotenciales.

El lugar geométrico de los puntos de igual potencial eléctrico se denomina *superficie equipotencial*. Para dar una descripción general del campo eléctrico en una cierta región del espacio, se puede utilizar un conjunto de superficies equipotenciales, correspondiendo cada superficie a un valor diferente de potencial. Otra forma de cumplir tal finalidad es utilizar las líneas de fuerza y tales formas de descripción están íntimamente relacionadas.

No se requiere trabajo para mover una carga de prueba entre dos puntos de una misma superficie equipotencial, lo cual queda manifestado por la expresión:

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \quad (\text{Ecuación 17})$$

puesto que W_{AB} debe ser nulo si $V_A - V_B = 0$. Esto es válido porque la diferencia de potencial es independiente de la trayectoria de unión entre los dos puntos aún cuando la misma no se encuentre totalmente en la superficie considerada. La figura muestra un conjunto arbitrario de superficies equipotenciales. El trabajo necesario para mover una carga siguiendo las trayectorias I y II' es cero porque comienzan y terminan en la misma superficie equipotencial. El trabajo que se necesita para mover una carga según las trayectorias I' y II no es cero, pero tiene el mismo valor porque las trayectorias unen el mismo par de superficies equipotenciales. Las superficies equipotenciales son siempre perpendiculares a las líneas de fuerza y, por consiguiente, a \vec{E} . Si no fuera así, el campo tendría una componente en ella y, por consiguiente, debería hacerse trabajo para mover la carga en la superficie. Ahora bien, si la misma es equipotencial, no se hace trabajo en ella, por lo tanto el campo debe ser perpendicular a la superficie.

2.6.6 Campo eléctrico uniforme

Sean **A** y **B** dos puntos situados en un campo eléctrico uniforme, estando **A** a una distancia **d** de **B** en la dirección del campo, tal como muestra la figura 14.

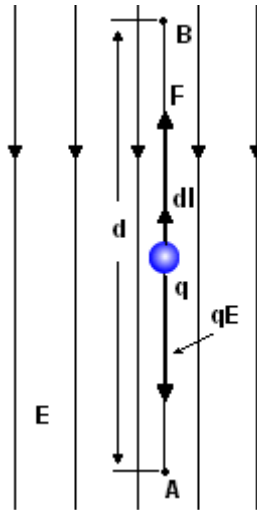


Figura 14 Campo eléctrico uniforme

Una carga de prueba q se mueve de **A** hacia **B** en un campo eléctrico uniforme \mathbf{E} mediante un agente exterior que ejerce sobre ella una fuerza \mathbf{F} .

Considérese una carga de prueba positiva q moviéndose sin aceleración, por efecto de algún agente externo, siguiendo la recta que une **A** con **B**.

La fuerza eléctrica sobre la carga será $q\mathbf{E}$ y apunta hacia abajo. Para mover la carga en la forma descrita arriba, se debe contrarrestar esa fuerza aplicando una fuerza externa \mathbf{F} de la misma magnitud pero dirigida hacia arriba. El trabajo W realizado por el agente que proporciona esta fuerza es:

$$W_{AB} = Fd = qEd \quad \text{(Ecuación 18)}$$

Teniendo en cuenta que:

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q} \quad \text{(Ecuación 19)}$$

Sustituyendo se obtiene:

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q} = Ed \quad (\text{Ecuación 20})$$

Esta ecuación muestra la relación entre la diferencia de potencial y la intensidad de campo en un caso sencillo especial. El punto **B** tiene un potencial más elevado que el **A**. Esto es razonable porque un agente exterior tendría que hacer trabajo positivo para mover la carga de prueba de **A** hacia **B**.

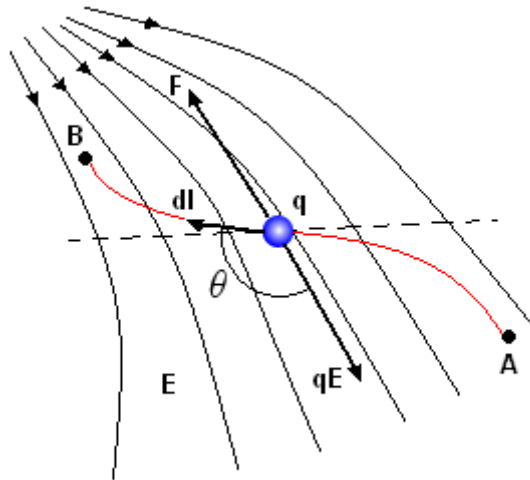


Figura 15 Diferencia de potencial e intensidad de campo

En la figura 15 una carga de prueba **q** se mueve de **A** hacia **B** en un campo eléctrico no uniforme **E** mediante un agente exterior que ejerce sobre ella una fuerza **F**.

2.6.7 Campo eléctrico no uniforme

En el caso más general de un campo eléctrico no uniforme, este ejerce una fuerza $q\vec{E}$ sobre la carga de prueba, tal como se ve en la figura. Para evitar que la carga acelere, debe aplicarse una fuerza \vec{F} que sea exactamente igual a $-q\vec{E}$ para todas las posiciones del cuerpo de prueba.

Si el agente externo hace que el cuerpo de prueba se mueva siguiendo un corrimiento $d\vec{l}$ a lo largo de la trayectoria de A a B, el elemento de trabajo

desarrollado por el agente externo es $\vec{F} \cdot d\vec{l}$. Para obtener el trabajo total W_{AB} hecho por el agente

externo al mover la carga de A a B, se suman las contribuciones al trabajo de todos los segmentos infinitesimales en que se ha dividido la trayectoria. Así se obtiene:

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l} = -q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Como $V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q}$, al sustituir en esta expresión, se obtiene que

$$V_B - V_A = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Si se toma el punto A infinitamente alejado, y si el potencial V_A al infinito toma el valor de cero, esta ecuación da el potencial en el punto B, o bien, eliminando el subíndice B,

$$V = - \int_{\infty}^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Estas dos ecuaciones permiten calcular la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera si se conoce \vec{E} .

2.6.8 Definición matemática

El potencial eléctrico suele definirse a través del campo eléctrico a partir del teorema del trabajo de la física.

$$\Delta V = - \int_{\vec{r}_i}^{\vec{r}_f} \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}. \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde \mathbf{E} es el campo eléctrico vectorial generado por una distribución de carga eléctrica. Esta definición muestra que estrictamente el potencial eléctrico no está

Definido sino tan sólo sus variaciones entre puntos del espacio. Por lo tanto, en condiciones de campo eléctrico nulo el potencial asociado es constante. Suele considerarse sin embargo que el potencial eléctrico en un punto infinitamente alejado de las cargas eléctricas es cero por lo que la ecuación anterior puede escribirse:

$$V(\vec{r}) = - \int_{\infty}^{\vec{r}} \vec{E}(\vec{r}') \cdot d\vec{r}'. \quad (\text{Ecuación 26})$$

En términos de energía potencial el potencial en un punto r es igual a la energía potencial entre la carga Q :

$$V(r) = \frac{U(r)}{Q}. \quad (\text{Ecuación 27})$$

El potencial eléctrico también puede calcularse a partir de la definición de energía potencial de una distribución de cargas:

$$V(r) = \int_Q \frac{q}{r}. \quad (\text{Ecuación 28})$$

2.6.9 Ejemplos de potencial eléctrico asociados a diferentes distribuciones de carga

En la figura 16, se muestra detalladamente, un esquema del potencial debido a una carga puntual, en donde se aprecia con claridad, la distribución de fuerzas.

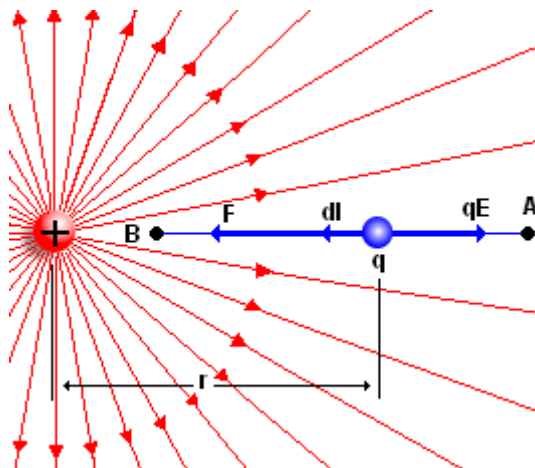


Figura 16 Potencial debido a una carga puntual

Una carga de prueba q , se mueve, mediante un agente exterior de A hasta B en el campo producido por una carga q_0

Considérense los puntos A y B y una carga puntual q tal como muestra la figura. Según se muestra, \vec{E} apunta a la derecha y \vec{dl} , que siempre está en la dirección del movimiento, apunta a la izquierda. Por consiguiente:

$$\vec{E} \cdot \vec{dl} = E \cos 180^\circ dl = -E dl \quad (\text{Ecuación 29})$$

Ahora bien, al moverse la carga una trayectoria dl hacia la izquierda, lo hace en la dirección de la r decreciente porque r se mide a partir de q como origen. Así pues:

$$\vec{E} \cdot \vec{dl} = E dr \quad (\text{Ecuación 30})$$

Por lo cual:

$$V_A - V_B = - \int_A^B \vec{E} \cdot \vec{dl} = - \int_{r_A}^{r_B} E dr \quad (\text{Ecuación 31})$$

Combinando esta expresión con la de E para una carga punto se obtiene:

$$V_A - V_B = - \frac{q}{4\pi\epsilon} \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) \quad (\text{Ecuación 32})$$

Escogiendo el punto de referencia A en el infinito, esto es, haciendo que $r_A \rightarrow \infty$, considerando que $V_A = 0$ en ese sitio y eliminando el subíndice B, se obtiene:

(Ecuación 33)

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{r}$$

Esta ecuación muestra claramente que las superficies equipotenciales para una carga punto aislada son esferas concéntricas en la carga punto (figura 17).

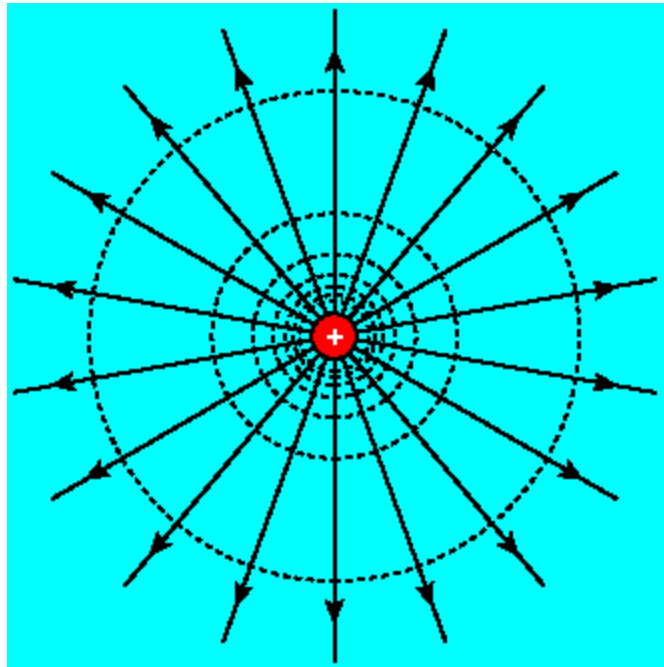


Figura 17 Superficies equipotenciales producidas por una carga puntual

2.7 POTENCIAL DEBIDO A DOS CARGAS PUNTUALES

El potencial en un punto P debido a dos cargas es la suma de los potenciales debido a cada carga individual en dicho punto.

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1}{r_1} + \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_2}{r_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) \quad (\text{Ecuación 34})$$

Siendo r_1 y r_2 las distancias entre las cargas q_1 y q_2 y el punto P respectivamente.

2.7.1 Potencial eléctrico generado por una distribución discreta de cargas

El potencial en un punto cualquier debido a un grupo de cargas punto se obtiene calculando el potencial V_n debido a cada carga, como si las otras cargas no existieran, y sumando las cantidades así obtenidas, o sea:

$$V = \sum_n V_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_n \frac{q_n}{r_n} \quad (\text{Ecuación 35})$$

siendo q_n el valor de la n -ésima carga y r_n la distancia de la misma al punto en cuestión. La suma que se efectúa es una suma algebraica y no una suma vectorial.

En esto estriba la ventaja de cálculo del potencial sobre la de intensidad del campo eléctrico. Las superficies equipotenciales cortan perpendicularmente a las líneas de campo. En el gráfico se representa la intersección de las superficies equipotenciales con el plano XY (figura 18).

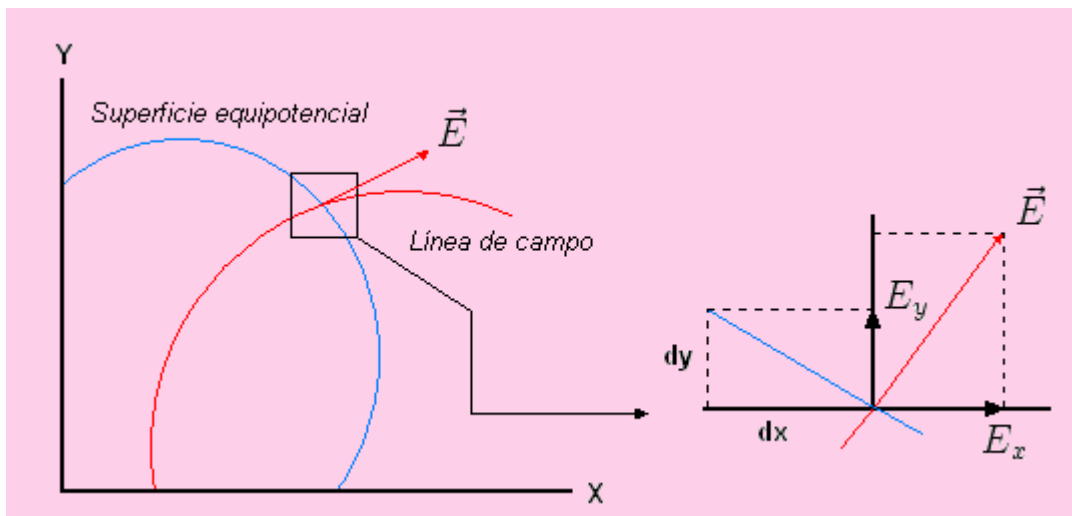


Figura 18 Potencial eléctrico generado por cargas

La ecuación de las líneas equipotenciales es:

$$\frac{dx}{dy} = -\frac{E_y}{E_x} \quad (\text{Ecuación 36})$$

2.7.2 Potencial eléctrico generado por una distribución continua de carga

Si la distribución de carga es continua y no una colección de puntos, la suma debe reemplazarse por una integral:

$$V = \int dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r} \quad (\text{Ecuación 37})$$

siendo dq un elemento diferencial de la distribución de carga, r su distancia al punto en el cual se calcula V y dV el potencial que dq produce en ese punto.

2.7.3 Potencial eléctrico generado por un plano infinito

Un plano infinito con densidad de carga de superficie σ crea un potencial eléctrico saliente en la dirección perpendicular al plano de valor constante

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}. \quad (\text{Ecuación 38})$$

Si x es la dirección perpendicular al plano y éste se encuentra en $x=0$ el potencial eléctrico en todo punto x es igual a:

$$V(x) = -\frac{\sigma x}{2\epsilon_0}. \quad (\text{Ecuación 39})$$

Donde se ha considerado como condición de contorno $V(x)=0$ en $x=0$

2.7.4 Esfera conductora cargada

Sea Q la carga total almacenada en la esfera conductora. Por tratarse de un material conductor las cargas están situadas en la superficie de la esfera siendo neutro su interior.

Potencial en el exterior de la corteza: El potencial en el exterior de la corteza es equivalente al creado por una carga puntual de carga Q en el centro de la esfera

$$V = \frac{KQ}{r}. \quad (\text{Ecuación 40})$$

donde r es la distancia entre el centro de la corteza y el punto en el que medimos el potencial eléctrico.

$$V = \frac{KQ}{R}. \quad (\text{Ecuación 41})$$

Donde R es el radio de la esfera.

2.8 ENERGÍA DEL CAMPO

El campo almacena y mueve energía. La densidad volumétrica de energía de un campo eléctrico está dada por la expresión siguiente

$$\frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} \quad (\text{Ecuación 42})$$

Por lo que la energía total en un volumen está dada por:

$$\frac{1}{2} \int_{vol} \vec{E} \cdot \vec{D} dv \quad (\text{Ecuación 43})$$

CAPÍTULO III: EXPERIMENTACIÓN DE MATERIALES POLÍMERICOS ORGÁNICOS

3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

. Planteamiento del problema

Debido a la reciente prohibición del cadmio por su efecto cancerígeno, ya no es posible utilizarlo en aleación con los cables de cobre, particularmente en nuestra industria electrónica, lo que hace que éstos sean más quebradizos y menos durables, por lo que es necesario buscar otras alternativas.

Dentro de estas alternativas se encuentra el utilizar un polímero altamente conductivo y flexible que permita la transmisión de “mensajes” de voz bajo las mismas condiciones que los cables actualmente utilizados.

. Objetivo

Realizar un diseño experimental utilizando cuatro sustancias que han sido identificadas como potenciales para la creación de un polímero y que su mezcla (cualquier combinación de estas cuatro sustancias) presenten la menor resistencia a la conducción de corriente eléctrica.

. Factores de salida: Resistencia medida en ohms

Factores de entrada (sustancias experimentales)

A continuación, se muestra una tabla con los detalles de los factores de entrada, en esta, se pueden apreciar entre otras cosas el porcentaje y el tipo de la sustancia, empleados para la mejora de su conductividad eléctrica y su flexibilidad.

Factor	Letra	Nivele Bajo	Nivel Alto	Tipo
Polvo	A	0%	15%	Continúa
Sustancia química líquida	B	0%	12%	Continúa
Sustancia líquida	D	0%	0.5%	Continúa
Sustancia líquida	E	70%	100%	Continúa

Tabla 3 Factores

. Medición:

La sustancia fue medida, al colocarse en tubos de plástico transparentes flexibles, de PVC, de 3mm por 40mm.

3.2 SISTEMA DE MEDICIÓN

3.2.1 Proceso de mezcla y equipo de medición eléctrica

La mezcla y experimentación de sustancias se efectuaron en los laboratorios de Bioquímica Del Instituto Tecnológico de Tijuana (figura 19).



Figura 19 Laboratorio de análisis químicos

Se utilizaron como equipo de laboratorio, matraz, vaso de precipitado, tubos de ensayo, mezcladora, matraz Erlen Meyer, colador, osciloscopio.

3.2.2 Equipo de medición e instrumentación

Se utilizó un multímetro calibrado (figura 20) realizar las pruebas de resistencia de la sustancia y una fuente de poder con características: 30 VDC y 0.1 Amperes



Figura 20 Multímetro calibrado

Para poder efectuar las mediciones, de resistencia en la sustancia se colocó en tubos de plástico transparentes flexibles, de PVC, de 3mm por 40mm



Figura 21 Fuente de poder

La fuente de poder (figura 21), utilizada fue de 30 VDC y .1 Amperes, esta fuente se utilizo para generar voltajes de 18 mV a 5V de corriente directa, para verificar la resistencia de la sustancia.

3.3 EXPERIMENTACIÓN

El peso total de la mezcla de cada tratamiento fue de 5 gr. Se pesó en una báscula calibrada, en condiciones de temperatura y presión normales y constantes, esto es 25 grados centígrados y a 1 atmósfera de presión aproximadamente y respetando todas las condiciones de iniciales antes mencionadas dentro del laboratorio (Figura 19)

Diseño seleccionado (generado por minitab):

Matriz Codificada (Pseudocomponentes)					
StdOrder	RunOrder	A	B	D	E
8	1	0.15	0	0.005	0.845
13	2	0.15	0.12	0.0025	0.7275
16	3	0.075	0	0.005	0.92
11	4	0.15	0.12	0	0.73
12	5	0.15	0.12	0.005	0.725
14	6	0.15	0	0.0025	0.8475
5	7	0	0.06	0	0.94
10	8	0	0	0	1
21	9	0.15	0	0	0.85
7	10	0	0.12	0.005	0.875
9	11	0.075	0.12	0.005	0.8
4	12	0	0	0.005	0.995
1	13	0	0.12	0	0.88
17	14	0	0	0.0025	0.9975
18	15	0.075	0	0	0.925
2	16	0	0.06	0.005	0.935
20	17	0	0.12	0.0025	0.8775
19	18	0.15	0.06	0	0.79
3	19	0.075	0.06	0.0025	0.8625
6	20	0.15	0.06	0.005	0.785
15	21	0.075	0.12	0	0.805

Tabla 4 Matriz codificada (porcentajes)

La matriz de diseño (tablas 4 y 5), esta compuesta por porcentajes de las cantidades de los factores de entrada del experimento, por lo que es necesario convertir estos porcentajes en gramos, para poder llevar al cabo el experimento.

MATRIZ VALORES REALES						
StdOrder	RunOrder	A	B	D	E	Ohms(Ω)
8	1	0.75	0	0.025	4.225	1,500
13	2	0.75	0.6	0.013	3.638	700
16	3	0.375	0	0.025	4.600	2,000
11	4	0.75	0.6	0	3.650	800
12	5	0.75	0.6	0.025	3.625	500
14	6	0.75	0	0.013	4.238	2,000
5	7	0	0.3	0	4.700	200,000,000
10	8	0	0	0	5.000	410,000,000
21	9	0.75	0	0	4.250	1,000
7	10	0	0.6	0.025	4.375	110,000,000
9	11	0.375	0.6	0.025	4.000	1,200
4	12	0	0	0.025	4.975	400,000,000
1	13	0	0.6	0	4.400	100,000,000
17	14	0	0	0.013	4.988	300,000,000
18	15	0.375	0	0	4.625	2,500
2	16	0	0.3	0.025	4.675	150,000,000
20	17	0	0.6	0.013	4.388	50,000,000
19	18	0.75	0.3	0	3.950	1,000
3	19	0.375	0.3	0.013	4.313	2,000
6	20	0.75	0.3	0.025	3.925	750,000
15	21	0.375	0.6	0	4.025	3,000

Tabla 5 Matriz valores reales (gr.)

3.4 ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El método que se utilizó para en análisis de los resultados fue el ANOVA y el programa de computadora, utilizado fue MINITAB versión 14.0

3.4.1 Análisis Visual

Estos fueron los resultados de las experimentaciones (tablas 6 y 7), se puede observar que la mezcla con la menor resistencia fue la número 12, cuya combinación se presenta a continuación:

Run Order	A	B	D	E	Total gramos	Ohms(Ω)
12	0.75	0.6	0.025	3.625	5	500 Ω

Tabla 6 Resultado optimo (datos reales)

Run Order	A	B	D	E	Total porcentaje	Ohms(Ω)
12	.15	.12	.005	.725	1.0	500 Ω

Tabla 7 Resultado optimo (datos codificados)

Debida a la naturaleza de los valores de respuesta para cada una de las combinaciones, y para llevar a cabo el análisis estadístico de los resultados es necesario transformar los resultados utilizando la función *Box-Cox transformation* en Minitab lo cual nos arroja lo siguiente (tabla 8):

MATRIZ VALORES REALES						
StdOrder	RunOrder	A	B	D	E	Ohms(Ω)
8	1	0.75	0	0.025	4.225	7.31
13	2	0.75	0.6	0.013	3.638	6.55
16	3	0.375	0	0.025	4.6	7.60
11	4	0.75	0.6	0	3.65	6.68
12	5	0.75	0.6	0.025	3.625	6.21
14	6	0.75	0	0.013	4.238	7.60
5	7	0	0.3	0	4.7	19.11
10	8	0	0	0	5	19.83
21	9	0.75	0	0	4.25	6.91
7	10	0	0.6	0.025	4.375	18.52
9	11	0.375	0.6	0.025	4	7.09
4	12	0	0	0.025	4.975	19.81
1	13	0	0.6	0	4.4	18.42
17	14	0	0	0.013	4.988	19.52
18	15	0.375	0	0	4.625	7.82
2	16	0	0.3	0.025	4.675	18.83
20	17	0	0.6	0.013	4.388	17.73
19	18	0.75	0.3	0	3.95	6.91
3	19	0.375	0.3	0.013	4.313	7.60
6	20	0.75	0.3	0.025	3.925	13.53
15	21	0.375	0.6	0	4.025	8.01

Tabla 8 Matriz de resultados transformados

3.4.2 Análisis de varianza para Omhs Transf (pseudocomponentes)

S = 1.58459 PRESS = 95.9169
R-Sq = 95.91% R-Sq(pred) = 85.80% R-Sq(adj) = 92.57%

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regresión	9	648.015	648.015	72.0016	28.68	0.000
Lineal	3	511.785	20.053	6.6843	2.66	0.100
Cuadrática	6	136.229	136.229	22.7048	9.04	0.001
Error Residual	11	27.620	27.620	2.5109		
Total	20	675.635				

Observaciones inusuales para Omhs Transf

Obs	StdOrder	Transf	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	20	13.528	9.683	1.040	3.845	3.22R

Podemos observar en los resultados de la tabla ANOVA que los términos cuadráticos del modelo son significativos y que el R-Sq(adj)=92.57% lo que indica que el modelo explica el 92.57% de la variación observada, también podemos observar un residual muy grande ($R > 3$), por lo que es necesario eliminarlo y realizar el análisis de nuevo.

3.4.3 Segundo Análisis

Acciones: Se eliminó la observación 20 y estos son los resultados

S = 0.406931 PRESS = 5.99041
R-Sq = 99.75% R-Sq(pred) = 99.11% R-Sq(adj) = 99.53%

Análisis de varianza para Omhs Transf (pseudocomponents)

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regresión	9	671.465	671.465	74.6072	450.55	0.000
Lineal	3	565.996	7.167	2.3889	14.43	0.001
Cuadrático	6	105.469	105.469	17.5782	106.15	0.000
Error Residual	10	1.656	1.656	0.1656		
Total	19	673.121				

Podemos observar en los resultados de la tabla ANOVA que los términos lineales y cuadráticos del modelo son significativos y que el $R\text{-Sq}(\text{adj})=99.53\%$ lo que indica que el ajuste del modelo mejoró considerablemente.

Se llevo al cabo un tercer análisis con un modelo cúbico, pero no mejoró en relación al segundo análisis, por lo que la toma de decisiones se realizará en base al modelo cuadrático.

3.4.4 Gráficos de Contorno

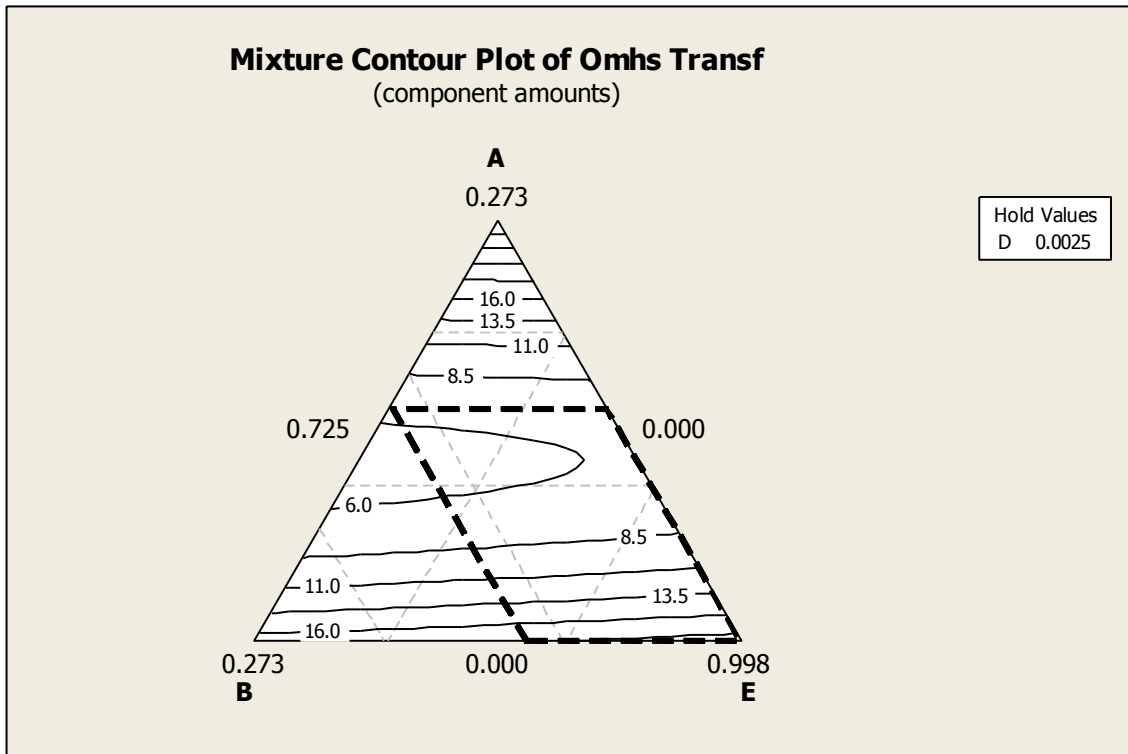


Figura 22 Gráfica de mezcla de contorno

En la figura 22 el área demarcada por líneas intermitentes negras es el espacio experimental.

El área que presenta menos resistencia dentro del espacio experimental es la zona que se encuentra en la esquina superior izquierda, y donde los valores para los factores significativos son los siguientes:

3.4.5 Modelo cuadrático

El modelo cuadrático es el siguiente:

$$\ln y = 734.31A + 9.41B - 84.33C + 19.85E - 901.48AB - 940.78AE \quad (\text{Ecuación 44})$$

Debido a que se trabajó con datos transformados la ecuación anterior debe regresar a sus valores originales:

$$y = e^{\ln y} \quad (\text{Ecuación 45})$$

3.4.6 Verificación de supuestos:

En esta verificación se añaden graficas tales como la de probabilidad normal, histograma de residuales y residuales contra valores y datos, en estas gráficas como se puede ver se observa también la frecuencia y el porcentaje.

3.4.6.1 Gráficos de verificación de supuesto

Los gráficos de normalidad y varianza, así como el de contorno de mezcla, provenientes de la experimentación, y cálculos efectuados, se muestran a continuación para poder tener una visión clara de los resultados.

Esto ayuda también a depurar, obtener residuales, y a poder tomar una decisión acertada y optima, de la mezcla con el menor valor de resistencia en ohms.

Para una posible utilización de esta nueva sustancia como conductor en transductores para audífonos.

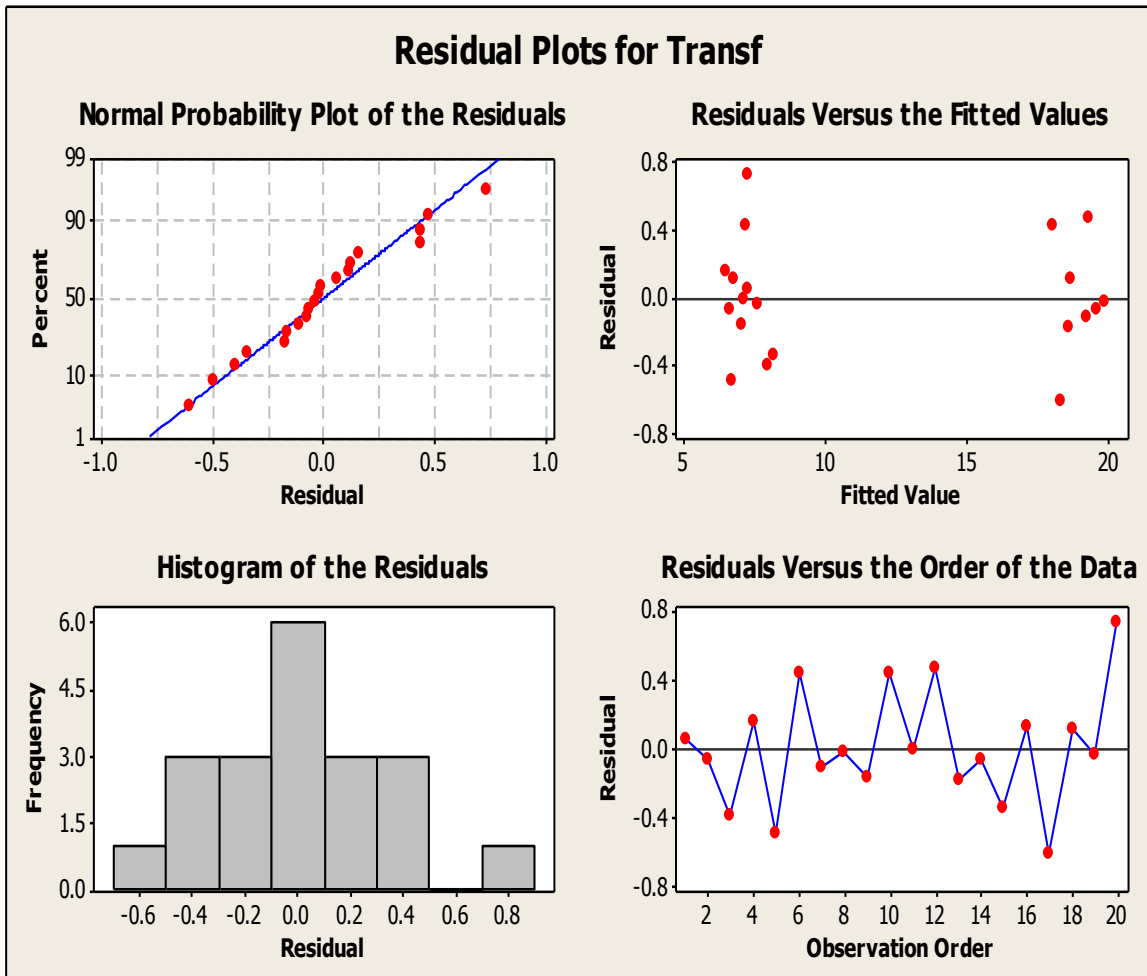


Figura 23 Gráfica de residuales

En la figura 23 tanto la normalidad como la varianza constante de los residuales se ven sin problemas, podemos decir que los supuestos se cumplen, y que los resultados del análisis pueden ser utilizados para tomar decisiones.

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Cualquier combinación seleccionada dentro del área, y de la elipse (figura23) con valor de seis, nos arroja un valor mínimo de resistencia. La corrida seleccionada después de ajustar el modelo a la ecuación de predicción es la número 11, la cual nos da un valor ajustado de 683.0 (tabla 9)

Factores					Ohms(Ω) Transf (ajustado)	Ohms(Ω) Real (ajustado)
Run Order	A	B	D	E		
11	.15	.12	0.00	.73	6.526	683.0

Tabla 9 Resultado (datos codificados)

3.5.1 CORRIDA DE CONFIRMACIÓN Y CONCLUSIONES

Se realizaron 12 corridas de confirmación utilizando los resultados arrojados por el experimento, bajo las mismas condiciones de experimentación. Los datos obtenidos en la corrida de confirmación con los factores de la tabla 9.

En la tabla 10, se aprecian con detalle los valores obtenidos, de la corrida de confirmación, en donde se muestra que el factor “D”, no influye en la conductividad, y se experimento solo con los factores “A”, ”B” y “E”, obteniendo resultados similares al “Run order” 11 de la tabla 9.

CORRIDA	A	B	D	E	Ohms(Ω)
1	.15	.12	0.00	.73	680
2	.15	.12	0.00	.73	663
3	.15	.12	0.00	.73	661
4	.15	.12	0.00	.73	682
5	.15	.12	0.00	.73	670
6	.15	.12	0.00	.73	665
7	.15	.12	0.00	.73	679
8	.15	.12	0.00	.73	668
9	.15	.12	0.00	.73	675
10	.15	.12	0.00	.73	682
11	.15	.12	0.00	.73	667
12	.15	.12	0.00	.73	664

Tabla 10 Corrida de confirmación con datos codificados

Promedio = 671.3333 Ω

Desviación estándar = 7.843159

La mezcla numero 11 logra conducir electricidad, con voltajes tan pequeños de 18mVDC, con una resistencia calculada de 671.333 Ω , con **celulosa** y **poliacetileno**, como base de polímero.

3.6 CONCLUSIÓN FINAL

Es necesaria la investigación de nuevos materiales biodegradables, que ayuden a proteger el medio ambiente para no contaminar, así como mejorar en muchos aspectos

la tecnología de conductores eléctricos, y componentes electrónicos, la obtención de este nuevo polímero, a base de **celulosa** y **poliacetileno**, ayudará a mejorar y a economizar en conductores, para su posible uso en transductores de audífonos, así como en otros componentes electrónicos como potenciómetros, por su bajo costo y alta flexibilidad.

Debemos enfocarnos a desarrollar materiales adecuados dependiendo del uso de éste, y recalcar el cuidado del medio ambiente.

Es por eso que el resultado de este nuevo conductor, tiene gran importancia en la mejora de la tecnología, tanto alámbrica como inalámbrica, y además la disminución del uso de soldadura, y el costo, lo hacen competitivo.

3.7 TRABAJOS FUTUROS

En los siguientes trabajos, se abordaran temas basados en este polímero conductor de electricidad, se propondrán fórmulas que describen el comportamiento de la fuerza electromotriz, dentro de este polímero, basados en la mecánica del medio continuo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Enciclopedia “Wikipedia” (Internet) [3],
- Polymer Handbook, por Eric A. Grulke, Akihiro Abe, Daniel R. Bloch, J. Brandrup, Edmund H. Immergut
- Principles of Polymer Processing (Society of Plastics Engineers Monographs). Por Zehev Tadmor, Costas G. Gogos
- Thermoplastic Elastomers (Hardcover). Por Hans Rytger Kricheldorf, Aubert Y. Coran, R., III Abell, R. K. Adams, F. S. Bates, Andrie T. Chen
- Supramolecular Chemistry (Paperback). by Jonathan W. Steed, Jerry L. Atwood
- Conductive Polymers and Plastics. Editado por: Larry Rupprecht,
- Handbook of Conducting Polymers (Hardcover). Editado por: Terje A. Skotheim
- Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications. Editado por: Rupprecht,
- Structure and Properties of Conducting Polymer Composites. V.E. Gul'
- Química y tecnología de pinturas y revestimientos. J. Bentley y G.P.A. Turner. (Traducido al español).

- Van Antwerper, F.J., ed. 1977. Proc. Conference on Chemical Feedstock Alternatives. Houston, Tex., 2-5 de octubre, 1977. American Institute of Chemical Engineers, 125 p. Nueva York.

- Seeley, D.B. 1976. Cellulose saccharification for fermentation industry applications. *Biotechnol. and Bioeng. Symp.*, N° 6. p. 285-292

- A B Bhatia y R N Singh, Mechanics of Deformable Media, Adam Hilger, 1986.
- F. A. Morrison, Understanding Rheology, OUP, 2001
- Fenomenos de Transporte R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot
- Self-doped Conducting Polymers Michael S. Freund, Bhavana A. D. Deore
- Electronic Phenomena in Organic Solids Jaroslav Kahovec

- Conjugated Polymers : Processing and Applications Terje A. Skotheim, J.R. Reynolds

- Smart structures and Materials 2004 : Electroactivepolymer Actuators and Device
Eapad Yoseph Bar-Cohen
- Electroactive Polymers for corrosion control Yen Wei, Peter Zrras, John D. Stenger
- Conductive Electroactive Polymers: Intelligent Materials Systems Gordon G. W.
Geoffrey M. Spinks, Peter R. Teasdale, Leon A.P. Kane-Maguire
- Electricity and Magnetism W.N. Cottingham (Author), D. A. Greenwood
- The Journal of Chemical Society, publications [2]