

10



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



INGENIEROS PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA

"OPINIONES DE DIVERSOS INVESTIGADORES EN EL AMBITO DE LA DIVULGACION DE LA ELECTROQUIMICA"

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERA QUIMICA PRESENTA: MA. ISABEL AVILA RAMIREZ



MEXICO, D. F.

286706

2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## Jurado Asignado

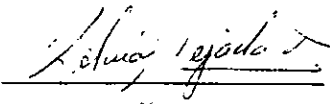
<b>Presidente</b>	Prof. Saloma Terrazas Miguel
<b>Vocal</b>	Prof. Tejada Castañeda Silvia Lilia
<b>Secretario</b>	Prof. Aguilar Martínez Martha
<b>1er. Suplente</b>	Prof. Rodríguez Rivera Carlos
<b>2º. Suplente</b>	Prof. Ramos Mejía Aurora de los Angeles

## Sitio donde se desarrollo el tema

Laboratorio 112, División de Estudios de Posgrado. Edificio "B". Facultad de Química  
UNAM. Circuito Interior s/n. México D.F.

## Asesora del Tema

Q.F.B. Tejada Castañeda Silvia Lilia



---

## Sustentante

Avila Ramírez Ma. Isabel



---

## **DEDICATORIAS**

A mi asesora la maestra Silvia Tejada

Por la dedicación, paciencia y empeño que siempre me brindó en la realización de este trabajo.

A mi querida Facultad de Química

Por brindarme la oportunidad de ser grande en sus instalaciones que día con día fueron un importante elemento en mi formación académica y con orgullo formar parte de su historia.

Al lab. 112 de Físicoquímica de Semiconductores.

Por haberme albergado en durante toda mi estancia en la realización de este trabajo y a todos los colaboradores del mismo.

A mis Padres

A quienes agradezco su apoyo y confianza para alcanzar mis sueños, metas, triunfos, ideales y permitirme buscar entre mis propias limitaciones el camino para seguir adelante.

A mis Abuelos

No alcanzaría mi existencia para poder recompensar y agradecer el inculcarme todos esos cimientos de respeto, trabajo, sencillez, de lucha constante y esa gran fuerza de responsabilidad con la que se tiene que enfrentar la vida.

A mis Hermanos

Por compartir conmigo mis locuras, alegrías, por su apoyo moral y económico, les agradezco también darme ese impulso de superación y lograr así conquistar mis metas. Esperando que juntos alcancemos todas las metas que nos proponíamos en la vida.

Ami tío Raúl:

Con quien siempre he encontrado ante todo; respeto, apoyo y una mano amiga para compartir, todo aquello que la vida nos permita en espacio y en tiempo.

A las Familias

Ruíz Ramirez, Palapa Ramirez, Romero Hernández, Fernández Armenta, Sánchez Soria, Vargas Martínez, al permitirme compartir su tiempo, su casa y brindarme su apoyo paciencia y compañía.

A mis tres Mosqueteras

Mi agradecimiento infinito a mis tres alegres y respetables "Mosqueteras"; Emma, Alejandra y Joaquina, por convertirme en la fuerte "Dartañan" y juntas formar ese respetable cuarteto de sincera, brillante y grandiosa AMISTAD.

Alcides Muños Lasso

Por dejarme pertenecer a su mundo y enseñarme a defender lo que se quiere ser en la vida sin excepciones ni prejuicios.

## **CASCARITA FEMENIL**

Equipo "PUMITAS"

Por dejarme formar parte de su compañerismo futbolístico y vivir con ellas todos aquellos momentos de triunfo y sabor a victoria; mi gran equipo siempre formará parte importante de mis recuerdos y será el estandarte número uno de cualquier cancha. Porque como "PUMITAS" no hubo, ni habrá equipo igual.

Equipo "BALUARTE"

Con el que compartí mis mayores campeonatos y disfrutar de esa figura dentro del equipo, porque siempre me impulsó y me exigió una mayor superación en cada partido para lograr el triunfo, de los cuales el más importante es haber obtenido un título de goleo.

Equipo I.Q. de generación y Selección de Química.

Por brindarme la oportunidad de formar parte de su historia y concederme la fortuna de haber luchado por el triunfo, muchas gracias.

A todos mis amigos

Aunque quisiera no podría mencionarlos a todos y sería una falta de respeto a su persona dejar de mencionar alguno de ellos por todo lo que representan en mi vida. En donde quiera que se encuentren, los caminos que recorran, los obstáculos que superen y las nuevas alegrías que disfruten, quiero decirles que siempre que la vida nos pueda reunir en espacio y tiempo sea para compartir lo mas bello de la vida "NUESTRA AMISTAD".

Estoy convencida que la vida me ha dado grandes cosas a veces deseadas, a veces inesperadas y todas ellas siempre con la convicción de buscar mi propia felicidad y considero que todo lo que he vivido no sería real sin la bendición de alguien en quien creo, confío y al que amo con todo mi corazón por eso me dirijo hacia él con estas líneas:

**A MI DIOS, POR TODO LO QUE ME HA CONCEDIDO EN SU GRACIA COMO UNA EXPRESIÓN GENUINA DE SU AMOR INFINITO; A QUIEN DEBO TODO LO QUE AHORA SOY Y SERÉ EN SU MISERICORDIA.**

**GRACIAS SEÑOR QUE BUENO ERES; BENDITO SEAS**

## INDICE

	PÁGINA
RECONOCIMIENTO	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVO	4
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>5</b>
ELECTROQUÍMICA	5
HISTORIA	5
IMPORTANCIA SOCIO-ECONÓMICA	7
CAMPOS DE INVESTIGACIÓN	9
• FISCOQUÍMICA DE SOLUCIONES	10
• ESTRUCTURA INTERFACIAL DEL ELECTRODO, CINÉTICA Y ELECTROSÍNTESIS	10
• ELECTROSÍNTESIS	10
• ELECTROCRISTALIZACIÓN DE METALES Y ALEACIONES	10
• INVESTIGACIÓN DE PROCESOS HIDROMETALÚRGICOS	11
• INGENIERÍA DE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS	11
• SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS CONDUCTORES	11
JORGE ALEJANDRO ARVÍA	13
IGNACIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ	18
VICENTE ANTONIO MACAGNO	20
YUNNY MEAS VONG	22
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>25</b>
CORROSIÓN	25
CINÉTICA DE UN PROCESO DE CORROSIÓN	28
CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA	29
MECANISMOS DE LA CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA	30
CORROSIÓN QUÍMICA	31
LEYES DE LA CORROSIÓN QUÍMICA	32
• LEY DE LA CORROSIÓN LINEAL	32
• LEY DE CORROSIÓN DE CRECIMIENTO PARABÓLICO	32
ÓXIDOS TIPO $-p$	33
ÓXIDOS TIPO $-n$	33
PROTECCIÓN POR METALIZADO	33
CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA	34
PILAS	36
REACCIONES ANÓDICAS	36
REACCIONES CATÓDICAS	37
RUIDO ELECTROQUÍMICO	38
JOSÉ M. COSTA	42
JOAN GENESCÀ LLONGUERAS	44

JORGE URUCHURTU CHAVARRÍN	48
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>50</b>
SEMICONDUCTORES	50
BANDAS DE ENERGÍA	51
SEMICONDUCTORES TIPO p Y SEMICONDUCTORES TIPO n	53
EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CONDUCTIVIDAD	54
APLICACIONES DE LOS SEMICONDUCTORES	56
IMPORTANCIA DE LOS SEMICONDUCTORES	60
OMAR SOLORZA FERÍA	61
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>64</b>
ELECTROQUÍMICA ORGÁNICA	64
LA INDUSTRIA DE LA ELECTROSÍNTESIS ORGÁNICA	64
REDUCCIÓN ELECTROORGÁNICA	68
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA REDUCCIÓN ELECTROORGÁNICA	69
FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA REDUCCIÓN ELECTROORGÁNICA	70
MARTHA AGUILAR MARTÍNEZ	74
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>79</b>
ELECTROQUÍMICA AMBIENTAL	79
APLICACIONES ELECTROQUÍMICAS PARA EL SANEAMIENTO AMBIENTAL	79
ELECTROSÍNTESIS DIRECTA	80
ELECTROSÍNTESIS INDIRECTA	81
PROCESOS BASADOS EN MEMBRANAS Y/O INTERCAMBIO IÓNICO	81
PROCESAMIENTO ELECTROKINÉTICO DE SUELOS	81
ELECTROREMEDIACIÓN DE GASES	82
DESINFECCIÓN ELECTROQUÍMICA DEL AGUA	82
LA ELECTROQUÍMICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS	82
RECUPERACIÓN DE METALES	84
GUILLERMO IBAÑEZ CORNEJO	86
MIGUEL SALOMA TERRAZAS	89
CONCLUSIONES	93
APÉNDICE	94
ANEXO I	99
ANEXO II	100
BIBLIOGRAFÍA	101



## RECONOCIMIENTO

Quiero agradecer a todos los investigadores que nos dieron sus opiniones acerca de la electroquímica de manera personal o por escrito, lo cual permitió que se realizará este trabajo.

Que bueno que haya investigadores que nos ayudan a conocer lo que no sabíamos y que se dediquen a formar personal en su área para avanzar hacia el futuro ya que son personas que hacen las cosas y eso nos impulsa a los jóvenes a trabajar arduamente para ser mejores haciendo las cosas, llevándolas a la práctica y no sólo pensándolas.

Los investigadores entrevistados compartieron conmigo sus conocimientos y su trato humano de manera muy generosa.

Yo les agradezco a ellos haberme dado su tiempo y haberme hecho sentir importante como ser humano, siendo Yo una alumna recién egresada de la Facultad no esperaba tanta atención de su parte.

**Ma. Isabel Avila Ramirez.**

## INTRODUCCIÓN

La Electroquímica es una ciencia interdisciplinaria muy importante de investigación y uso en la vida cotidiana ya que sus aplicaciones pueden ser en: corrosión, prevención de la corrosión, química inorgánica y orgánica, química ambiental, semiconductores, etc.

Algunos ejemplos de estas aplicaciones de la electroquímica son los siguientes: las pilas las cuales usamos frecuentemente para el funcionamiento de una calculadora o bien en una radio grabadora, en relojes, juguetes, lámparas etc., también muchos metales que utilizamos diariamente, como las salpicaderas de los automóviles, las llaves del agua en el fregadero, etc., los cuales son recubiertos con una protección específica para evitar la corrosión. Otro ejemplo son los métodos electroquímicos utilizados para eliminar sustancias tóxicas de las aguas residuales, que contaminan ríos, lagunas, mares, etc., causando graves problemas a los ecosistemas, etc.

En este trabajo, se presentan algunos aspectos teóricos de la electroquímica y sus aplicaciones, fundamentalmente dirigido a aquellas personas que no necesariamente se dedican al estudio de la química, pero que les interesa tener una cultura científica y aplicarla en su vida común.

Por esta razón, esta tesis es un estudio de divulgación de la electroquímica sobre algunos aspectos en esta área, en el ámbito nacional e internacional, para ello se les pidió a diferentes investigadores, mediante un cuestionario, (anexo I) que expresaran sus opiniones acerca de esta disciplina y de los temas de investigación que están desarrollando, en el entendido de que un trabajo de divulgación debe poder ser comprendido por personas con una escolaridad de bachillerato. De los investigadores, que contestaron el cuestionario, aunque todos sean electroquímicos, algunos se dedican de manera preferente a una parte de esta ciencia, por lo que este trabajo se dividió en cinco capítulos.

El primer capítulo se denomina Electroquímica; aplicaciones, campos de investigación, desarrollo y los investigadores que se mencionan en este capítulo son personas que han trabajado en casi todos los aspectos de la electroquímica.

El segundo capítulo se refiere a la Corrosión: corrosión microbiológica, corrosión química, corrosión electroquímica, pilas, ruido electroquímico. El capítulo tres se refiere a los semiconductores y sus aplicaciones. El capítulo cuatro es sobre Electroquímica orgánica. Y el capítulo cinco trata de la Electroquímica ambiental y recuperación de metales. Por supuesto que existen muchos aspectos más de la electroquímica pero este no es un trabajo exhaustivo, sino más bien se pretende con él dar algunos ejemplos de esta ciencia y que sea el propio lector o los estudiantes de bachillerato los que busquen otros aspectos de la electroquímica de su particular interés.

Al comienzo de cada capítulo se desarrollan los fundamentos teóricos para entender los fenómenos que se llevan a cabo dentro del área de la electroquímica, posteriormente se cita la opinión de cada uno de los investigadores de acuerdo a su especialidad; en estas declaraciones describen sus inicios, experiencias, distinciones etc. que como investigadores han tenido a través del tiempo. Todos los investigadores mencionados en este trabajo sólo son una muestra de los muchos que existen tanto en México como en el extranjero.

## **OBJETIVO**

El objetivo de este trabajo es dar a conocer al lector en general, con un nivel escolar de bachillerato, la importancia de la electroquímica tanto en la investigación como en la vida diaria.

Esto a través de algunos ejemplos de lo que realizan los electroquímicos en su especialidad en este momento.

Este trabajo puede además ser útil para los estudiantes de enseñanza media y media superior para apoyar el aprendizaje de la electroquímica en sus cursos regulares de Química.

## CAPÍTULO 1

### ELECTROQUÍMICA

La electroquímica es la ciencia que estudia las transformaciones químicas producidas por corrientes eléctricas y la generación de electricidad por medio de transformaciones químicas.

**HISTORIA.** A finales del siglo XVIII se descubrió lo que Galvani (1791) denominó electricidad "animal", es decir, la relación entre los sucesos biológicos y los eléctricos. En 1800, Volta obtuvo directamente energía eléctrica a partir de reacciones químicas, mediante un "órgano eléctrico artificial", que hoy comúnmente se denomina "pila" [1]. De los nombres de estos dos científicos han surgido dos de los términos más conocidos en electroquímica: "voltaje", para designar el potencial de un sistema eléctrico, y "celda galvánica" para nombrar los dispositivos que transforman energía química en energía eléctrica, como son, por ejemplo las pilas que se utilizan a diario en radios, linternas, etc. [2] Tres décadas después, Faraday estableció las leyes que regulan la cantidad de sustancia química formada en un electrodo por el paso de electricidad, y Grove produjo ésta al unir hidrógeno y oxígeno en una pila electroquímica, dando origen a la llamadas "pilas de combustible", que actualmente corresponden a las fuentes de energía eléctrica con tecnología más avanzada. En 1891, Nernst, por medio de un análisis termodinámico, pudo determinar las variaciones de energía libre durante las reacciones químicas. Esto permitió que durante los 50 años siguientes, las reacciones electroquímicas se trataran principalmente desde el punto de vista termodinámico, dando importancia al potencial del electrodo. En la misma época, la atención de los científicos se centró en la teoría de Debye-Huckel, sobre la fisico-química de la disolución. En los primeros años del siglo XX, Tafel estableció la ley más utilizada en la electroquímica: la que relaciona la densidad de corriente que atraviesa un electrodo, con su potencial. Hacia 1950 se aceptaron las ideas de que la diferencia de potencial en la interfase electrodo-solución no era una magnitud que sólo proporcionaba la termodinámica, y que la corriente que fluye a través de esta interfase está relacionada con la desviación de esta diferencia de potencial con respecto a su valor en el equilibrio (corriente nula). Estas proposiciones, ya enunciadas implícitamente por Butler (1924) y

explícitamente por Volmer y Erdy-Cruz (1930), hicieron que la electroquímica tuviera un enfoque cinético-molecular y estructural. También se dio una interpretación cinética al equilibrio. Desde entonces, se desarrollaron métodos de estudio para el mejor entendimiento de los mecanismos de las relaciones electroquímicas, proceso en el que la electrónica tuvo un papel muy importante en la parte instrumental. De este modo se fue acumulando suficiente información sobre la cinética de las reacciones, con lo cual la electroquímica se desarrolló en forma extraordinaria. [1]

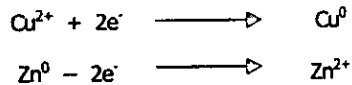
Una celda galvánica común está constituida básicamente por dos piezas metálicas, llamadas electrodos, y por una solución que contiene iones, denominada electrólito. Los electrólitos son generalmente líquidos, pero algunas celdas de gran importancia tecnológica utilizan electrólitos sólidos o en forma de pasta.

El aspecto fundamental de una celda galvánica, como en cualquier sistema electroquímico, es la transferencia de carga eléctrica entre materiales con diferentes características: por un lado los electrones metálicos, donde los portadores de carga son únicamente los electrones (conducción electrónica) y, por otro lado, el electrólito, donde la conducción se establece con base en iones negativos (aniones) y de iones positivos (cationes) (conducción iónica). Las reacciones químicas que ocurren en la interfase, (se entiende por interfase a la frontera entre regiones homogéneas llamadas fases, electrodo/electrólito) generan el flujo de corriente eléctrica que proporciona la celda.

Una de las celdas galvánicas más conocidas es la llamada celda de Daniell. Consta de dos semiceldas separadas por un vidrio porosa o puente salino. En una de ellas se coloca el electrodo de cobre y una solución 1 molar de sulfato de cobre, mientras que en la otra se coloca un electrodo de zinc en una solución 1 molar de sulfato de zinc. Al unir los electrodos mediante un medidor potencial, se determina que la celda genera un potencial máximo de 1.1 volt, denominado *fuerza electromotriz (fem)*.

Este valor puede ser calculado con base en las reacciones químicas que tienen lugar en la celda y el potencial estándar asociado a estas reacciones. En este caso, los pares son  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$  y  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}^0$ .

Un potencial más positivo indica una mayor tendencia de las especies a ganar electrones, esto es, a reducirse. En cambio, a medida que un potencial es más negativo (o menos positivo) se tiene una mayor tendencia a la oxidación, o sea a la pérdida de electrones. De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que las reacciones en la celda de Daniell serán:



La fem de una celda se calcula mediante la relación: fem = Potencial más positivo - Potencial más negativo, sin cambiar nunca los valores reportados en la tabla, a menos que las condiciones de concentración, presión a temperatura sean diferentes a las estándar. [2]

#### **IMPORTANCIA SOCIO-ECONÓMICA. [1]**

La electroquímica cubre al mismo tiempo demandas de la industria y de la vida cotidiana. El desarrollo de esta rama de la ciencia tiene impacto en las áreas relacionadas con la energía, la materia y el ambiente. Las pilas y los acumuladores electroquímicos pueden almacenar energía y proveer corriente eléctrica en cualquier momento. Existen pilas para casi cualquier tipo de uso, desde las miniaturas, hasta las de combustible para suministrar electricidad a ciudades enteras. Los procesos electroquímicos permiten: obtener productos inorgánicos (Na, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>, alcalinos, agua pesada, bromatos, cloratos) y orgánicos (adiponitrilo para la fabricación de nylon, fluorocarbonados, polímeros, p-aminofenol) metales y aleaciones (Al, Cu, Ag, Na, Co-Ni, Co-W, Cu-Zn, y polvos metálicos de Cu, Be, Fe, Mn); recuperar metales de desechos industriales o de minerales, y luchar contra la corrosión (protección catódica, pasivación, galvanoplástica y tratamientos diversos de la superficie). La electroquímica es, además, una industria potencialmente limpia, sus métodos de descontaminación permiten desechar las aguas industriales en los ríos, y los de diálisis hacen posible recuperar las salmueras (desalamiento) para contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida.

En México la electroquímica interviene en las siguientes industrias:

1. De pilas y baterías
2. De producción y refinación de cobre integrada por 59 empresas: 45 mineras, tres fundidoras, una refinadora (Cobre de México, con capacidad instalada de 120 mil toneladas anuales) y 10 manufactureras.
3. De aluminio (Aluminio, S.A. y Aluminio Industrial Mexicano), aún no plenamente desarrollada, por la falta de bauxita, su materia prima.
4. De metales preciosos: oro y plata (Real del Monte y Pachuca S.A., y Asarco), zinc refinado (Minera México, con 114 mil toneladas de capacidad), dióxido de manganeso (Minera Aután, con 6.6 mil toneladas por año, y otras más especializadas, como la de polvos metálicos).
5. De materias inorgánicas: cloro y sosa (Cloro de Tehuantepec, Penwalt, Industria Química del Istmo, Celulosa y Derivados, El Pilar y Fertilizantes Mexicanos) y persulfato de amonio (Electroquímica Mexicana).
6. De recubrimiento tratamiento de superficie y protección contra la corrosión.

La enseñanza de la electroquímica se imparte básicamente en los cursos de fisicoquímica en la Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana, y el Instituto Politécnico Nacional, que ofrecen estudios de posgrado y otras universidades tecnológicas. En los 10 años recientes, el número de especialistas en esta disciplina ha aumentado y, desde 1983, existe la Sociedad Mexicana de Electroquímica.

La Escuela de verano de Electroquímica que se ha venido realizando en la Universidad de Southampton por más de 25 años, atrayendo participantes de la industria y las universidades deseosas de tener un primer contacto con investigación en electroquímica y las técnicas electroquímicas, se realizó por primera vez en Buenos Aires para Latinoamérica en este año.

Tuvo lugar en el INQUIMAE, Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física de la Universidad de Buenos Aires en el mes de abril. [39]



Este curso apunta a participantes con una formación en ciencias (química, bioquímica, biología, física ó ingeniería) que necesiten una introducción a electroquímica moderna.

Los tópicos que abarcó fueron cinética de electrodo, doble capa, voltametría cíclica, cronoamperometría, electrodo de anillo-disco, microelectrodos, impedancia faradaica con énfasis en los aspectos prácticos. El curso fue particularmente útil para aquellos que deseen aplicar técnicas electroquímicas y los participantes tendrán amplias oportunidades de tener conversaciones informales con los profesores. El curso estuvo particularmente orientado a participantes en la industria de la química orgánica, electrosíntesis, química analítica y sensores, bioquímica e industria farmacéutica, industria.

El curso fue dado por:

Dr. P.N. Bartlett, Professor of Electrochemistry, Univ. Southampton

Dr. P.R. Birkin, Lecturer in Electrochemistry, Univ. Southampton

Dr. G. Denuault, Lecturer in Electrochemistry, Univ. Southampton

Dr. J.R. Owen, Reader in Electrochemistry, Univ. Southampton

La participación de los científicos británicos ha sido posible dentro del marco del subsidio de colaboración British Council-Fundación Antorchas entre los grupos de electroquímica de INQUIMAE y de la Universidad de Southampton, Gran Bretaña

En colaboración con:

Dr. F. Battaglini, Prof. Adjunto Universidad de Buenos Aires

Dr. E.J. Calvo, Prof. Titular Universidad de Buenos Aires

Dra. C. Danilowicz, Investigadora Asistente Conicet, Argentina

### **CAMPOS DE INVESTIGACIÓN**

En el desarrollo de la electroquímica se han realizado trabajos en los siguientes campos de investigación:

### **Fisicoquímica de Soluciones**

El estudio de sistemas multicomponentes y multirreaccionantes a través de métodos gráficos construidos a partir de datos termodinámicos, ha permitido conocer de manera acertada y esquemática la fracción de las especies químicas presentes en sistemas multicomponentes.

Estos estudios son el común denominador del trabajo desarrollado en el Área de electroquímica al abrir impresionantemente las posibilidades para estudiar los fenómenos requeridos, ya con su uso es posible predecir procesos de disolución precipitación y complejación entre otros.

### **Estructura Interfacial del Electrodo, Cinética y Electrocatalisis**

En esta línea han iniciado los estudios conducentes a la elucidación de la cinética y mecanismos de las reacciones electroquímicas, así como el estudio de sistemas con posibilidades de ser útiles en reacciones electroanalíticas. Así mismo se ha logrado una excelente correlación entre el comportamiento electrocinético y los datos obtenidos a partir de los estudios termodinámicos.

### **Electroanálisis**

El control automatizado de diferentes procesos industriales requiere de sistemas de detección específico con una velocidad de respuesta adecuada y de análisis continuo. Esta línea de investigación se encarga del diseño, construcción y caracterización de detectores y sistemas de detección específicos para diferentes sustancias; así como la implementación de sistemas de detección continua.

### **Electrocristalización de Metales y Aleaciones**

Los principales logros obtenidos en esta línea es el desarrollo de sistemas no contaminantes para el electrodeposición de metales como el oro y plata, así mismo como el estudio de las primeras etapas de sus procesos de nucleación y electrocristalización.

Las técnicas de electrodeposición implementadas han permitido mejorar la morfología de los depósitos metálicos: así mismo ha sido posible iniciar los estudios para establecer una correlación entre los parámetros cinéticos de electrocristalización y la temperatura.

Esta línea ha generado una estrecha colaboración entre nuestra área y la Universidad Simón Bolívar de Venezuela, con el Instituto Politécnico de Grenoble y con el Instituto Politécnico Nacional.

### **Investigación de Procesos Hidrometalúrgicos**

Los principales logros en esta línea de investigación es la implementación reproducible de la técnica de electrodos de pasta de carbón para el estudio de los procesos de lixiviación de minerales. Mediante esta técnica ha sido posible caracterizar las diferentes etapas que se llevan a cabo durante los procesos hidrometalúrgicos.

Estos estudios se han realizado en estrecha colaboración con la Universidad de San Luis Potosí y el Departamento de Metalurgia del Instituto Politécnico Nacional.

### **Ingeniería de Procesos Electroquímicos**

Las aportaciones de los estudios fundamentales multiplican las posibilidades en la optimización de procesos de gran aplicación industrial, como son: la optimización de los baños de electrodeposición ya existentes, o bien desarrollo de nuevos baños, la optimización de los procesos de lixiviación y flotación selectiva de minerales. El desarrollo de la ingeniería Electroquímica está dirigido a conocer los métodos alternativos para optimizar reactores electroquímicos que permiten llevar a cabo, a nivel industrial, procesos electroquímicos diversos diferentes a los procesos hidrometalúrgicos.

### **Síntesis y Caracterización de Polímeros Conductores**

Esta es una de las líneas de investigación de más reciente implementación, actualmente se estudian los procesos de formación, crecimiento y comportamiento electroquímico de algunos polímeros conductores con la finalidad de usarlos como soporte de especies electroactivas para reacciones específicas.

Otras líneas de investigación en el campo de la Electroquímica se enuncian a continuación:

Electrodeposición de compuestos semiconductores binarios y ternarios. Estudios de los mecanismos de nucleación y crecimiento.

Caracterización de superficies con técnicas fotoelectroquímicas.

Electrodos Modificados con polímeros conductores con fines electrocatalíticos

Electroquímica mineral, Caracterización de superficies de sulfuros minerales de interacción de nuevas especies colectoras de sulfuro mineral.

Bioelectroquímica

Corrosión de Aleaciones Industriales

Algunos de los investigadores entrevistados son los siguientes:

## **JORGE ALEJANDRO ARVIA**

El DR. Jorge Alejandro Arvia nació el 14 de Enero de 1928, Argentina.

Sus estudios de Licenciatura en Química los realizó en la Universidad Nacional de la Plata 1951, el grado de doctor lo obtuvo en la misma Universidad en 1952. Doctor Honoris Causa de la Universidad Autónoma de Madrid, España, 1991.

Sus aportaciones han sido formar profesionales y profesores en casi todos los países de América Latina en la disciplina llamada Electroquímica, área típicamente multidisciplinaria. Promover la formación de Sociedades Científicas en Argentina, e Hispanoamérica, como también la realización de Reuniones Científicas, Congresos, Cursos de posgrado, etc. Ha realizado trabajos científicos reconocidos en el ámbito Internacional

Los avances en el campo de la electroquímica han contribuido a una conversión y uso de la energía más racional, con mayor eficiencia y limpieza, el aporte de nuevos métodos de producción con una mínima alteración del medio, el desarrollo de nuevas técnicas para la protección de materiales, el entendimiento de fenómenos biológicos, la obtención de nuevos materiales, etc.

Ha desempeñado diferentes cargos como son:

Docente autorizado en Química Física, Universidad Nacional de la Plata, 1954.

Profesor adjunto de Electroquímica, Universidad Nacional de la Plata, 1957.

Profesor de Química General, Universidad de Buenos Aires, 1958-1960.

Profesor de Electroquímica, Universidad Nacional de la Plata, 1958-1960.

Profesor titular (dedicación exclusiva) de Físicoquímica, 1960-1992.

Profesor Honorario de la Universidad Nacional de Tucumán, 1989.

Profesor Honorario de la Universidad Nacional de Córdoba, 1989.

Profesor Honoris Causa de la Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 1989

Profesor Extraordinario en la causa de Emérito, Universidad Nacional de la Plata, en la Facultad de Ciencias Exactas, 1994.

investigador Asistente, Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) (1954-1958).

Investigador del INIFTA (1958)

Investigador Asociado, Departamento de Química, Universidad de Northwestern, USA, (1956-1957).

Subdirector del INIFTA, 1971-1973.

Director del INIFTA, 1975.

Miembro de la Carrera del Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), desde 1962, Investigador Superior desde 1972.

Profesor Visitante/Invitado: en Brasil (Universidad de San Pablo y Universidad de San Carlos); en Chile (Pontificia Universidad Católica, Universidad Técnica del Estado, Universidad Católica de Valparaíso, Universidad de Concepción ); en México (Universidad Nacional Autónoma de México); en España (Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de la Laguna, Universidad Menéndez y Pelayo, Fundación Areces); en USA (Case Western University, Baylor University of Philadelphia); en Bolivia (Universidad mayor de San Andrés); en Venezuela (Universidad de Merida, Universidad Simón Bolívar); en Yugoslavia (Universidad de Belgrado); Profesor visitante en universidades alemanas a través del sistema de intercambio de la Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD); profesor visitante en Universidades francesas a través del Ministère des Affaires Etrangères, Invitado de la Universidad de Tel-Aviv (Israel), Invitado de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética, Invitado de la Academia de Ciencias de Bulgaria.

El Dr. Arvía ha merecido las siguientes distinciones:

Premio: "Diez Jóvenes Sobresalientes", Buenos Aires, 1965.

Premio Nacional de Química "Provincia de Santa Fe", 1969.

Premio de la Sociedad Científica Argentina, 1973.

Premio en Ciencia de la provincia de Buenos Aires, 1975.

Premio " J.J.J. Kyle" otorgado por la Asociación Química Argentina, 1983.

Diploma al Mérito, premios "Konex" 1983 en "Ciencias y tecnología", 1983.

Chavalier de la Orden "des Palmes Academiques" otorgado por el Gobierno Francés, 1985.

Medalla "J. Heyrovsky", distinguished scientist, Checoslovaquia, 1990.

Premio "Dr. Hans Schumacher" como investigador más destacado por su labor en el campo de la Físicoquímica, 1992

Premio "Bunge y Born", asignado al campo de la Química, 1994.

TWAS Medal Lecture, Third World Academy of Sciences, 1997.

Miembro titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Miembro titular de la Academia de Ciencias Latinoamericana.

Fellow of the Third World Academy of Sciences (TWAS), Trieste.

Miembro correspondiente de la Academia de Ciencia de las Islas Canarias.

Presidente de la comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (1968-1973).

Miembro del Directorio del CONICET (1978-1982) Y (1984-1989).

Presidente fundador de la Sociedad Argentina de Investigación Físicoquímica (1978-1980).

Miembro del Bureau de la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), (1982-1988).

Vicepresidente de la International Society of Electrochemistry (ISE), (1984-1986).

Presidente de la Comisión Organizadora del 43rd Meeting de la International Society of Electrochemistry (1990-1992).

Vice-presidente de la Third World Academy of Science (TWAS) (1995-1998).

Miembro del Consejo de la Third World Academy of Science (TWAS 1998-2000).

Miembro de diversos comités de asesoramiento científico-técnico locales y comités de reuniones científicas internacionales.

Organización de las reuniones de Electroquímica a nivel Latinoamericano y de la Sociedad Iberoamericana de Electroquímica (conjuntamente con el prof. A. Arévalo).

Presidente del comité SECYT-ECOS para la cooperación científica entre Argentina y Francia.

Presidente de la Comisión Asesora de Ciencias Químicas del CONICET (1994).

Presidente de la Comisión Asesora de Seguimiento y Apoyo a Unidades Funcionales de Ciencias Químicas (1994).

Miembro de Comisiones Asesoras del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Consejero Científico de UNESCO para programas de investigación en Latinoamérica.

Miembro de la Comisión de Nominaciones y de la Comisión de premios de la Third World Academy of Sciences.

Presidente del Comité ECOS-SECYT para la cooperación Científica entre Argentina y Franda.

Miembro del Cuerpo Editorial del Journal of Applied Electrochemistry, Anales de la Asociación Química Argentina y Brazilian Journal of Chemistry.

Consultor de revistas científicas del área de Química-Física y áreas relacionada.

Areas de investigación: Físicoquímica, Electroquímica, Ciencias de la Superficie.

Autor/coautor de más de 700 trabajos científicos publicados en revistas internacionales reconocidas.

Autor y coautor de 17 publicaciones Técnicas.

Autor y coautor de 17 libros científicos y capítulos de libros.

Director/codirector de aproximadamente 90 trabajos de tesis de grado y de doctorado en Universidades Argentinas y extranjeras.

Autor y coautor de más de 600 trabajos presentados en Congresos y reuniones Científicas Nacionales e Internacionales.

Miembro de Sociedades Científicas argentinas, españolas, americanas, japonesas.

En su experiencia personal y profesional desea compartir lo que el conocimiento científico le ha permitido saber, expresando que: La ciencia explica como ocurren los fenómenos, la que la hace una parte importante de la Cultura universal. Ayuda a una interacción respetuosa del hombre con el universo. Es un camino para conocer la verdad si se aborda con un espíritu abierto, sin prejuicios, reconociendo las limitaciones de la humanidad. Las explicaciones de la Ciencia, puestas generosa y desinteresadamente a disposición de la sociedad, contribuyen al bienestar de la misma. Los jóvenes



deben apreciar y respetar el trabajo científico honesto y serio, tratar de conocerlo, y descubrir en ellos mismos una posible vocación para orientar en la vida esta actividad.

## IGNACIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ

El Dr. Ignacio González Martínez nació el 02 de Septiembre de 1956 en México D.F. sus estudios de licenciatura en química los realizó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, su maestría y doctorado los realizó en la Universidad de Pierre et Marie Curie, París Francia.

En su experiencia docente ha trabajado como ayudante de profesor de Química Analítica 1978-1980, como profesor de asignatura en la Facultad de Estudios Superiores (FES) Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, 1981-1984; profesor asociado Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa 1984-1986, profesor titular Universidad Autónoma Metropolitana 1986 a la fecha.

Otras actividades que ha realizado son: consejero alumno en el Consejo Técnico de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Cuautitlán 1977-1979, asesor de Investigación del grupo de electroquímica del CINVESTAV, vocal de la mesa directiva de la Asociación Mexicana de Química Analítica 1987, asesor de los laboratorios de Control de Calidad del Sistema de Transporte Colectivo 1987, secretario de la mesa directiva de la Asociación Mexicana de Electroquímica 1986-1988, presidente de la Comisión Dictaminadora de C.B.I, Universidad Autónoma Metropolitana 1986-1988, asesor de Investigación del área de Química de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco 1988-1989, asesor de Investigación del Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Guanajuato 1988-1994, presidente de la Sociedad Mexicana de Electroquímica 1993-1996.

Ha participado en varios proyectos de investigación financiados.

"Estudio físicoquímicos de los procesos hidrometalúrgicos de lixiviación, cementación y separación electroquímica de minerales de plata y cobre". CONACYT.

"Electrocristalización de Metales". CONACYT.

"Desarrollo de una metodología electroquímica para identificar los agentes químicos responsables de las contingencias por corrosión que ocurren en las plantas primarias y catalíticas, así como su aplicación en la evaluación de la efectividad de inhibidores". PEMEX-Refinación.

"Electrólisis de Oro y Plata disueltos en solución de cianuros". Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V.

"Estudio electroquímico de las etapas iniciales de la oxidación de acero en medio amargo ( $H_2S$ ,  $NH_3$ ). CONACYT.

Ha dirigido seis tesis de licenciatura, quince de maestría, siete de doctorado. Ha realizado dos trabajos de innovación tecnológica, y obtenido sus respectivas patentes nacionales, ha sido conferencista invitado en dieciocho ocasiones, en México y el extranjero.

Ha publicado sesenta artículos en revistas internacionales de investigación, y nueve nacionales en revistas de investigación. Cuatro en revistas de docencia, nueve artículos en libros de edición especial. Treinta artículos internacionales en memorias de congreso y ciento cincuenta y cuatro nacionales en memorias de congreso.

El Dr. Ignacio González Martínez ha sido distinguido como investigador del Sistema Nacional de Investigadores (SIN).

Sus investigaciones en esta ciencia son: Nuevas técnicas y aplicaciones en la electroquímica, electrodeposición, cronoamperometría, polarografía, electroreducción, estudio electroquímico de disolución, depósitos electroquímicos, determinación del mecanismo de una reacción electroquímica, estudio electroquímico de mecanismos de reacción, corrosión, electrocatalización de metales y aleacione, investigación de procesos hidrometalúrgico. etc.

## VICENTE ANTONIO MACAGNO

Vicente Antonio Macagno nació el 16 de Septiembre de 1939, en Argentina. Sus estudios de licenciatura los realizó en el Instituto de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba, el grado de doctor lo obtuvo en la misma Universidad.

Su interés por la electroquímica surgió como consecuencia, fundamentalmente, de haber sido invitado para la realización de la Tesis Doctoral por los Doctores. M. C. Giordano y A.J. Arvía.

Su aporte más importante en el campo de la electroquímica consiste en el estudio de la formación por anodización de películas finas de óxidos sobre distintos metales; para tal fin se aplican diversas formas de protección tales como la alteración superficial de los metales, consiste en crear y provocar una barrera protectora producto del mismo metal, como es el caso del anodizado. En este proceso el metal a proteger se oxida electrofóticamente, es decir, se le somete a condiciones tales que producen una película superficial de óxido del mismo metal, óxido que por lo general es de apariencia agradable, transparente, duro y muy protector; ejemplo el aluminio anodizado y la caracterización de las propiedades de esos óxidos, entre los cuales algunos resultan ser buenos conductores de la electricidad, otros son aislantes y otros, tal vez los más interesantes para estudiar, son semiconductores.

El Dr. Macagno es profesor Titular Plenario del Departamento de Físicoquímica, Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Nacional de Córdoba, así como también Investigador Principal del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Dentro de sus investigaciones cuenta con 50 Publicaciones Científicas. Ha participado con uno o más trabajos en más de 50 congresos.

Ha sido director de una tesis de maestría, y nueve de doctorado.

Ha sido también director de once becarios y director de cuatro miembros de la carrera del investigador.

En sus proyectos de investigación recientes se enuncian los siguientes:

Disolución y pasivación de metales. Formación y crecimiento y caracterización de películas de óxidos.

Reacciones de transferencia de carga sobre óxidos simples y modificados.

Ha colaborado en el dictado del curso de actualización en Química para profesores de enseñanza media en el Instituto de Ciencias Químicas.

Director de becas entre las cuales se mencionan las siguientes: beca Lic. M. V. Vázquez, (CONICOR 1987-1992); beca de Doctorado (CONICET), Ing. Julio Carot Ferreyra (1993-1995); beca (CONICET), Lic. G. E. Cavigliasso (1991-1997).

Invitado por DAAD, Alemania Federal, desde el 1/5/83 al 31/7/83 en el marco del convenio de intercambio de profesores DAAD-CONICET, a visitar laboratorios de Alemania Federal. Idem Agosto y Septiembre de 1990, y Agosto y Septiembre de 1993.

Integrante de la Comisión Asesora de Ciencias Químicas del consejo de investigaciones Científicas y Tecnológicas de la provincia de Córdoba (CONICOR), 1982-1983 y coordinador en 1988-1990.

Ha participado en la evaluación de proyectos de investigación y antecedentes de investigadores a solicitud del CONICET, CONICOR y CIC.

Miembro del Jurado para cursos de profesores en las siguientes Universidades: Universidad Nacional de Santiago del Estero, Universidad Nacional de la Patagonia, San Juan Bosco, Universidad Nacional de Río Cuarto, Universidad Nacional de Córdoba, Universidad Nacional del Litoral, Universidad Nacional de Tucumán, Universidad Nacional del Sur, Universidad Provincial de La Rioja, Universidad Provincial de San Luis.

Secretario de la Comisión Directiva de la Asociación Argentina de investigaciones Físicoquímicas, 1989-1991, así como secretario para la Argentina de International Society of Electrochemistry y miembro del Consejo de dicha Sociedad.

Ha sido revisor de trabajos originales de las siguientes publicaciones:

Electrochimica Acta, Journal of Electroanalytical Chemistry, Journal of Applied Electrochemistry, Journal of Physical Chemistry, Journal of the Brazilian Chemical Society.

## YUNNY MEAS VONG

El Dr. Yunny Meas Vong nació el 12 de Enero de 1953 en México, sus estudios los realizó en Francia desde la primaria hasta el doctorado.

La Electroquímica la estudió en la Escuela Superior de Electroquímica y Electrometalurgia del Instituto Politécnico Nacional de Grenoble (Francia) en donde se tituló como Ingeniero, y obtuvo el grado de doctor.

Su interés inicial era estudiar en una escuela de Ingeniería, interesándole tanto la química como la física donde la electroquímica fue la opción. La Escuela Nacional Superior de Electroquímica y Electrometalurgia está ubicada en los Alpes, lugar que tiene una alta tradición en industria electroquímica debido a la cercanía de la plantas hidroeléctricas.

Desde su niñez, estaba intrigado por saber como funcionaba una pila, era algo extraordinario y no entendía como podía salir electricidad de unos tubos, Recuerda, que por curiosidad desmontó varias pilas, llenas de chapopote en ese tiempo y haberse quedado con sus preguntas, que contestó muchos años después.

Sus aportaciones en el campo de la electroquímica han sido: el desarrollo de un sistema electroquímico para estudiar la cinética de adsorción y absorción de oxígeno, el desarrollo de materiales para electrodo para mejorar la eficiencia energética y selectiva de reacciones electroquímicas, desarrollo de materiales de ánodo para protección catódica con corriente impresa, desarrollo de técnicas electroquímicas para tratamiento de aguas residuales, desarrollo de un método para calcular la corriente de corrosión de un metal bajo protección catódica.

Desarrollo de un método para comparar velocidades de reacciones sobre espectro electroquímicas, desarrollo de una técnica electroquímica para desestañar alambre de cobre, desarrollo de una técnica electroquímica para obtener acabados negros sobre cromo y sobre colectores solares,

desarrollo de diversos baños de electrodeposición, desarrollo de diversos inhibidores de corrosión, desarrollo de aditivos para mejorar la eficiencia de baterías de plomo.

El Dr. Meas en los últimos 20 años, ha podido percibir avances enormes en:

El desarrollo de técnicas nuevas e híbridas para el estudio de la cinética de las reacciones de electrodo (ejemplo: microbalanzas, técnicas espectro electroquímicas)

En bioelectroquímica

En sensores

En fuentes electroquímicas de energía (pilas de Li, Ni-MH, pilas de combustible etc.)

Aportaciones en hidrometalurgia.

En microestructuras

En lo relacionado con el ambiente (tratamiento de agua, sensores de contaminación de agua y de aire).

La electroquímica ha demostrado tener un impacto socio económico en los sectores de: energía, materiales inorgánicos y orgánicos, ambiente y biología.

El Dr. Meas considera que en México las áreas que han sido desarrolladas y que él ha podido conocer dentro de la industria son: Materiales (producción de cloro-sosa, electrorrefinación, electrodeposición), pilas y baterías, corrosión (protección catódica, inhibidores), electrodos semiconductores.

En el ámbito académico se han desarrollado áreas de electrocatálisis, electroanálisis, corrosión, electrosíntesis orgánica e inorgánica, fotoelectroquímica, electroquímica ambiental, electrodeposición.

Existen aún grandes áreas de oportunidad para los electroquímicos, como en: remediación ambiental, corrosión, sensores, procesos electroquímicos, fuentes de energía, materiales de biología.

El Dr. Meas ha escrito 42 artículos, un libro y traducido otro, tiene 12 memorias in extenso, y 4 patentes registradas.

Ha sido director de 4 tesis de licenciatura, 9 de maestría y 4 de doctorado.

En su área de trabajo ha podido conocer a grandes personalidades, científicos y de esta manera agradece a la vida por permitirle la oportunidad y la fuerza para trabajar con personas sabias y generosas dando como resultado la creación del área de la electroquímica de la Universidad Autónoma Metropolitana y el Centro de Investigación y Desarrollo en la Electroquímica, CIDETEQ.

El Dr. Yunny manifiesta su interés en la juventud expresando que la electroquímica sigue siendo un área de oportunidad para el desarrollo profesional. Hay muchas necesidades en la industria en las cuales un electroquímico puede aportar soluciones.

Con su experiencia en la vida quiere transmitir a los jóvenes lo que él juzga muy importante: "Que hagan la diferencia entre el ser, el hacer y el tener y que pongan la prioridad en el ser, después en el hacer y después en el tener y no al revés".

Ha sido merecedor del premio a la Investigación en la UAM (1987), así también como la mención honorífica en el premio de la tecnología de SEP-CONACYT (1998).

Es miembro del SNI y de la Academia de Ciencias.

Así como Presidente de la Sociedad Mexicana de Electroquímica (1983-1986) y (1999-2000) y Secretario Nacional de la Sociedad Internacional de Electroquímica (1993-1999).



## CAPÍTULO 2

### CORROSIÓN

Desde muy temprano por la mañana hacemos uso del metal, en los grifos del agua para asearnos, con sus recubrimientos de níquel y de cromo en los utensilios de la cocina tales como los sartenes, cuchillos, cucharas, etc. Aun cuando lo olvidemos sabemos que nuestra casa así como todos los edificios están estructurados con acero, el cual actúa como un verdadero esqueleto, que conforma, soporta y da resistencia a la construcción. Para el traslado a nuestro trabajo lo hacemos usualmente en un medio de transporte fabricado en su mayor parte de acero. Lo mismo podemos decir de los aviones que surcan los cielos actualmente, de los medios de transporte espaciales modernos y de los satélites, hechos todos ellos de aleaciones metálicas, muy especiales. Aquellos que laboran en la industria se percatarán de que casi toda la instalación productiva está constituida de diversos metales; grandes reactores donde ocurren las transformaciones químicas operando a presiones y temperaturas elevadas, tuberías que transportan las materias primas así como los productos, tanques de almacenamiento, etc.

Por todo esto podemos decir, sin temor a equivocarnos que aún cuando se nos escape de la conciencia, vivimos en una civilización basada en el metal y que por lo tanto requerimos que los materiales metálicos en los cuales está basada dicha civilización industrial sean estables en nuestra atmósfera terrestre y que duren varios años. Sin embargo nosotros sabemos por experiencia, que las cosas no son así, los metales se degradan inexorablemente con el tiempo de muy diversas formas, dejan de ser funcionales, perdiendo sus propiedades decorativas o mecánicas. Algunos simplemente se disuelven en el medio que los envuelve.

Es interesante pensar que un pedazo de metal puede permanecer estable por un período indefinido, si es que se mantiene en el vacío, es decir, en donde el metal no entre en contacto con ningún medio o sustancia incluyendo al aire por supuesto. Si este aislamiento no ocurre los metales pueden reaccionar con el medio ambiente y formar compuestos como óxidos, sulfuros, cloruros, etc.

Así mismo los metales bajo ciertas condiciones pueden formar grietas o romperse catastrófica y súbitamente al estar sujetas simultáneamente a un medio agresivo y a un esfuerzo mecánico moderados (corrosión bajo tensión). También pueden ser atacados muy localizadamente en forma de pequeños agujeros profundos que avanzan llegando a perforar gruesas secciones de estructuras metálicas, haciendo las deficiencias en sus propiedades mecánicas por completo (corrosión por picaduras). También pueden sufrir de fatiga con la constante pérdida de resistencia cuando son sometidos a esfuerzos periódicos (corrosión por fatiga). Es entonces precisamente cuando todos los conocimientos que se tienen en la lucha contra la corrosión deben ser aplicados para que un metal o aleación perdure más años en servicio.

Debido a que los procesos de corrosión son en esencia electroquímicos, es decir, transformaciones químicas que se llevan a cabo en presencia de diferencias de potencial eléctrico también se pueden alterar la rapidez de corrosión de un metal al modificar las diferencias de potencial eléctrico existentes.

La corrosión es la causa general de la alteración y destrucción de la mayor parte de los materiales metálicos naturales o fabricados por el hombre. La producción de acero y la mejora de sus propiedades mecánicas han hecho posible su empleo en los dominios más variados. Para tener una pequeña idea de lo que esto representa, sépase que aproximadamente un 25% de la producción anual de acero es destruido por la corrosión.

La corrosión de los metales constituye un alto grado de probabilidad de despilfarro en la civilización moderna. Las roturas en los tubos de escape y silenciadores de los automóviles, la sustitución de los calentadores de agua domésticos, explosiones por fugas de gas en los tanques de almacenamiento o tuberías de conducción, roturas en la conducción de agua, incluso el derrumbe de un puente son algunos de los problemas con los cuales se encuentra el hombre. Los daños causados por un problema de corrosión pueden ser muy amplios. Pensemos en la reparación de la falla de un oleoducto de crudo, resultante de la corrosión, interna o externa. La corrosión de los metales, en cierto sentido inevitable, es una pequeña venganza que se toma la naturaleza por la

continúa explotación a que la tiene sometido el hombre, por la transformación de minerales a metales.

La corrosión puede describirse en primer término como una reacción de oxidación, por lo tanto cualquier oxidación química, es un ejemplo de corrosión representada en las siguientes reacciones.



Un metal sólido podrá corroerse, o sea, pasar a un estado más oxidado, cuando sea inestable con respecto a productos formados por su corrosión.

Es posible prever el comportamiento de un determinado metal a un medio ambiente dado ayudándonos de las predicciones que nos aporta la termodinámica y la cinética electroquímica. Así si el metal formado por el metal y el medio ambiente posee una energía libre positiva, es posible que tenga lugar la corrosión.

La presencia simultánea de agua (electrolito) y oxígeno (oxidante) hacen prácticamente inevitable la corrosión en estas condiciones, para la mayoría de los metales utilizados (hierro, aluminio, etc.).

La reacción de oxidación en el sistema formado presenta una energía libre positiva y volvemos a decir que la corrosión parece inevitable.

La termodinámica permite realizar los balances de energía que, para el caso de los metales puros colocados en una situación bien determinada, permitirán predecir su comportamiento; en este caso, si aparecerá o no en ellos la tendencia a la corrosión. La energía de un determinado sistema puede medirse en los términos de lo que se llama la energía libre. Se pueden presentar tres casos:

- 1) La energía libre es positiva. El metal es activo y puede sufrir corrosión. Es el caso más frecuente entre los metales de uso común (hierro, aluminio, zinc).
- 2) La energía libre es positiva, pero el metal en vez de presentar corrosión permanece inatacado aparentemente. Se dice que el metal está pasivo o pasivado.
- 3) La energía libre es cero o negativa. El metal es indiferente a los agentes agresivos habituales, no siendo posible ninguna reacción de corrosión. Es el caso de los metales nobles.

Podemos resumir todo lo anterior diciendo que es posible prever el comportamiento de un determinado metal en un medio ambiente dado, ayudándonos de las predicciones que nos aporta la termodinámica. Así si el sistema formado por el metal y el medio ambiente posee una energía libre positiva, es posible que tenga lugar la corrosión. Si bien los entornos o ambientes para un metal pueden ser muy específicos (pensemos en los metales con los que se construye un reactor nuclear), uno de los más generales, es el más común a la vida humana; la atmósfera.

Cuando una reacción química sucede espontáneamente, libera energía. Este tipo de energía puede ser empleada parcialmente para efectuar algún tipo de trabajo, y es a lo que los termodinámicos denominan energía libre de una reacción y la presentan como  $\Delta G$ . Si el cambio de energía libre en una reacción es igual al trabajo reversible total que se puede realizar, esto se puede presentar de la siguiente manera:  $-\Delta G = W$ , en donde  $-\Delta G$  es el cambio de energía de una reacción espontánea y  $W$  es cualquier tipo de trabajo, por ejemplo eléctrico, de expansión (en motores de combustión interna), gravitacional, etc.

### "Cinética de un proceso de corrosión".

Para introducirnos en la cinética de la corrosión debemos olvidarnos por un momento de la corrosión y pensar en un metal que no se corroe cuando se sumerge en cierto electrolito.

Pensemos que ese metal sea el cobre y que está sumergido en una solución conteniendo iones cobre. La solución no contiene oxígeno disuelto. Bajo estas condiciones la pieza de cobre no se corroerá. Esto se debe fundamentalmente a que el cobre es mucho más estable que la reacción de desprendimiento de hidrógeno según lo indica la tabla de la fuerza electromotriz de hidrógeno según lo es  $E_{Cu} > E_H$ .

Aparte del hidrógeno iónico no existe otro reactivo más catódico en ese medio, por lo tanto decimos que el cobre establece un equilibrio del tipo  $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$  que ocurre precisamente al potencial relativo estándar  $E^0_{Cu/Cu^{2+}}$  establecido anteriormente. [3]

## **CORROSION MICROBIOLÓGICA**

La corrosión es un fenómeno de destrucción de los materiales de construcción, principalmente de los metales, causado por un proceso de óxido-reducción. Existen muchas causas de la corrosión. Una de ellas es la corrosión microbiológica la cual ocurre como resultado directo o indirecto de la actividad de los organismos vivos. Estos organismos incluyen formas microscópicas como las bacterias (aerobias y anaerobias) y macroscópicas como las algas.

Así la actividad biológica puede influir en la corrosión de los metales y aleaciones en gran variedad de ambientes incluyendo suelos, aguas dulces, agua de mar, productos del petróleo, emulsiones de aceite etc. Los organismos vivos efectúan reacciones químicas, esto es, ingieren alimentos (reactivos) y eliminan productos de desecho (metabolitos).

La corrosión microbiológica puede ser presentada por los siguientes tipos de fenómenos:

- 1) Producción de metabolitos ácidos. Los microorganismos pueden excretar ácidos orgánicos y/o inorgánicos.
- 2) Corrosión debida a la producción de celdas de aereación diferencial. Estas celdas se presentan cuando el metal recibe más oxígeno en unas zonas que en otras causando la oxidación de las zonas menos aereadas. Los microorganismos forman colonias que se depositan sobre el metal, de manera que la parte de éste que queda bajo dichas colonias reciban menos oxígeno y por lo tanto se corroerá.
- 3) Destruyendo cubiertas protectoras sobre el metal, que son metabolizadas por los microorganismos.
- 4) Consumiendo sustancias inhibitoras de la corrosión y facilitando de esta manera de acción de iones agresivos presentes en el medio o producidos por el metabolismo microbiano.
- 5) Por influencia de las biopelículas formadas en la superficie del metal. [4]

La corrosión microbiológica puede definirse como el deterioro de un material por influencia de los microorganismos, en forma directa o indirecta, como resultado de la actividad metabólica. [5]

Influencia de los microorganismos en el proceso de corrosión.

Los microorganismos contribuyen a la corrosión por uno o varios de los siguientes factores los cuales son dependientes de las características fisiológicas del microorganismo:

- 1) Influencia directa en la velocidad de la reacción anódica o catódica.
- 2) Cambios de resistencia en la película del metal por su metabolismo.
- 3) Creando un ambiente corrosivo.
- 4) Estableciendo una barrera por su crecimiento y multiplicación además de crear una celda de concentración en la superficie del metal.

En la actualidad no existe lugar a dudas en cuanto a que deterioros de mucha importancia, incluso en materiales de gran resistencia, se deben en parte a la acción de microorganismos.

#### **Mecanismos de la corrosión microbiológica. [6,7]**

Entre los puntos en los que el metal presenta imperfecciones se forman diferencias de potencial las cuales provocan el paso de la corriente a través del líquido que se encuentra entre esas diferentes partes del metal.

En las zonas anódicas, la corriente pasa del metal al líquido y por el contrario, en las zonas catódicas, la corriente pasa del líquido al metal. De este modo se observa una disolución del metal en el ácido y la formación del hidrógeno en el cátodo.

En condiciones normales, al desprenderse hidrógeno catódico permanece suspendido en la superficie del metal, en forma de película a escala molecular, y de este modo crea un potencial de oposición suficiente para neutralizar "la pila". **Fig. 1.**

De esta manera al principio se produce una ligera corrosión anódica con disolución del hierro en forma de sales ferrosas que pronto se oxidan a sales férricas por efecto del oxígeno del agua.

Al polarizarse los elementos, sin embargo, la corrosión se suspende. En esta etapa del proceso se observa una ligera capa de oxidación que no afecta al metal (pasivación) y dicho estado de equilibrio puede durar mucho tiempo, en tanto que el oxígeno no movilice al hidrógeno catódico.

De hecho cualquier sustancia o mecanismo que utilice el hidrógeno catódico despolarizará al sistema y la corrosión continuará. Por ejemplo cuando intervienen las ferrobacterias y las sulfatobacterias.

En la parte correspondiente al ánodo las ferrobacterias obtienen su energía de la transformación de sales ferrosas en sales férricas y provocan la transformación acelerada de herrumbre (oxidación) con lo cual rompe en forma continua el equilibrio por despolarización anódica y catódica simultáneamente.

Este proceso produce la disolución continua del metal y llega hasta la pérdida del mismo. La corrosión microbiológica se caracteriza por producir corrosión en forma de picaduras.

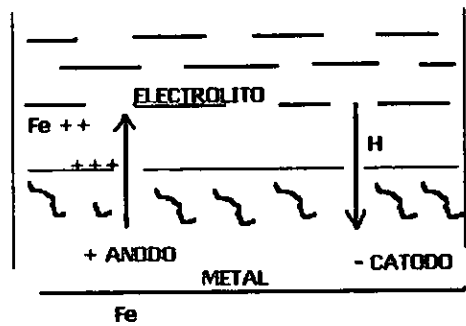


FIG. 1 Mecanismo de corrosión en contacto con una solución acuosa.

### CORROSIÓN QUÍMICA

Supóngase que se expone una superficie metálica limpia a la acción del oxígeno. El metal comenzará a reaccionar con el oxígeno y formarán óxidos. A baja temperatura, la primera etapa será la formación de una capa de óxido. A mayor temperatura y concentración de oxidante se forma una película de óxido, cuyo espesor varía según las condiciones.

El proceso pasa por tres etapas. Primero, la superficie del metal aparece limpia y brillante por cierto tiempo. Luego aparecen de pronto núcleos de óxido que comienzan a extenderse sobre la superficie del metal. Esta segunda etapa conduce cuando los núcleos se hunden y cubren toda la superficie. La tercera etapa es la llamada de engrosamiento del óxido resultante de este conglomerado de núcleos. Se trata de un proceso de nucleación homogénea que depende de la temperatura y de la presión del oxidante.

Supóngase que se expone una superficie metálica limpia a la acción del oxígeno a alta temperatura. El metal y el oxígeno comenzarán a reaccionar formando óxidos que, si no son volátiles, se acumularán sobre la superficie metálica. Al igual que con las películas delgadas, la primera etapa es la formación de núcleos y su posterior crecimiento.

## **LEYES DE LA CORROSIÓN QUÍMICA**

### **Ley de corrosión lineal.**

Si el grado de corrosión se expresa por la disminución de peso por unidad de área, se observa en este caso que la corrosión se propaga en forma lineal al tiempo.

### **Ley de corrosión de crecimiento parabólico.**

Una vez formada una capa de óxido adherente, el metal queda separado del oxígeno, y para que la oxidación pueda continuar, debe hacerlo por difusión a través de la película de óxido. De esta manera la velocidad de oxidación estará gobernada por la velocidad con que la especie reaccionó o sea transportada a través del óxido. La velocidad de aumento de espesor del óxido será inversamente proporcional al espesor del óxido ya formado.

Por medio de marcadores radiactivos se ha comprobado que en los metales comunes (cobre, hierro, cobalto, níquel), tanto en la oxidación como en la sulfuración, el crecimiento de la película se produce por difusión del metal hacia fuera del óxido o sulfuro. No se detecta movimiento del



oxidante hacia adentro. Cuando el metal puede preservar varias valencias, el óxido formado durante la oxidación suele ser bastante complejo.

Cuando un óxido metálico está en contacto con algunos de sus componentes (metal u oxígeno), no se puede llegar al equilibrio termodinámico a menos que el óxido deje de ser estequiométrico (es decir que tenga a alguno de sus componentes en exceso respecto a lo indicado por la fórmula química). A pesar de que al introducir un componente en exceso se consume energía, hay también un aumento rápido de la entropía del sistema. El resultado de ambos procesos hace que la energía libre presente un mínimo para un cierto grado de no estequiometría. En dicho punto se alcanza el equilibrio termodinámico.

### **ÓXIDOS TIPO $-p$**

Conducen la electricidad por movimiento de huecos de electrones (portadores o huecos positivos).

En todos los óxidos del tipo  $-p$  la concentración de defectos, y por ende la conductividad, aumenta al aumentar la presión de oxígeno. Pertenecen a este tipo los siguientes óxidos: FeO, CoO, Ag<sub>2</sub>O, MnO, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Tl<sub>2</sub>O, etc.

### **ÓXIDOS TIPO $-n$**

El ZnO no estequiométrico conduce la electricidad por movimiento de electrones libres (portadores negativos) y la conductividad es el tipo  $-n$ . Los óxidos del tipo  $-n$  presentan una disminución en la conductividad eléctrica al aumentar la presión del oxígeno. Pertenecen a este tipo también los siguientes óxidos: TiO<sub>2</sub>, CdO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ThO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, MoO<sub>3</sub>, BeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.

### **PROTECCION POR METALIZADO.**

En ciertos casos el método de protección por oxidación selectiva no es aplicable, sea por razones económicas o por razones prácticas. En dichos casos es posible lograr una protección similar aplicando un recubrimiento superficial del metal a proteger. El recubrimiento puede obtenerse por proyección, por inmersión en el metal fundido, por depósito electrolítico, o por alguno de los métodos de difusión superficial a partir de fases sólidas gaseosas.

A alta temperatura, los materiales metálicos metalizados tienen una vida útil menor que las aleaciones que se pretenden reemplazar. Esto se debe a que a alta temperatura el aleante de la superficie se irá difundiendo hacia el interior del metal base, empobreciendo así la superficie y reduciendo su resistencia a la oxidación.

Los métodos de protección por recubrimiento se vienen aplicando también a metales refractarios tales como el molibdeno, wolframio, tantalio, o niobio, cuando se requiere trabajar a temperaturas muy altas. Exigencias de este tipo se encuentran en los materiales usados en toberas de cohetes y motores de reacción.

### **CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA. [8]**

Es un proceso espontáneo que denota siempre la existencia de una zona anódica (la que sufre la corrosión) una zona catódica y un electrolito, y es imprescindible la existencia de estos tres elementos además de una buena unión eléctrica entre ánodos y cátodos para que este tipo de corrosión pueda tener lugar. A la temperatura ambiente la forma de corrosión más frecuente y más seria es la de índole electroquímica.

En los procesos de corrosión electroquímica sucede que, en general, circulan sobre el material expuesto a corrosión corrientes eléctricas que originan el ataque. Las causas más frecuentes son:

1. Dos o más metales distintos en contacto (corrosión galvánica). Tal como ocurre con el aluminio en contacto con el cobre o con el grafito.
2. Presencia de fases diferentes en una misma aleación. Por ejemplo: aleaciones termotratables de aluminio, aceros inoxidable sensibilizados, etc.
3. Presencia de capas de óxidos conductores de electrones. Por ejemplo: óxidos de laminación de chapas de hierro, o capas de aceite carbonizado en el interior de tubos de cobre.

4. Diferentes grados de aereación de una pieza metálica. Se observa que la zona en la que escasea el oxígeno se comportan como ánodos cuando están unidas a otras zonas con buena aereación.
5. Corrientes inducidas por circuitos eléctricos mal aislados. Tal es el caso de las corrientes vagabundas en estructuras metálicas enterradas.
6. Presencia de oxidantes en el medio, que causan la disolución electroquímica de un metal aun cuando este sea puro, sin segundas fases, y aislado de otros metales.

Al sumergir un metal en una solución acuosa se inicia un intercambio continuo de iones metálicos entre la fase metálica y la fase acuosa. La velocidad de intercambio en una dirección no será igual al de la otra. Predominará la que disminuya la energía libre del sistema.

Tratándose de partículas cargadas, el paso de iones del metal a la solución creará una diferencia de potencial en la interfase metal-solución, que al ir aumentando, se opondrá el paso de nuevos iones. Finalmente se alcanzará una diferencia de potencial en la cual la variación de energía libre por paso de iones del metal a la solución o de la solución al metal será nula. Se habrá alcanzado el equilibrio termodinámico.

La medida directa de la diferencia de potencial entre el metal y la solución es experimentalmente impracticable. En cambio resulta factible formar una pila con dos electrodos y medir la diferencia de potencial entre ambos. Por eso se buscó un electrodo cuyo potencial fuera fácilmente reproducible y se tomó como patrón. Se eligió para este fin el electrodo normal de hidrógeno, que consiste en una lámina de platino platinada, sumergida en una solución ácida, de actividad de hidrógeno igual a 1,0 M ( $\text{pH}=0$ ), y sobre la cual se hace burbujear hidrógeno igual a la presión de 1 atmósfera. Por convención se asigna a este electrodo, a cualquier temperatura, el potencial cero. De esta manera el potencial de los demás electrodos está dado por la pila que forman estos con el electrodo de hidrógeno.

La energía libre de un sistema electroquímico varía al variar la concentración iónica en la solución, del mismo modo varía el potencial de electrodo.

## **PILAS**

Al unir dos electrodos diferentes se forma una pila. Sean por ejemplo cobre y cinc metálico en soluciones que contengan sus propios iones.

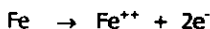
Si se unen ahora los metales con algún buen conductor electrónico, por ejemplo, un alambre de cobre, se tendrá una pila en cortocircuito, y la cantidad de corriente que circula estará determinada por la resistencia del electrólito y la diferencia del potencial entre las soluciones adyacentes a los electrodos.

Sobre el electrodo de cobre tendrá lugar una reacción catódica de depósito de iones cobre:

$Cu^{++} + 2e^{-} \rightarrow Cu$ , en tanto que sobre el electrodo de cinc tendrá lugar la reacción anódica de disolución del metal:  $Zn \rightarrow Zn^{++} + 2e^{-}$ . El electrodo de cinc se corroerá. La corriente que circule será una medida de la velocidad de reacción en ambos electrodos, y en este caso, si hay otras reacciones que interfieran la velocidad anódica de disolución puede ser igual a la velocidad catódica de depósito.

## **REACCIONES ANÓDICAS**

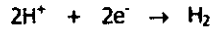
De las numerosas reacciones anódicas posibles, las que interesan en corrosión son las de disolución del material afectado. O sea el paso de iones metálicos de la red metálica al medio corrosivo.



El paso directo de iones de la red metálica a la solución, tal como la ecuación anterior, es relativamente raro. En general el proceso de disolución de un metal suele ocurrir por etapas más o menos complejas, y la ecuación anterior muestra sólo al estado inicial y final.

## REACCIONES CATÓDICAS. [9]

Una de las reacciones catódicas importantes, en especial en los casos de corrosión en medio ácido o en ausencia de oxígeno, es desprendimiento de hidrógeno:



EL hidrógeno formado en esta reacción puede desprenderse y pasar al medio ambiente o puede ser adsorbido por un metal en proceso de corrosión. En el segundo caso el metal puede formar hidruros o fragilizarse.

En general la reacción para un metal en disolución ( $\text{M} \rightarrow \text{M}^{n+}$ ) impulsa a la reacción catódica  $\text{O} \rightarrow \text{R}$ .



M= METAL

O= oxígeno

$n^+$  = múltiplo de la carga

R= especie reducida

Algunos ejemplos de estudio en corrosión son:

El efecto del gas tungsteno al soldar una microestructura y la corrosión electroquímica de aleaciones de Al-Zn-Mg-Fe (fabricado, endurecido y viejo) se sometieron a diferentes tratamientos de temperatura, y se han estudiado usando microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía electrónica de transición (TEM) voltametría cíclica y medidas de potencial de corrosión en soluciones de dururo. Las técnicas electroquímicas fueron muy sensibles hacia el cambio en las composiciones de fase producidas por la soldadura. La soldadura causa una disminución en el tamaño del grano, en la dureza y en la resistencia a la corrosión.[10]

La interacciones entre la corrosión y el percebe se han estudiado en dos aceros inoxidables (UNS S31803 y UNS S32760), en un acero inoxidable austénico (UNS S31354), una base de aleación de níquel (UNS N06625), y una base de aleación de cobalto (UNS R30006) en una prueba a largo

plazo afuera del agua de mar natural de la costa al oeste de Escocia. Después de un período de 18 meses de exposición, los especímenes se contaminaron fundamentalmente con percebes y mejillones y todos los materiales exhibieron una grieta de corrosión en el espécimen/interfase resina, aunque este era menos extensivo en la aleación de níquel . La corrosión localizada es observada dentro de la fase de los percebes vivos en UNS S31603 del acero inoxidable. La corriente electroquímica directa en las pruebas anódicas y de polarización después de 18 meses del período de exposición producen usualmente elevadas corrientes en el intervalo de potenciales entre el valor libre de corrosión y rompe la resistencia del potencial.

Las corrientes más altas están asociadas con el aspecto, después de la polarización anódica, desde el sulfato negro producto de la corrosión al espécimen/las fisuras de la resina, alrededor de los percebes y alrededor de los filamentos de los mejillones.[11]

Una de las técnicas electroquímicas en el estudio de la corrosión es el ruido electroquímico, para el que se presenta el siguiente apartado.

### **RUIDO ELECTROQUÍMICO**

Durante los últimos veinte años, la técnica de ruido electroquímico ha sido desarrollada como una herramienta poderosa en estudios de corrosión. Muchos grupos dedicados al estudio de este fenómeno la están usando como una técnica electroquímica estándar en los laboratorios. [12]

Al presentarse una reacción de corrosión, se generan espontáneamente oscilaciones del potencial de corrosión y/o de la corriente de corrosión. Estas variaciones son lo que se denomina ruido electroquímico (EN). Esto puede medirse bajo condiciones de corrosión libre y polarizada, siendo la primera mejor para el seguimiento de la corrosión y la segunda para el estudio del proceso mismo de corrosión. Al medir el ruido electroquímico en un circuito abierto, el sistema no es afectado por ningún voltaje externo o fuentes de corriente, por lo tanto no se inducen otros efectos corrosivos. Aunque ninguna teoría ha surgido acerca del origen y el mecanismo de las oscilaciones antes

mencionadas, se ha dado mucha importancia al fenómeno de ruido electroquímico. Este fenómeno ha sido estudiado en varios tipos de corrosión: corrosión uniforme, corrosión por picaduras, corrosión galvánica, pasividad, en la evaluación de inhibidores de corrosión (como recubrimientos), bajo condiciones hidrodinámicas, así como en el seguimiento de la corrosión en las plantas industriales. [12]

Las mediciones de ruido electroquímico se pueden obtener utilizando instrumentación digital bajo condiciones de corrosión libre o polarizada. Sin embargo, el ruido electroquímico se refiere a la condición de corrosión libre, ya que en ella no se imponen perturbaciones externas en el electrodo y los cambios naturales de potencial y corriente originados por los procesos de corrosión pueden ser observados. [12]

Un área de la electroquímica que se ha visto beneficiada con la aparición del ruido electroquímico es la corrosión, particularmente la corrosión localizada, que ya empieza a tener sus primeras aplicaciones prácticas en la ingeniería al realizarse estudios de corrosión en precalentadores de aire regenerativo de centrales termoeléctricas [14], corrosión bajo tensión [18] inhibidores de corrosión [15,16] y por supuesto en recubrimientos. [18]

El ruido electroquímico se clasifica en dos tipos:

- a) Ruido en potencial. Que corresponde a las fluctuaciones de potencial.
- b) Ruido en corriente. Correspondiente a las fluctuaciones de corriente. [19]

El ruido electroquímico en potencial consiste en registrar los cambios de potencial del metal que está sufriendo la corrosión en el voltímetro digital controlado por una computadora para obtener así las series de tiempo vs potencial. Algo que debe tenerse muy presente, es que la información contenida en las series de tiempo es muy versátil, dado que dependiendo del análisis que se realice, se puede tener diferente información, desde la velocidad de corrosión hasta la dinámica involucrada. También se puede combinar con las corrientes de ruido, en corriente acoplando los electrodos nominalmente idénticos a través de una resistencia cero. Los registros simultáneos

existentes entre el electrodo y la cinética de corrosión del sistema. [12]. Cuando se ejerce un control potencioestático sólo es posible realizar un ruido en corriente y cuando en el control galvanostático sólo se puede determinar el ruido en potencial. En condiciones de circuito abierto se pueden aplicar ambos tipos de ruido y la combinación de ambos ha dado excelentes resultados para el monitoreo de corrosión uniforme. [20].

Los valores obtenidos a partir de estas mediciones, pueden ser tratados con métodos estadísticos de análisis, desde los más simples hasta los más complicados, que incluyen análisis no lineales que contemplan la teoría del caos; así como mediante análisis espectrales, en los cuales se realizan diversas manipulaciones de la transformada de Furier, para obtener así una serie de gráficas que pasen la señal de ruido electroquímico del dominio del tiempo al de la frecuencia. [18]

El ruido de los sistemas electroquímicos es similar al ruido observado en los aparatos electrónicos, por tanto, sus características son algunas veces comparadas. El análisis del ruido electroquímico incluye, como se acaba de mencionar, el método estadístico de las oscilaciones estocásticas para la evaluación de la proporción de corrosión uniforme y corrosión localizada, o el grado de actividad localizada. Alternativamente, se utiliza el método espectral (transformaciones de dominio utilizando la FFT o Fast Furier Transform) que provee información acerca del tipo y mecanismo del proceso de corrosión.

Un ejemplo de estudio en ruido electroquímico es el siguiente:

En un electrodo de alambre de viga (WBE) se ha estudiado el método de resistencia de ruido electroquímico para determinar la uniformidad de la cinética de corrosión de un acero en bióxido de carbono en salmuera saturada. Los parámetros electroquímicos locales incluyendo el potencial de corrosión, corriente galvánica y resistencia de ruido electroquímico se midieron desde una superficie local de WBE. Estos parámetros se usaron para calcular la cinética de los procesos de corrosión electroquímica. La profundidad de la corrosión se calculó con base al porcentaje de datos, en varias tablas desde el inicio de exposición de la corrosión, y estos se resumieron para producir la



profundidad de la corrosión acumulada. Ésta se encontró para tener datos cualitativos observados con un microscopio.

La cinética de corrosión electroquímica puede determinarse usando ecuaciones cinéticas. Se demuestra que el WBE es un electrodo novedoso y el diseño es apropiado para desempeñar medidas de resistencia de ruido electroquímico.[13]

Algunos de los Investigadores entrevistados dedicados en su mayor parte al estudio de la corrosión son los siguientes:

## JOSE M. COSTA

Catedrático de Química Física, departamento de Química Física, Universidad de Barcelona, José M. Costa, nació el 01 de Septiembre de 1932, Tarragona, España realizando sus estudios de licenciatura en la Universidad de Barcelona, obteniendo su título de doctor en Ciencias también en la Universidad de Barcelona. Ampliando los mismos en la Universidad de Padua, Italia, Research Fellow, Universidad de Cambridge, Inglaterra.

Su interés en la electroquímica surgió durante sus estudios de licenciatura y en especial en ocasión de un curso de polarografía en la Universidad de Padua, Italia, quien fuera dirigido por el profesor Semerano y con la participación de los profesores Berg, Breyer, Delahay, y Kemula, entre otros.

Ha incursionado en el estudio de las reacciones de iones complejos mediante métodos electroquímicos, fenómenos de solvatación principalmente en disolventes no acuosos, reacciones electroquímicas en compuestos orgánicos halogenados, corrosión electroquímica de metales y efecto de inhibidores, corrosión atmosférica, simulación de procesos electroquímicos por ordenador, fenómenos de no-equilibrio y estructuras fractales en electrodeposición y en corrosión.

A través de su experiencia y trayectoria en este campo ha podido observar los avances de la electroquímica y entre otros tantos nos menciona los siguientes: la pila galvánica, ecuación de Nernst, ecuación de Tafel, introducción de electrodos de gotas de mercurio, polarografía, estructura de la doble capa electroquímica y la ciencia electródica, introducción del potencióstato y utilización de las monotécnicas.

Ha participado en 184 trabajos de investigación, 11 capítulos de libros, autor de 5 libros.

Ha sido miembro de varios comités dentro de este campo de la electroquímica.

Siendo todo ello un mundo lleno de conocimientos y que para ello nos dice una frase para las futuras generaciones: "La electroquímica ha contribuido al acervo cultural y desarrollo tecnológico de la humanidad".

Al doctor Costa lo ha caracterizado su entusiasmo por el avance científico de la electroquímica y sus posibilidades de aplicación a las nuevas tecnologías energéticas y medio ambientales.

## JOAN GENESCÁ LLONGUERAS

Joan Genescá Llongueras nació el 6 de Julio de 1949 en España, sus estudios los realizó en el Instituto Químico Sarriá, Universidad Ramón Llull, Barcelona España.

Su interés por la electroquímica fue muy tardío, en su quinto año de estudios de Ingeniería, gracias a las magistrales clases de Electroquímica del Dr. Luis Victori, surgió su gusto por esta ciencia. Más tarde el Dr. Victori sería su asesor en la tesis de licenciatura y doctorado.

Sus aportaciones a la Electroquímica, se han enfocado a la formación de recursos humanos en el ámbito de la licenciatura, maestría y doctorado.

Ha contribuido a la difusión y divulgación de la naturaleza electroquímica de la corrosión a través de los libros "Mas allá de la Herrumbre" de la Colección La Ciencia desde México, Fondo de Cultura Económica (FCE).

Sus investigaciones han sido enfocadas a la formación de óxidos en el paladio.

En el estudio de la electroquímica de los metales nobles, dado que no se corroen, lo importante es como se oxidan. Todos los metales nobles forman óxidos, en el caso del paladio, cuando trabajó el Dr. Genescá con el Dr. Victori, se había determinado que había tres óxidos en el paladio, lo importante era estudiar que importancia tenía cada uno de los óxidos por separado y cuando estuvieran juntos, que propiedades catalíticas tenían respecto a cualquier reacción que pudiera soportar el electrodo de paladio, como el desprendimiento de cloro y oxígeno, estudiar las capacidades catalíticas, o sea, si un electrodo de Paladio mejoraría la eficiencia respecto a otros electrodos para desprender oxígeno y cloro, electrodo ver apéndice. Este fue el trabajo que después realizó con aleaciones Paladio—Oro con la maestra Silvia Tejada y la Dra. Ma. Eugenia Gamboa, el objetivo de este estudio era ver que propiedades catalíticas tienen estas aleaciones y estos óxidos ya que son muy importantes desde el punto de vista de la Ingeniería Electroquímica los óxidos de metales nobles.

Se han utilizado otros metales como el titanio, pero en el tiempo en que él los trabajó, alrededor de los años 80, básicamente se estudiaban los metales nobles y el paladio era de los metales nobles más barato, siendo que tenía las mismas propiedades catalíticas que el platino, para la reacción del oxígeno y la reacción del cloro, mejorando la eficiencia pudiendo tener un impacto industrial muy grande, y este fue el objetivo de estudiar los óxidos de paladio.

El estudio del Paladio fue una investigación básica y no demostró tener la eficiencia catalítica que tenía el platino, pese a que el platino sigue siendo más caro se sigue utilizando así como algunos otros metales nobles.

Otra de sus investigaciones importantes ha sido el estudio de la disolución del magnesio cuando actúa como ánodo de sacrificio, ver **apéndice**. En este estudio el Dr. Genescá comenta lo siguiente: El magnesio cuando actúa como ánodo de sacrificio es un elemento muy importante por su aplicación, puesto que todos los ductos de PEMEX están enterrados en el suelo y están protegidos con ánodos de Magnesio, este tipo de sistema se traduce en una protección catódica con ánodos galvánicos ó protección catódica con ánodos de sacrificio, estos ánodos tradicionalmente han tenido, debido a que los ánodos de magnesio producen aleaciones, una eficiencia muy baja, siendo esta la cantidad de corriente que pueden mandar a través de su disolución en el medio en que están para proteger al ducto, en este caso la eficiencia es del 50%, sin embargo, los ánodos que estaba comprando Petróleos Mexicanos tenía una eficiencia más baja, del orden del 20 ó 30%, y se quería saber porque tenían estas eficiencias. Este estudio se enfocó para saber cual era el mecanismo mediante el cual a través de la disolución del magnesio se protege la estructura metálica que se desea conservar, al disolverse el magnesio genera iones y los electrones van a parar a un conductor electrónico de cobre, a un cátodo de acero y así se tiene protegido al acero, una pregunta que surge al respecto es ¿Cuál es el mecanismo que nos permite entender exactamente el proceso de disolución del magnesio para intentar mejorar la calidad de los ánodos de magnesio?. El objetivo de la investigación era probar con diferentes normas y evaluar los ánodos, ver **apéndice**, y conociendo el mecanismo poder proponer técnicas para mejorar los ánodos de Mg. Ese sería un aspecto muy técnico, muy tecnológico porque eso es algo que PEMEX

utiliza, y lo utiliza mucho, lo que sucedía es que se quejaban ellos de que la eficiencia era muy baja.

Los ánodos de Mg tienen aplicación en cualquier conducto que transporte petróleo enterrado en el suelo, dicho de otra manera, la norma que actualmente utiliza PEMEX para aceptar o rechazar un lote de ánodos es debido al trabajo que se realizó, PEMEX ya no compra ánodos de Mg que no avalen esta investigación, lo hicimos porque conocimos el problema y se llevó a cabo la investigación, y ahora de alguna manera PEMEX está fijando esta condición para poder comprar un lote de ánodos de magnesio, o sea ahí donde haya un ducto de acero enterrado y protegido catódicamente con ánodos de Mg. Las citas bibliográficas respecto de este estudio se citan en el anexo II.

Otra de las investigaciones que está realizando el Dr. Genescá consiste en la preparación de un nuevo ánodo de sacrificio para las plataformas Petroleras del Golfo de México, y lo explica de la siguiente manera: "este material es una aleación de Aluminio-Zinc-Magnesio. Los ánodos que utiliza actualmente PEMEX son aleaciones Aluminio-Zinc-Indio y Aluminio-Zinc-Mercurio, ahí el problema es que tanto el indio como el mercurio son elementos muy tóxicos que al disolverse estos ánodos, metales tóxicos, van a parar al agua de mar contaminando el Golfo de México. El nuevo ánodo, si funciona, lo que se disolvería en el mar sería Zinc y Magnesio que son elementos que están presentes en el agua de mar.

La aleación, continúa, la está preparando un colega del instituto de materiales y aquí lo vamos a probar técnicamente, pero estamos en proceso de prueba o sea, no se sabe aún que resultado pueda tener. No podemos decir que sea una aplicación porque no sabemos aún si funcionará o no.

Otra de sus investigaciones es todo lo que tiene que ver con la inspección y diagnóstico de estructuras de concreto reforzado. El Dr. Genescá junto con su grupo de trabajo a propuesto varias técnicas para evaluar varios edificios de Ciudad Universitaria, el Puente de Ciudad del Carmen y recientemente el edificio de la ex - escuela de Odontología para saber cómo está la estructura de concreto reforzado, es decir, como está la varilla".

En corrosión atmosférica también ha realizado muchas cosas, como técnicas para poder evaluar que tan agresiva es una atmósfera bajo normas ISO 9000, todo esto se ha desarrollado en el laboratorio.

El Dr. Genescá considera que los avances más importantes en el campo de la Electroquímica del siglo XX en el área de corrosión metálica, ha sido la teoría Electroquímica de la Corrosión que llevó a la teoría del potencial mixto y a la aplicación de la Cinética Electroquímica para el estudio de los mecanismos de los procesos de corrosión, y la aplicación de las técnicas Electroquímicas al estudio de la Corrosión.

A la juventud, el Dr. Genescá les diría, parafraseando al Poeta: "Caminante no hay camino, se hace camino al andar". "La lucha diaria, cotidiana, constante es la que nos lleva a conseguir nuestros objetivos. La perseverancia y sobre todo la humildad deben acompañarnos siempre. Se cortés y amable con los demás. Comparte los conocimientos. Haz altos en tu camino y contempla lo que te rodea".

El Dr. Genescá dice acerca de los premios: No he recibido ni creo merecer ningún premio, aunque suena a falsa vanidad, el mejor premio que pueda recibir es ver el éxito y superación personal de mis alumnos. Muy especialmente que me superen ampliamente en cuanto a conocimientos. Sólo así tendré la tranquilidad de haber sido un buen profesor. Las gracias, el saludo, que da un estudiante al paso de los años es el mejor reconocimiento.

## **JORGE URUCHURTU CHAVARÍN**

Nació el 28 de Septiembre de 1952, Ingeniero en Comunicaciones y Eléctrica en la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Instituto Politécnico Nacional, la maestría la realizó en Control de Contaminación y Medio Ambiente (UMIST) en la Universidad de Manchester, Inglaterra, obteniendo el grado de Doctor en Ciencias de la corrosión en la misma Universidad.

Su interés en la Electroquímica, nos explica, fue por casualidad ya que al regresar de estudiar la maestría e ingresar al Instituto de Investigaciones Eléctricas en el departamento de impacto ambiental, "me involucre en un proyecto acerca de los efectos de la contaminación atmosférica en equipos eléctricos, esto obviamente esta relacionado con la corrosión atmosférica y al año siguiente regresé a realizar el doctorado en corrosión donde mi tesis doctoral fue en el área de técnicas electroquímicas".

Sus aportaciones a la electroquímica se han enfocado a la utilización del método de ruido electroquímico como técnica experimental de laboratorio, y como técnica de "monitoreo" de la corrosión en tiempo real en procesos industriales, utilizando sensores con el material de interés y midiendo las oscilaciones de voltaje y corriente en función del tiempo.

El Dr. Uruchurtu considera que los avances que se han tenido en la electroquímica se han beneficiado grandemente por el desarrollo de la electrónica y la informática contribuyendo estos campos de la ciencia, con equipos de medición más sensibles, precisos y económicos, con lo que se ha logrado un gran crecimiento de la electroquímica en los últimos 30 años.

El Dr. Uruchurtu aconseja a los estudiantes, "Que si deciden estudiar una carrera la escojan y la hagan pensando en el gusto por estudiar y aprender para obtener un conocimiento como experiencia personal en el tema de su preferencia, y no que el móvil sea la obtención de un beneficio económico".



El Dr. Uruchurtu es investigador de tiempo completo del Instituto de Investigaciones Eléctricas, ha sido profesor en la Universidad Nacional Autónoma de México y en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Atzacapotzalco, ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1986.

## CAPÍTULO 3

### SEMICONDUCTORES

Los sólidos se pueden clasificar como: metales, semiconductores o aislantes dependiendo de su conductividad. Los semiconductores son elementos o sustancias químicas cuya conductividad eléctrica es intermedia entre un metal y un aislante. [2]

La característica fundamental de un semiconductor es la fuerte dependencia de su conductividad con la temperatura; es prácticamente aislante cerca del cero absoluto, pero a altas temperaturas tiene una conductividad electrónica mayor. La conductividad eléctrica es el movimiento de la carga eléctrica de un lugar a otro. Como la carga puede ser llevada por iones o por electrones, cuya movilidad variará en los distintos materiales, hay un "espectro" completo de conductividades, que varía desde los metales, altamente conductores, hasta materiales casi aislantes perfectos. [21]

Fig. 2

La conductividad específica se mide en  $\text{Sm}^{-1}$  (Siemens, S= conductancia eléctrica en sistema SI).

Para un semiconductor los valores oscilan entre  $10^3$  y  $10^9 \text{ Sm}^{-1}$  en comparación con los valores de  $10^7$  para los buenos conductores y  $10^{-17}$  para los buenos aislantes.

La resistividad eléctrica (o sea el inverso de la conductividad) de los semiconductores también depende de la presión y de la frecuencia de la radiación electromagnética, así como de la pureza y la perfección de sus estructuras cristalinas.

Por ejemplo, la resistividad del sulfuro de cadmio (CdS) disminuye tres órdenes de magnitud ( $10^3$  veces menor de su valor original) cuando se le añade tan sólo el 0.01% de una impureza. El Si y el Ge comprenden los dos semiconductores monoatómicos más importantes y se emplean extensamente en dispositivos como rectificadores y transistores, pero existen muchos compuestos binarios útiles. Ellos pueden ser clasificados ampliamente de acuerdo a las combinaciones de diferentes grupos. De interés para la fotoelectroquímica son los semiconductores de los grupos 13-

15 (Al, Ga, In, + As, P, Sb) los grupos 12-16 (Zn, Cd + O, S, Se, Te) y los grupos 6-16 (Mo, W, + S, Se, Te). Muchos óxidos metálicos también se comportan como semiconductores; ejemplo típicos son  $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $SnO_2$ ,  $FeO_3$  Y  $Cu_2O$ . Se conocen también combinaciones ternarias pero son poco usadas. [22]

Los semiconductores más eficientes son por lo general piezas monocristalinas pero debido a su alto costo, resulta poco atractivo intentar su fabricación a nivel comercial, de aquí ha surgido el interés por realizar investigaciones para poder utilizar a los electrodos de material cristalino. Existe también un grupo de materiales orgánicos que exhiben propiedades semiconductoras como por ejemplo: el cloruro de polivinilo, el polietileno, el polipirrol, y las ftalocianinas.

Otros compuestos en la actualidad son los materiales amorfos debido a su bajo costo para construirlos en comparación con los materiales monocristalinos. [2]

Para poder comprender los fenómenos que ocurren en los procesos de los dispositivos semiconductores, es necesario mencionar los fundamentos del modelo de bandas de energía.

## **BANDAS DE ENERGÍA**

Los sólidos están formados de un arreglo infinito de átomos enlazados covalentemente. Cada átomo consta de niveles de energía. Si dos átomos A se enlazan, la teoría del orbital molecular dice que cada uno de los niveles atómicos se divide en dos niveles moleculares de energía. Al considerar un orden de  $10^{23}$  átomos en un sólido, los niveles se agruparán formando bandas de energía. Dentro de cada banda la separación entre los niveles se considera como un continuo. Ahora bien, cada banda de energía tiene un límite superior y uno inferior. Éstas están separadas por una brecha libre de niveles de energía en donde los electrones pueden pasar del límite inferior al superior o viceversa, pero no pueden permanecer ahí.

En el lenguaje de la física del estado sólido, la banda de mayor energía y que se encuentra más ocupada de electrones, es la banda de valencia (capa inferior denotada por  $B_v$ ) y la banda de menor energía (capa superior) que se encuentra vacía o poco ocupada se llama banda de

conducción denotada como  $B_c$ . Las bandas correspondientes a los niveles de energía de las capas inferiores son en general mucho más estrechas que las capas superiores, ya que en ellas los fenómenos de interacción son más marcadas que en las superiores. Un parámetro extremadamente importante en la banda de valencia prohibida ( $E_g$ ) definida como la separación entre los límites de las bandas de conducción y de valencia. Se expresa usualmente en las unidades de energía de electrón volts (e.v.).

La banda prohibida distingue a los semiconductores de los aislantes. En general los sólidos con  $E_g$  entre 3.5 y 0.3 e.v. son considerados semiconductores mientras que los aislantes tienen  $E_g$  mayores de 4 e.v. lo que da lugar a que los electrones requieran energías excesivamente grandes para ser excitados a la banda de conducción.

Remover un electrón de la banda de valencia crea una posible vacante de carga llamada hueco. El hueco puede ser considerado como una entidad móvil porque al quedar en lugar del electrón, otro nuevo electrón de la banda de valencia cubrirá su lugar y así sucesivamente pareciendo que es un hueco el que realmente se mueve. Al proceso global se le conoce como la formación del par-electrón-hueco.

Así, la corriente eléctrica puede ser transformada por cada electrón en la banda de conducción o por un hueco en la banda de valencia o por ambos tipos de carga transportada.

El mecanismo de carga puede ser generado por tres diferentes mecanismos.

1. Excitación térmica. Como la energía promedio a temperatura ambiente es 0.26 e.v. el mecanismo de excitación térmica sólo funciona para semiconductores con banda prohibida pequeña ( $E_g < 0.5$  e.v.).
2. Foto-excitación. De manera similar un electrón puede ser promovido de la banda de valencia a la de conducción por la absorción de un fotón de luz. Para la conducción es necesario que la energía del fotón exceda la energía de la banda prohibida ( $h\nu > E_g$ ). Por lo tanto, la energía de la banda prohibida fija la conducción para la absorción de fotones. La longitud de onda de la banda prohibida ( $\lambda_g$ ), se define de acuerdo a la siguiente ecuación:  $\lambda_g(\text{nm}) = 1240/E_g(\text{e.v.})$ . Las longitudes de onda más grandes que  $\lambda_g$  no son absorbidas por los semiconductores A

longitudes más pequeñas que  $\lambda_g$  los fotones resultan ser absorbidos dentro de una distancia corta de la superficie del semiconductor, resultando una mínima respuesta. Una consideración para elegir un semiconductor útil será el rango en el cual las longitudes de onda solares son absorbidas por los semiconductores.

3. Por medio de impurezas. El tercer mecanismo de generación de transporte de carga móvil es por medio de impurezas químicas. En este proceso se introducen nuevos niveles de energía en la banda prohibida. Estos nuevos niveles se producen por disturbios en la estequiometría del semiconductor o por sustituir un elemento ajeno en el retículo del mismo. El ejemplo típico es la inducción de los elementos del grupo III o V con los semiconductores del grupo IV. Existen dos tipos de impurezas: A) impurezas que donan electrones, que en el modelo de bandas se presentan como un nivel ( $E_d$ ) con energía ligeramente menor al nivel inferior de la banda de conducción. Este tipo de semiconductores se llaman extrínsecos tipo-n, para indicar el exceso de portadores negativos generados por las impurezas donadoras; B) impurezas que aceptan electrones que al igual que los donadores, forman un nivel ( $E_a$ ) pero con energía ligeramente mayor al nivel superior de la banda de valencia llamado extrínseco tipo-p.

En el caso de que se hable de materiales con estructura cristalina perfecta, se dice que es un semiconductor intrínseco (con el mismo número de electrones en la banda de conducción y de huecos en la banda de valencia).

### **SEMICONDUCTORES TIPO p Y SEMICONDUCTORES TIPO n**

Cuando a un material semiconductor se le adicionan átomos de diferente valencia, como por ejemplo si al silicio se le adicionaran átomos de fósforo (P), antimonio (Sb) o arsénico (As) cuya valencia es 5, se dirá que el cristal está siendo impurificado o dopado, y en este caso se dirá que el semiconductor resultante será un material dopado tipo n (de negativo). Esto se debe a que los electrones de valencia de los átomos impurificadores, llamados "átomos donadores", cumplirán los enlaces covalentes, pero quedará un electrón sin enlace prácticamente libre en la banda de conducción.

En el caso anterior la adición de átomos pentavalentes se considera un incremento de electrones como portadores de carga al material; también puede hacerse la impurificación con átomos trivalentes como el aluminio (Al) o el boro (Br) y en este caso los enlaces covalentes no son satisfechos y se considerará como una adición de huecos al material, y se conocerá al material como de tipo p y a los átomos impurificadores se los conoce como átomos aceptadores.

### **EFFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LA CONDUCTIVIDAD.**

La densidad de los portadores también es sensible a la temperatura ya que los electrones de conducción y los huecos se originan por oxidación térmica. Con respecto a la variación de la densidad de los portadores con la temperatura en un semiconductor, tienen aplicación las siguientes aseveraciones cualitativas:

- 1) A temperatura ordinaria los electrones pueden ser excitados desde los niveles donadores a la banda de conducción o desde la banda de valencia a los niveles aceptadores, porque la energía requerida para realizar este proceso es relativamente pequeña. La excitación directa desde la banda de valencia a la conducción es casi nula.
- 2) A medida que la temperatura asciende, los niveles donadores pueden quedar exhaustos a los niveles aceptores saturados, ya que estos niveles contienen generalmente nuevos estados que las bandas de conducción o de valencia. La conducción de los portadores se vuelve entonces más intensiva al aumentar la temperatura.
- 3) A temperatura aún más elevada, los electrones son excitados desde la banda de valencia a la de conducción en cantidades apreciables, ya que ahora hay suficiente energía térmica disponible. Las cantidades iguales de electrones y huecos que son liberados, exceden sustancialmente al número limitado de portadores extrínsecos. En consecuencia, la conducción se vuelve intrínseca.

Para materiales extrínsecos con base de germanio, el intervalo de energía para la conducción intrínseca es de 0.72 e.v. y el límite superior para la conducción extrínseca está alrededor de

100°C. Para materiales extrínsecos basados en el silicio, el intervalo es de 1.1 e.v. y la conducción extrínseca es posible hasta 200°C.

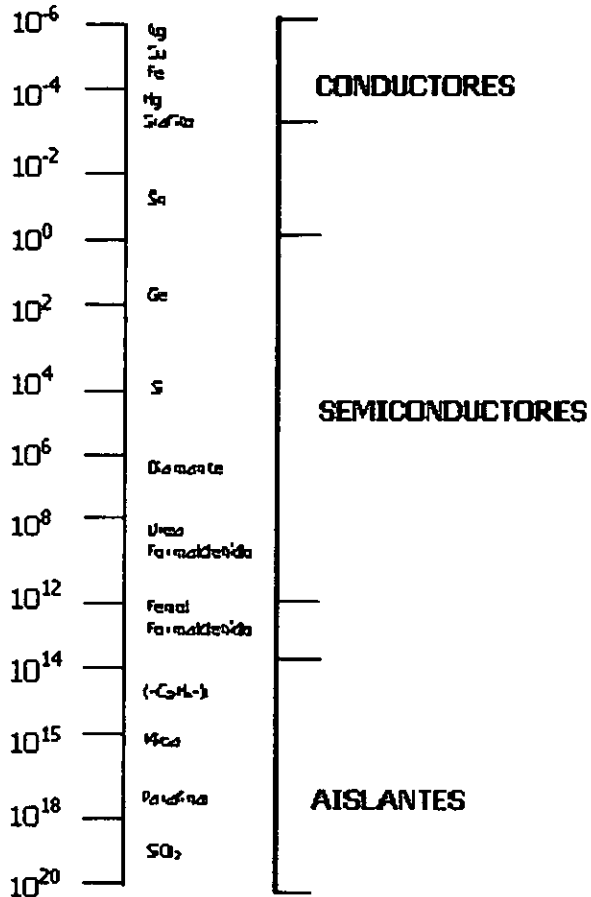


FIG.2 RESISTIVIDAD OHM CM (ESCALA LOGARITMICA)

## **APLICACIÓN DE LOS SEMICONDUCTORES**

**Termistor.** Es un dispositivo detector electrónico. Es un resistor cuyo valor cambia en respuesta a la temperatura. Algunas aplicaciones lógicas para los termistores incluyen termómetros electrónicos y termostatos para el control preciso de la temperatura. También se pueden utilizar en alarmas contra incendios.

**Termistores.** La conductividad de los semiconductores se incrementa con la temperatura. Conociendo la relación entre la conductividad y la temperatura, puede utilizarse un semiconductor para medir la temperatura. Los termistores tienen también otros usos, incluyendo su uso como alarma contra incendio, cuando el termistor se calienta, pasa una corriente mayor a través del circuito y activa la alarma.

**Transductores de presión.** Las estructuras de bandas y la banda de energía son una función del espaciado de los átomos en el material. Cuando se aplica presión al semiconductor, los átomos son forzados a acercarse, la banda se disminuye y la conductividad se incrementa. Si se mide la conductividad, puede calcularse a la vez la presión que actúa en el material.

**Rectificadores (Dispositivos p-n).** Los rectificadores convierten la corriente alterna en corriente directa y se producen uniendo un semiconductor tipo-n con un tipo-p, formando una unión p-n. Los electrones se mueven hacia la unión tipo-n mientras que los huecos se mueven hacia la unión tipo-p. El desequilibrio electrónico resultante crea un potencial de contacto a través de la unión.

**Transistores.** Presentan propiedades de amplificación o control de corrientes eléctricas muy pequeñas que han ido desplazando a los tubos de vacío (bulbos) [2] en muchas aplicaciones. Un transistor, que se utiliza para amplificar señales eléctricas, es un dispositivo de tipo emparedado con materiales semiconductores n-p-n o bien p-n-p.



Celdas solares de estado sólido. Actualmente las celdas solares más usuales son las de silicio monocristalino, material semiconductor que es la base de los componentes eléctricos modernos, y uno de los que se tiene mayor dominio tecnológico. Las eficiencias de conversión a nivel de producción son del 13% en promedio y se han desarrollado prototipos de laboratorio que alcanzan la eficiencia límite teórica esperada para este material del 18%, [23] la eficiencia de conversión de energía de las celdas solares definida como la relación de potencia eléctrica obtenida sobre la irradiación incidente se calcula por medio de la ecuación:

$$\eta(\%) = \frac{(i_{max} V_{max}) 100}{P A}$$

$V_{max}$  e  $i_{max}$  son el voltaje y la corriente en el punto máximo de potencia. P es la potencia de radiación incidente (usualmente en  $mW/cm^2$ ) y A es el área de captación. Esta eficiencia llega a ser del orden de 10 al 25% dependiendo del material semiconductor utilizado y la estructura fotovoltaica empleada.

En México, en la sección de Electrónica del estado sólido del departamento de Ingeniería CIEA-IPN se realizan actividades de investigación sobre las celdas solares de Arseniuro de Galio, celdas de silicio policristalino masivo y en un futuro sobre las celdas de "silicio policristalino masivo calidad solar", así como actividades de desarrollo sobre los métodos y procesos de manufactura de celdas solares de silicio monocristalino y módulos de escala pilotos. Por su parte el Instituto de Materiales de la UNAM, realiza actividades de investigación en el campo de las celdas solares de  $Cu_2S/CdS$ ,  $Cu/Cu_2O$  y de estructuras fotovoltaicas de silicio amorfo.

Celdas fotoelectroquímicas [24]. Estas pueden transformar directamente la energía luminosa (posiblemente solar) en electricidad, pero también pueden ser diseñadas para promover reacciones químicas y almacenar así la energía luminosa en los productos de reacción. Esta última función obviamente no es factible en una celda de estado sólido. Las primeras investigaciones en celdas fotoelectroquímicas se enfocaron a la obtención de hidrógeno y oxígeno a partir de agua, utilizando

un electrodo semiconductor de dióxido de titanio tipo-n y un electrodo de platino. Actualmente esta reacción sigue siendo de interés, pero han aparecido muchas otras posibilidades que han conducido a una clasificación de las celdas en tres tipos:

1. *Celdas autorregenadoras llamadas también fotovoltaicas de unión líquida.* Son aquellas que transforman directamente la energía luminosa en energía eléctrica, sin cambio neto en las especies químicas presentes. El principio de estos sistemas es que las especies que se reducen en el cátodo son reoxidadas en el ánodo, por lo que el potencial generado en el circuito es únicamente debido a la energía luminosa incidente. Uno de los dispositivos más utilizados es el constituido por un electrodo de sulfuro de cadmio con una solución iónica de sulfuros y polisulfuros.
2. *Celdas fotoelectrosintéticas.* Son sistemas en los que la energía luminosa se utiliza para generar una reacción química obteniéndose productos de mayor energía que los reactivos iniciales (conversión y almacenamiento simultáneos). En esta categoría se incluyen celdas como la mencionada para obtener oxígeno e hidrógeno a partir de la fotoelectrólisis del agua. Esta reacción tiene una eficiencia teórica máxima de aproximadamente 25% si se realiza en una celda fotoelectroquímica, en comparación con sólo el 16% si se utiliza una fotocelda convencional en serie con una celda electrolítica.
3. *Celdas fotoelectroanalíticas.* Muchas reacciones químicas que desde el punto de vista energético pueden ocurrir en forma espontánea, en realidad se llevan a cabo a una velocidad tan lenta que para fines prácticos equivale a una ausencia de reacción, algunos de estos procesos pueden ser acelerados (catalizados) mediante la energía luminosa absorbida por el electrodo semiconductor.

Algunas ventajas de las celdas fotoelectroquímicas respecto a las tradicionales celdas del estado sólido son:

1. La formación de las uniones es más simple. La presencia del medio electrolítico contribuye a tener contactos de mayor área efectiva.

2. Es posible utilizar materiales policristalinos con eficiencia comparable a la de monocristalinos.
3. Mediante la producción de diversas especies químicas puede lograrse un dispositivo que simultáneamente transforme la energía y la almacene.

Algunos ejemplo de aplicación en semiconductores son:

Desde radios y teléfonos celulares hasta comunicaciones de satélite y aplicaciones inalámbricas pueden encontrarse casi donde quiera. Se ha discutido frecuentemente la competencia de las últimas tecnologías en este campo, para proveer la teoría y las aplicaciones prácticas y específicas de partes inalámbricas que se han integrado a circuitos. Apoyados con el software se diseñó sobre ésto un sitio ftp, donde contiene suficiente material sobre semiconductores, sistemas, y circuitos Inalámbricos integrados. [25]

El interés en el uso de materiales termoelectrónicos para los dispositivos de refrigeración y enfriamiento tienen una reciente intensificación a causa de la potencialidad de tales dispositivos para reducir el uso actual de clorofluorocarbon, tomando en cuenta la misión de enfriamiento de estos dispositivos, así como también para crear unos medios para enfriar rápidamente el funcionamiento de un superconductor operando a una temperatura de (77 °K). Ambos semiconductores y polímeros conductores están siendo investigados para futuras aplicaciones. Para tal propósito teórico los parámetros necesarios previsibles (coeficiente eléctrico y conductividades térmicas) es una gran guía para llevar acabo las investigaciones experimentales pertinentes.[26]

Conductividad electrónica de polímeros.

Recientemente que los semiconductores orgánicos, incluyendo algunos poliméricos, se observan como los materiales, que tienen como característica una mayor banda de energía son portadores de una baja movilidad y un bajo punto de fusión. La mayoría los de los semiconductores orgánicos deberían realmente marcarse como aisladores. En vez de ello se consideran como semiconductores porque su conductividad eléctrica aumenta exponencialmente con la temperatura y alguna de sus

otras propiedades se parecen a los semiconductores inorgánicos. El descubrimiento de estas propiedades en poli-acetilenos en 1977, ha aumentando el interés de la investigación en este campo.

Se están usando nuevos métodos sintéticos para evitar defectos en las cadenas de los polímeros, y así un poliaetileno pueda tener la misma conductividad del cobre ( $6105 \text{ Scm}^{-1}$ ). [27]

## **LA IMPORTANCIA DE LOS SEMICONDUCTORES**

La sociedad actual ha experimentado cambios nunca antes vistos. Somos testigos de la influencia de la electrónica en todos los aspectos de la tecnología. Es inconcebible la vida moderna sin los medios de comunicación (radio, televisión, telefonía), sin los sistemas de manejo de información (computación), sin la electrónica de consumo por entretenimiento en el hogar, sin los avances de la medicina auxiliados por la tecnología. Todo ha sido posible gracias a los trabajos de investigación y desarrollo tecnológico, los cuales se han visto acelerados a partir de la invención del transistor en 1947. El transistor es un pequeño dispositivo a base de materiales semiconductores, ahora los hay de diferentes tipos, en base a los cuales funcionan prácticamente todos los sistemas electrónicos actuales. La tecnología de los semiconductores es un factor básico en las economías de los países desarrollados.

## OMAR SOLORZA FERIA

Omar Solorza Feria nació el 17 de Abril de 1954 en México, sus estudios los realizó en la Escuela Superior de Ingeniería Química y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional (ESIQUIE-IPN), su maestría y doctorado los realizó en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CIVESTAV-IPN).

Su interés en la electroquímica comenzó al realizar su tesis de licenciatura sobre las respuestas fotovoltaicas de la unión de un material semiconductor y una disolución electrolítica y la generación de electricidad al iluminar la interfase formada entre el semiconductor y la disolución.

Debido al interés que siempre ha tenido el Dr. Solorza en la generación de energía eléctrica para el desarrollo tecnológico del país, ha propuesto dentro de su grupo de investigación trabajos en la síntesis de materiales con propiedades semiconductoras, es decir materiales capaces de captar la energía luminosa del sol y transformarla en electricidad.

Bajo el mismo principio ha trabajado con la idea de transformar la energía luminosa en energía química como ocurre en la naturaleza en el proceso de la fotosíntesis.

El Dr. Solorza ha desarrollado investigaciones en fotoelectrólisis, y lo explica de la siguiente manera: "A la descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno utilizando una fuente externa de corriente se le conoce como electrólisis del agua y cuando este proceso ocurre con la luz solar se conoce como fotoelectrólisis del agua. El aprovechamiento de la energía luminosa para la descomposición del agua es muy importante para producir hidrógeno y oxígeno, el hidrógeno es el combustible más puro y necesario para abatir los problemas de contaminación debido a que en su combustión se produce agua. Las máquinas de combustión interna como la de los automóviles utilizan gasolina como combustible y ésta se quema para producir la energía requerida para hacer funcionar un automóvil, transformándose antes en calor y en movimiento mecánico. Como

producto de la transformación de la energía química de la gasolina en electricidad se tiene una serie de gases que producen la contaminación de las grandes ciudades. La investigación que han desarrollado está enfocada a la fotoelectrólisis del agua para producir hidrógeno y oxígeno y aprovecha al combustible (hidrógeno) y el oxidante (oxígeno) para alimentarlos a una celda que es conocida como celda de combustible. Las celdas de combustible son como las baterías plomo-ácido de los automóviles. La diferencia radica en que en la batería las especies reactivas se encuentran en la parte interna junto con los electrodos y en la celda de combustible las especies reactivas se encuentran en la parte externa. En ambos casos, se transforma la energía química del combustible en electricidad. A los electrodos que llevan a cabo las transformaciones se les conoce como electrocatalizadores y el estudio de los procesos involucrados cuando se ponen en contacto el electrocatalizador con las especies reactivas se conoce como electrocatálisis". Se podría resumir el trabajo del Dr. Solorza en la síntesis de materiales con propiedades electrocatalíticas para la transformación de la energía luminosa y la energía química en electricidad.

"Existen diferentes formas de llevar a cabo una reacción química y la más conocida es mezclando reactivos químicos y calentándolos o bien haciendo pasar una corriente eléctrica entre dos electrodos sumergidos en una solución. La ventaja de utilizar la electroquímica como una técnica de síntesis es por la selectividad que presenta en la obtención de sus productos, lo que quiere decir que utilizando diferentes materiales metálicos se pueden obtener con la misma corriente aplicada productos diferentes".

El Dr. Solorza menciona que "la electroquímica fue considerada por muchos años en México como una materia de relleno en el curriculum de la licenciatura y no se le dio la importancia que realmente merecía, sin embargo en la actualidad debido a los problemas de contaminación se ha recurrido a procesos electroquímicos para producir mejores pilas alcalinas y baterías, para automóviles que operen sin emisión de contaminantes".

“La industria metalúrgica recurre a la electroquímica para la refinación o la obtención de metales como el cobre y el zinc de alta pureza. De igual manera, la electroquímica participa en forma directa en la producción de cloro de uso industrial y doméstico. Lo mismo que la eliminación de contaminantes de desechos industriales. La electroquímica tiene una aplicación muy amplia y son pocos los especialistas en esta área que existen en nuestro país, por lo que es importante que se formen recursos humanos con la incorporación de jóvenes en nuestra disciplina científica”.

Entre las distinciones que ha tenido el Dr. Solorza es ser miembro del “Sistema Nacional de Investigadores”.

## **CAPÍTULO 4**

### **ELECTROQUÍMICA ORGÁNICA**

#### **LA INDUSTRIA DE LA ELECTROSÍNTESIS ORGÁNICA**

Hoy en día algunas Universidades y compañías dedicadas a la síntesis orgánica, dedican en todo el mundo grandes cantidades de recursos a la investigación en el desarrollo de procesos de síntesis electroquímica.

Esta tendencia se ha incrementado en los últimos años, como consecuencia básicamente de la búsqueda de procesos alternativos que requieren menos energía y que obedezcan a criterios más adecuados sobre seguridad y contaminación.

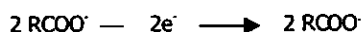
Sin embargo la razón principal es quizá, que la síntesis electroquímica ofrece ventajas únicas e inherentes a su naturaleza, por ejemplo, la posibilidad de evitar el uso de fuertes agentes oxidantes y/o reductores que además de caros son difíciles de manejar y a la gran selectividad en las reacciones que se pueden lograr controlando el potencial aplicado.

Por esta vía se pueden también regenerar cantidades importantes de agentes oxidantes y/o reductores "in situ" evitando de esta manera la contaminación que éstos producen una vez que han sido utilizados.

El acelerado desarrollo de la ciencia de los materiales en los últimos veinte años, es en parte responsable del reconocimiento de la electroquímica orgánica; hoy en día se dispone de muchos materiales susceptibles de ser utilizados como electrodos, electrocatalizadores, partes de celdas, membranas, etc.

En 1834 Faraday observó que introduciendo una carga de aproximadamente 96500 Coulombios, en una solución de sulfato de cobre se depositaba en el electrodo un peso equivalente de cobre metálico. Fue entonces cuando Faraday enunció sus famosas leyes electroquímicas, las cuales sin embargo no resultarían aplicables en todos los casos. Por ejemplo: las sales de ácidos carboxílicos no se ajustaron a sus predicciones. Hermann Klobe estudió el problema en 1849 descubriendo la famosa síntesis de Klobe. [28]

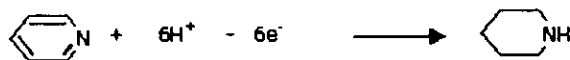
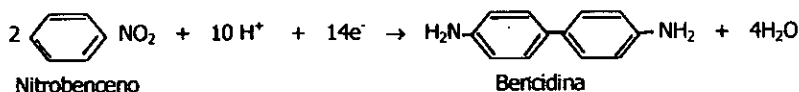




La reacción de Klobe se define como cualquier proceso anódico (oxidación) en el que la especie electroactiva es un carboxilato y los intermediarios formulados son predominantemente radicales catiónicos en su carácter. Las reacciones de Klobe se llevan a cabo en un potencial de media onda de aproximadamente 2.5 V/ENH. A altas densidades de corriente se favorece el acoplamiento entre los radicales libres.

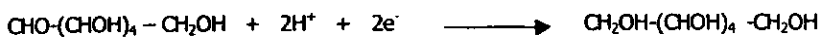
Estos estudios marcaron de hecho del nacimiento de la electroquímica orgánica. Hoy en día la síntesis de Klobe se lleva a cabo en procesos a escala industrial en países como: URSS, India, Japón y Alemania y sigue siendo considerada además, como una poderosa herramienta para sintetizar moléculas de longitud de cadena larga.

Las décadas de los veinte y los treinta fueron testigos de la introducción de un número importante de rutas electroquímicas de importancia industrial incluyendo la reducción de nitrobenzeno a bencidina, de piridina a piperidina y de glucosa/monosa a sorbitol/manitol. [29]



Piridina

Piperidina



Glucosa

Sorbitol

La hidrogenación catalítica y el acelerado desarrollo de la industria petroquímica gradualmente hicieron que estos procesos dejaran de ser competitivos. En 1937, Atlas Powder, producía tres

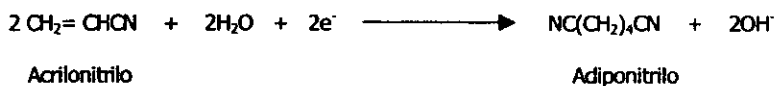
millones de libras por año de sorbitol/manitol vía electroquímica. Sin embargo en 1948 el proceso había dejado de ser rentable y tuvo que ser sustituido por una síntesis catalítica.

Los ejemplos de oxidaciones en los principios de la electroquímica industrial son mucho más escasos. Ésto fue consecuencia principalmente, de que los materiales usados entonces como electrodos, no resistían las condiciones de oxidación y presentaban problemas serios de corrosión. Lo que se tenía entonces era un problema básicamente de materiales. Sin embargo, algunas reacciones sí funcionaban eficientemente e incluso siguen utilizándose. Por ejemplo hoy en día se practica la reducción del ácido crómico para obtener cromo (VI).

Un evento importante en el desarrollo de la electroquímica orgánica se dio en 1960, los Laboratorios Miles desarrollaron un proyecto para construir una planta cuya capacidad era de 250000 libras por año, para regenerar electroquímicamente el perodato.

El diseño de la celda fue desarrollada por Charles L. Mantell de Newark College. Se esperaba que el proceso disminuyera el precio de \$30.0 /lb a \$.03 /lb, pero el mercado del negocio no se pudo desarrollar en la medida en la que se esperaba. Los derechos del proceso fueron posteriormente adquiridos por Hexcel Corp.

La situación cambió radicalmente para la electroquímica a mediados de 1960 cuando Monsanto introdujo su famoso proceso de síntesis de adiponitrilo:



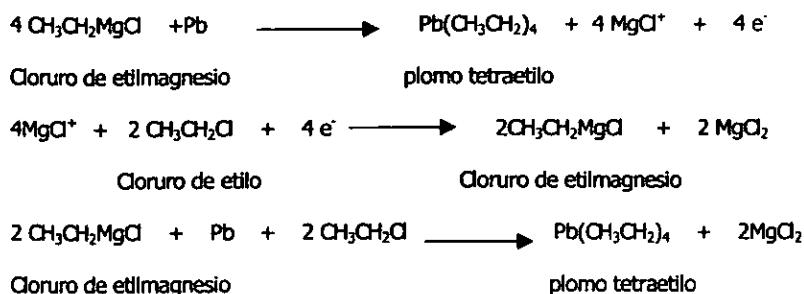
Este trabajo comenzó en 1959 cuando Manuel M. Baizer propuso una ruta para obtener adiponitrilo a partir de acrilonitrilo.

Después de dos años de probar materiales y de trabajar en el diseño de una celda industrial, se comenzó a construir la primera planta con una capacidad de 32 000 000 de lb/año, que, finalmente comenzó a operar en 1965. Esta última planta fue ampliada hasta una capacidad aproximadamente de 20 000 000 de lb/año en el periodo comprendido entre 1972-1979. En el Reino Unido una planta

de la misma compañía y con una capacidad similar fue construida y comenzó a operar en 1978.

Hoy en muchos procesos similares (vía electroquímica) se utiliza para obtener adiponitrilo.

Al mismo tiempo, Química Nalco introdujo su proceso electroquímico de tetraetilo de plomo:



La planta de Nalco produjo inicialmente 32 000 000 de lb/año de plomo tetraetilo y aunque la toxicidad y el alto grado de contaminación ambiental que produce la sustancia han provocado que esta se utilice cada vez más con menor frecuencia, la tecnología electroquímica de Nalco que utiliza ánodos combustibles tiene hoy un gran potencial en la manufactura de sustancias organometálicas. La importancia fundamental de la aparición de estos procesos electroquímicos a gran escala, radica en que llamaron la atención de las empresas dedicadas a la síntesis, la investigación y el desarrollo tanto de la electroquímica como de la ingeniería electroquímica.

Muchos procesos se han estudiado desde entonces y se encuentran hoy en distintas etapas de desarrollo. Compañías como BASF, Química Hoescht, Dupont y otros, trabajan simultáneamente tanto en la investigación de reacciones de electroquímica orgánica como en la ciencia de materiales y en el diseño de equipos que los hagan industrialmente factibles.

## REDUCCIÓN ELECTROORGÁNICA

El paso de la electricidad través de dos electrodos sumergidos en un electrólito da como resultado la deposición de un metal y/o el desprendimiento del hidrógeno en el cátodo, tienen la suficiente

capacidad para hacer posible que el hidrógeno electrolítico se adhiera a las moléculas orgánicas produciendo cambios en su estructura.

Se han descrito varias teorías para explicar la acción de la reducción en el cátodo. La primera teoría razonable fue propuesta por Haber y más tarde aprobada por Creighton, basándose en el hecho que los átomos de hidrógeno son liberados en el cátodo por la descarga de un protón con un electrón. Al formarse el hidrógeno atómico éste reacciona con el compuesto orgánico.

En algunos casos el ión hidruro ha sido considerado como el agente reductor activo, otros investigadores creen que la reducción electrofítica es un fenómeno de dos reducciones simultáneas; la electrolítica y la química. Ciertamente, la reducción electrolítica de un compuesto orgánico en solución básica con cátodos de mercurio se explica debido a la actividad química de la amalgama formada electroquímicamente, pero también puede considerarse como un fenómeno electrolítico y catalítico simultáneo. La actividad de los cátodos de platino-platinizado y níquel-niquelizado probablemente se debe al efecto catalítico de la superficie catódica finamente dividida. Se ha presentado evidencia que la reducción puede tener lugar por transferencia directa de electrones desde el electrodo hacia la sustancia por reducir, esta hipótesis presume la adición del protón altamente móvil a un centro negativo.

Algunos autores han establecido que en ciertos casos el cátodo puede participar más directamente en la reducción electroorgánica ya que se ha encontrado la formación de compuestos organometálicos, particularmente cuando los compuestos carbonílicos se han reducido sobre cátodos de plomo o mercurio.

Parece que el mecanismo de electroreducción depende en gran medida de muchos factores, puesto que en algunos otros casos el proceso involucra perfectamente la transferencia de protones en vez de una transferencia de átomos de hidrógeno.

En resumen, se puede decir que los procesos reaccionales electroquímicos están constituidos por una serie de eventos que ocurren en la interfase electrodo-disolución, donde el evento principal es la transformación redox de dos especies químicas. Estas reacciones redox electroquímicas difieren de todas las demás reacciones en química por las siguientes características:

1. Son reacciones fuera de equilibrio. Los eventos ocurren de un estado de potencial eléctrico y corriente eléctrica iniciales a un estado final. El potencial, la corriente y las concentraciones en solución cambian con el tiempo.
2. Son unidireccionales. En una interfase ocurre una donación de electrones de una especie en solución al electrodo y en otra ocurre el intercambio contrario.
3. Son compartamentalizadas. Es necesario que las interfases sean independientes para mantener la unidireccionalidad.
4. Son eventos que ocurren en fase heterogénea. El electrodo puede ser un conductor metálico o no, puede ser líquido o sólido; la disolución puede ser acuosa, no acuosa, sales fundidas o disoluciones gaseosas; pero siempre habrá una interfase.

En la práctica solamente se estudian los procesos reaccionales que ocurren en una de las interfases electrodo disolución. Al electrodo donde ocurren los fenómenos de interés se les conoce como electrodo indicador o de trabajo; el electrodo que sirve para completar el sistema electroquímico se le conoce como contraelectrodo o electrodo auxiliar. Finalmente se monitorea solamente el potencial del electrodo midiendo este potencial con el electrodo externo en referencia.

#### **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA REDUCCION ELECTROORGÁNICA.**

Las principales ventajas que se tienen para las reducciones electroorgánicas son las siguientes:

- 1) No se presentan impurezas del agente reductor en la mezcla de reacción.
- 2) Se puede lograr una reducción parcial cambiando las condiciones experimentales.
- 3) Es posible llevar a cabo la reducción selectiva de ciertos grupos en moléculas polifuncionales.
- 4) La reducción electroorgánica puede también llevarse a cabo en gran escala.

Las principales desventajas que se tienen para las reducciones electroorgánicas son las siguientes:

- 1) Las reducciones generalmente son lentas.
- 2) Los procesos requieren un control de las condiciones experimentales.

## FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA REDUCCIÓN ELECTROORGÁNICA.

### 1) El potencial del cátodo.

Haber y más tarde otros investigadores [41], han reconocido la importancia del potencial del cátodo como el factor primordial que determina el éxito o fracaso de una reducción electroorgánica.

### 2) Sobrepotencial del cátodo.

El sobrepotencial es una medida de la irreversibilidad de un electrodo de trabajo. Mientras más alto es el sobrepotencial de un cátodo, mayor es su poder reductivo.

El concepto de sobrepotencial es importante debido a que en la reducción electroquímica de un sustrato, el potencial en donde el hidrógeno gaseoso se desprende del cátodo, caracteriza a este potencial como el punto crítico arriba del cual el hidrógeno atómico reacciona con el sustrato tan pronto como se forma.

Los metales de bajo sobrepotencial funcionan como catalizadores para la reacción  $H^+ + e^- \rightarrow H^0$  disminuyendo la energía de activación del proceso. Los metales de alto sobrepotencial tienen una energía de activación muy grande y los átomos de hidrógeno que se forman en el metal tienen una energía potencial mucho mayor que aquellas liberadas en metales de bajo sobrepotencial de hidrógeno.

Se ha encontrado que los factores que disminuyen el sobrepotencial de hidrógeno en los metales son: un aumento en la densidad de corriente, en la temperatura o en la presión, así como una corriente alterna sobrepuesta a una corriente directa y a cambios en la solución hacia pH alcalinos; por otro lado el sobrepotencial aumenta conforme el tiempo aumenta.

### 3) Materiales y condiciones del cátodo.

El material del cátodo y su condición están íntimamente relacionados con su potencial y sobrepotencial. Además del sobrepotencial del cátodo, el material y las condiciones de éste tienen un efecto grande sobre las reducciones electroorgánicas. La pureza del cátodo es de primordial importancia, así como el estado físico del mismo, debido a que un electrodo rugoso tiene una superficie de contacto mayor y la sustancia por reducir tiene más oportunidad de reaccionar con el hidrógeno atómico en el electrodo.

Se ha comprobado que ciertos cátodos parecen tener un efecto catalítico definido sobre ciertas reacciones.

#### 4) Densidad de corriente.

La densidad de corriente generalmente se define como el número de amperes de la corriente aplicada por decímetro cuadrado de superficie catódica. Se ha dado mucha importancia a la influencia de la densidad de corriente en reducciones electroorgánicas. Su importancia radica principalmente en que es una forma de controlar el potencial del cátodo. Se ha demostrado que la densidad de corriente tiene poca importancia en la reproducción de trabajos a menos que todos los demás parámetros sean reproducidos exactamente.

#### 5) Disolvente, pH y concentración.

Debe usarse un disolvente que conduzca la corriente eléctrica y que también disuelva al compuesto orgánico. Generalmente esto se consigue por la adición de acetona, alcohol o ácidos orgánicos de bajo peso molecular a una solución acuosa de electrólito. Sin embargo el disolvente orgánico aumenta la resistencia del electrólito y baja el sobrepotencial del cátodo, otra desventaja es que la sustancia por reducir o el producto mismo de la reducción puede reaccionar con el disolvente. El uso de agentes surfactantes, disminuyen la eficiencia de la corriente durante las reducciones electroorgánicas.

El curso de una reducción puede controlarse por variaciones de pH y en determinadas condiciones de pH la formación de los productos de condensación intermedios puede ser acelerarse.

La formación de productos biomoleculares en la reducción de compuestos carbonílicos en soluciones ácidas pueden citarse como ejemplos del efecto del pH en la reacción.

Generalmente, se ha observado que la velocidad de la reducción es mayor en una concentración alta del sustrato que en una baja. Una alta concentración de sustancia reducible frecuentemente da una reducción más rápida. [30].

Algunos ejemplos de estudio en electrosíntesis orgánica son los siguientes:

Los electrodos modificados por la electrodeposición de polímeros orgánicos conductores tal como poli (3-metil-tiofeno)(PMT), polipirrol (PPY) y polianilina, se usaron en los sensores químicos para la detección de corriente en voltametría y análisis de algunas moléculas orgánicas y biológicas. Los comportamientos electroquímicos de ácido ascórbico, hidroquinona, acetaminofén y p-aminofenol eran examinados por voltametría de pulso. El comportamiento electroquímico de estas moléculas, se comparó con diferentes electrodos y los efectos sobre el comportamiento del electrolito, su pH y el espesor de la película, se examinaron sistemáticamente. Los resultados mostraron que la superficie modificada propuesta es cataliza la oxidación de estos compuestos. La eficiencia electrocatalítica disminuye en el orden del poli-3 metiltiofenol, polipirrol y polianilina.

La voltametría de estos polímeros muestra que el orden anterior es afectada por la naturaleza del electrolito y su pH. El polímero que revistió al electrodo se uso también en un detector amperométrico para un análisis de inyección de la mayoría de estos compuestos. Las respuestas del electrodo polimérico eran de 5-15 veces más grandes comparados con los del platino. El PMT mostró un desempeño mejorado como un detector amperométrico para la inyección de corriente de sistemas de análisis sobre otros tipos de electrodos de polímero. [31]

La reducción de oxígeno es una reacción electroquímica muy importante porque ocurre en varios procesos biológicos y por sus aplicaciones en el diseño de dispositivos de conversión de energía, tales como celdas de combustible y baterías metal-aire. Sin embargo, se trata de una reacción lenta, por lo que la búsqueda de electrodos con propiedades catalíticas hacia la reducción de oxígeno molecular es un activo campo de investigación. Con este fin, se han reportado estudios de las propiedades catalíticas de los electrodos modificados con películas finas de polímeros conductores, y electrodos modificados para soportar partículas de catalizadores metálicos. La posibilidad de utilizar electrodos recubiertos con polímeros conductores ha sido ampliamente estudiada.

Se ha estudiado la cinética de reducción de oxígeno sobre electrodos transparentes (ITO) recubiertos con películas finas de polianilina (PANI) en  $H_2SO_4$ . 5 M. Para ello se estudió la variación



del espectro UV-Vis in situ, de películas de polianilina, llevada a diferentes estados de oxidación mediante inyección de carga galvanostática, en ausencia de oxígeno.

La deconvolución de los espectros UV-vis permitió relacionar la variación en la intensidad de determinadas bandas de absorción con el porcentaje de oxidación del mismo. La cinética de reducción de oxígeno se estudió registrando la evolución a circuito abierto de los espectros UV-Vis de películas de PANI, inicialmente en estado reducido, inmersas en solución acuosa de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.5 M saturada con oxígeno. Los resultados cinéticos obtenidos espectrofotométricamente se compararon con los obtenidos mediante experimentos con electrodo rotatorio. Las curvas de Tafel obtenidas para la reducción de oxígeno sobre PANI y el comportamiento de la relación  $i(\text{disco})/i(\text{anillo})$  a diferentes potenciales del disco (diferentes estados de oxidación de la polianilina) sugieren un cambio de mecanismo para la reacción a medida que el potencial del polímero se hace más negativo. [32,40]

## MARTHA AGUILAR MARTÍNEZ

Una investigadora que se dedica a la Electroquímica Orgánica es la Dra. Martha Aguilar Martínez.

Nació en México D.F. el 20 de Enero de 1942. Obtuvo la Licenciatura en la Facultad de Química, de la Universidad Nacional Autónoma de México, el grado de Doctor en Ciencias Químicas lo obtuvo en la misma Facultad, su posdoctorado lo realizó en la N.T.H. The Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim. N.T.H, Trondeheim, Noruega.

Su interés en la Electroquímica surgió porque habiendo tenido una formación en Química Orgánica, se dio cuenta de las ventajas de la aplicación de la electroquímica en la síntesis de compuestos orgánicos, así como en la rápida respuesta de las técnicas electroanalíticas, que dan una amplia información de la naturaleza de los compuestos bajo estudio.

Durante su experiencia laboral a través de la investigación ha llegado a descubrir que la electroquímica, siendo una ciencia que estudia los procesos de transferencia de carga y sabiendo que todas las reacciones químicas se llevan a cabo por medio de la transferencia de electrones de una especie rica en ellos hacia otra especie deficiente en carga, resulta de gran utilidad para comprender el comportamiento químico de las moléculas.

Por otro lado y sabiendo que algunos de los procesos biológicos se llevan a cabo por medio de las reacciones de intercambio de electrones (reacciones de óxido reducción), gran parte del trabajo que ha desarrollado en su laboratorio está encaminado a estudiar el comportamiento electroquímico de moléculas que presentan actividad biológica. La investigación comprende la síntesis de los compuestos y su estudio electroquímico, información que posteriormente se relaciona con los resultados de la actividad biológica.

La investigación de la Dra. Aguilar se ha enfocado al estudio de:

- A) Compuestos orgánicos con actividad herbicida, estos compuestos son naturales o sintéticos o semisintéticos que se utilizan para matar la maleza la que compete por agua, suelo y sol con los cultivos que se desea proteger. Es necesario eliminar la maleza para aumentar la producción de

los cultivos usados como alimentos usados a nivel mundial, ya que la población humana se está multiplicando en una relación geométrica con respecto a la relación aritmética en la que se están obteniendo los alimentos. Por esta razón es un área prioritaria, urgente y hay que darle la mayor atención posible.

- B) Compuestos orgánicos con actividad antichagásica. En América Latina hay entre 20 y 25 millones de habitantes en las zonas cálidas y rurales en donde existe un protozooario, el *Trypanosoma cruzi*, capaz de infectar a estos habitantes el cual es transmitido por un insecto comúnmente llamado "chinche". Los síntomas de esta infección entre otros muchos son desprendimiento de la piel de las manos y cara por lo que se considera una enfermedad grave que causa un aspecto muy desagradable en los enfermos. El nombre de Chagas es el nombre del medico brasileño que identificó la causa de esta enfermedad. Lo que pretende la doctora Aguilar y su grupo de trabajo es sintetizar medicamentos que tengan actividad antichagásica pero con menores efectos tóxicos, que el fármaco actualmente usado, el Nifurtimox. Esto se hace por que se ha determinado que el anión radical nitro obtenido por reducción del grupo nitro del Nifurtimox, es el responsable de la actividad antichagásica. Por esto el grupo de la Dra. Aguilar está sintetizando y estudiando el potencial de reducción de los compuestos nitro, a los cuales modifican para que se parezcan al Nifurtimox, pero haciéndole variaciones en su estructura para que mantengan o incrementen su actividad antichagásica pero que evite los graves efectos secundarios que el Nifurtimox presenta.
- C) Complejos de coordinación. Efecto estérico y potenciales redox. Un compuesto de coordinación es aquel que está formado por un ion metálico al cual están unidos varios ligantes, es decir moléculas que tienen un par de electrones que pueden donar a los orbitales vacíos del metal, formándose así la llamada unión de coordinación. Se ha encontrado muchos complejos de cobre, platino y manganeso que tienen importantes actividades como anticancerígenos, antiartríticos, quimioestáticos, etc. Y por ello, ha iniciado esta investigación desde el punto de vista de la química, bioquímica y electroquímica de los compuestos de coordinación de cobre (II). En este estudio se ha observado como cambia el potencial de reducción conforme cambia

el entorno químico, es decir, conforme se modifica el tamaño, la estructura y el tipo de ligante. El estudio del efecto estérico es válido para cualquier compuesto ya que tiene que ver con el volumen de los sustituyentes en la molécula. Para llevar a cabo una reacción se necesita que una molécula se aproxime a otra para que haya una transferencia de electrones, ya sea que se trate de un sistema químico, por ejemplo que dos moléculas estén en solución o en fase gaseosa o un sistema biológico donde un compuesto se acerca a una enzima, o en un sistema electroquímico en donde una molécula se aproxima a un electrodo. Si esta molécula se encuentra libre de sustituyentes que sean muy voluminosos es decir presenta un efecto estérico grande es posible que el centro electroactivo de ella pueda aproximarse al electrodo a una distancia apropiada.

D) Electrosíntesis de electrodos modificados usados para la síntesis estereoselectiva de compuestos orgánicos. Algunos polímeros pueden obtenerse sintetizándolos química o electroquímicamente, hay compuestos como las aminas y los fenoles especialmente lábiles para ser electrooxidados y por eso se inicia una polimerización en solución. Estos compuestos son monómeros a partir de los cuales se iniciará la polimerización, Cuando se lleva a cabo la electrólisis de una amina dentro de una celda conteniendo un disolvente y un electrólito, en donde el electrodo de trabajo, el que por ejemplo, puede ser platino o carbón vítreo, se lleva a cabo la reacción de polimerización. El electrodo se empieza a recubrir de una película delgada, brillante la que dependiendo del electrólito y del monómero puede presentar diferente electronegatividad. El electrodo recubierto con esa película es ahora un electrodo orgánico el que tiene más afinidad por las moléculas orgánicas, que un electrodo de Pt o carbón vítreo. En la síntesis estereoselectiva de un compuesto determinado, a veces se forman enantiómeros, estos son isómeros que son imágenes especulares, esta propiedad sólo se presenta en aquellos compuestos cuyas moléculas son quirales, ver apéndice, por ejemplo en un par de compuestos enantioméricos al colocarlos en un polarímetro uno de ellos gira la luz polarizada a la derecha y el otro a la izquierda, una molécula con cierto arreglo en el espacio y que gire la luz polarizada hacia un lado específico puede llevar a cabo una reacción química y la otra

molécula que gira la luz polarizada en sentido contrario no realiza esa reacción. Así por ejemplo, un compuesto farmacológicamente activo, puede llegar al centro de una enzima y acomodarse perfectamente en el sitio activo para llevar a cabo la reacción. Sin embargo el otro enantiómero no logra el acomodo y por lo tanto no realiza la reacción. Por esto, lo que interesa, desde el punto de vista farmacológico, es sintetizar sólo uno de los enantiómeros no el par porque si se usa la mezcla (racemato) su actividad resulta deficiente.

Ocurre por ejemplo que cuando se utiliza un electrodo metálico o uno como el carbón vítreo entonces la reacción que se lleva a cabo sintetiza la mezcla de enantiómeros pero si se usa un electrodo que presente quiralidad, entonces se va a sintetizar estereoselectivamente a uno de los enantiómeros. **Ver apéndice**

El polímero que el grupo de la Dra. Aguilar está sintetizando es quiral, y parten de un monómero quiral, cuando se lleva a cabo la polimerización la película obtenida es quiral. Cuando el electrodo de trabajo tiene esta película quiral va a tener preferencia por uno de los dos enantiómeros y precisamente sintetizará el compuesto deseado.

Por ejemplo, se puede sintetizar un fármaco, un colorante, un saborizante, un perfume pero el que tiene las características deseadas es uno de los dos enantiómeros, tal sería el caso del d-limoneno y l-limoneno en donde el primero huele a limón y se utiliza como saborizante, en tanto que el l-limoneno no huele a limón. Las industrias que producen este tipo de compuestos (saborizantes, esencias y perfumes) son millonarias y son transnacionales en su mayoría.

Básicamente, la química orgánica ha encontrado en la electroquímica una fuente de aplicaciones sumamente útil, con la convicción que la electroquímica es además una ciencia ecológicamente aceptable.

Desde el punto de vista de la Dra. Aguilar, la electroquímica es una ciencia interdisciplinaria, de inmensa importancia teórica y práctica, que combina la química, la física, la ciencia del estado sólido, la electrónica, etc. La electroquímica después de 200 años de desarrollo es una ciencia de enorme interés y su campo de aplicación está en expansión continua.

Este campo de aplicación incluye: a) la generación, conversión y almacenaje de energía; b) el análisis y la eliminación de los contaminantes en el medio ambiente; c) la síntesis y el control de fármacos; d) las biociencias como la bioelectroquímica analítica, la electroquímica *in vivo*, en membranas; e) la tecnología electroquímica, la electrosíntesis de compuestos orgánicos e inorgánicos, los electrodos modificados, etc.

La Dra. Martha Aguilar ha impartido clases de química orgánica y electroquímica en la licenciatura de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM y en la Universidad Autónoma de Puebla (UAP) así como clases de posgrado de química orgánica en la maestría en química orgánica del CINVESTAV y de electroquímica orgánica de la UNAM.

Ha dirigido 18 tesis de licenciatura y dos de maestría. Ha publicado 28 artículos de investigación y presentado 56 trabajos en Congresos y Símpo-sia. Ha sido merecedora por concurso durante dos ocasiones premio Cátedra especial Jesús Romo Armería, del Instituto de Química, UNAM, en el área de electroquímica orgánica. Es Investigador Nacional desde 1986.

En su muy cálida y sencilla forma de ser, al dirigirse a los estudiantes retoma las palabras de Einstein: "Nunca consideres al estudio como un deber sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber".

## **CAPÍTULO 5**

### **ELECTROQUÍMICA AMBIENTAL**

Es la electroquímica aplicada a los problemas ambientales, la que se ha enfocado al tratamiento de aguas de residuos de desecho, recuperación de metales, reciclado de materiales, estudios ambientales, etc. Particularmente en México, los problemas se han agravado ante la falta de una concientización acerca de los problemas resultantes de la contaminación.

#### **APLICACIONES ELECTROQUÍMICAS PARA EL SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Los procesos electroquímicos ofrecen varias opciones promisorias para la prevención y el saneamiento de los problemas ambientales. Entre las principales características atractivas de la electroquímica se encuentran:

1. Versatilidad. Estos procesos incluyen reducciones u oxidaciones directas o indirectas, separaciones de fases, concentraciones, diluciones y funciones biocidas que pueden tratar a muchos contaminantes gaseosos, líquidos y sólidos, además de que se pueden tratar desde microlitros hasta millones de litros.
2. Eficiencia energética. Los procesos electroquímicos normalmente requieren de condiciones más suaves que sus contrapartes convencionales (e.g. incineración). Asimismo, los potenciales pueden controlarse y los electrodos y celdas pueden diseñarse para minimizar las pérdidas de corriente debidas a la mala distribución de corriente, caídas de potencial y reacciones secundarias.
3. Factibilidad de automatización. Las variables eléctricas que se usan en los procesos electroquímicos (I,E) son especialmente adecuadas para facilitar la adquisición de datos, así como la automatización y control de procesos.
4. Compatibilidad con el ambiente. El principal reactivo, el electrón, es un reactivo "limpio" y con frecuencia no se requiere la adición de otros reactivos. Además, se puede aprovechar la alta

selectividad de muchos de estos procesos para evitar la generación de productos secundarios no deseados.

5. Eficiencia de costos. Los equipos y operaciones electroquímicas son generalmente simples, y si están bien diseñados, también pueden ser económicos. Además, suelen requerir de poco mantenimiento y reemplazos debido parcialmente al hecho de tener pocas partes móviles.

Por supuesto que también hay muchos retos por enfrentar. Por ejemplo, a fin de alcanzar eficiencias de conversión altas a pesar de las concentraciones bajas de contaminantes que se tienen generalmente, es necesario analizar varias estrategias para las aplicaciones particulares. Entre ellas se encuentran el uso de electrodos tridimensionales, la promoción de regímenes turbulentos, operaciones de preconcentración, uso de sistemas multipasos, diseño de electrodos móviles, etc.

Las principales opciones electroquímicas para el saneamiento ambiental incluyen las siguientes:

### **ELECTRÓLISIS DIRECTA.**

Los contaminantes que son capaces de ser oxidados o reducidos en la superficie de un electrodo pueden, en principio, ser transformados o removidos de sistemas acuosos mediante la aplicación de potenciales adecuados en reactores electroquímicos. Desafortunadamente es frecuente tener reacciones secundarias o parásitas tales como la oxidación o reducción del disolvente –lo que representa un reto en el diseño de celda- y la selección de materiales. Estos procesos se pueden dividir en:

- *Procesos anódicos.* La oxidación directa tiene la capacidad de degradar o transformar a muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos. Ejemplos típicos son: La oxidación de iones cianuro, la decoloración de efluentes conteniendo tintes y colorantes mediante la destrucción de los grupos cromóforos, la oxidación de especies de Cr(III) a Cr(VI) para ser recidadas, etc.



- *Procesos catódicos.* Los ejemplos de este tipo incluyen la reducción de compuestos aromáticos clorados a sus correspondientes (y menos tóxicos) aromáticos no clorados, la remoción de iones metálicos, etc.

### **ELECTRÓLISIS INDIRECTA.**

La idea aquí consiste en utilizar reactivos redox generados electroquímicamente a fin de convertir especies contaminantes en productos menos dañinos. La especie redox actúa como un intermediario para transportar electrones entre el contaminante y el electrodo. Estos se pueden dividir en:

- *Procesos reversibles.* Aquí, el reactivo redox puede ser generado electroquímicamente y reciclado en el proceso. Por ejemplo, la especie Ag(II) es un agente oxidante que ha sido utilizado para la mineralización de compuestos orgánicos a nivel industrial. Las especies de Ag(I) que se producen se reciclan en un reactor electroquímico para generar Ag(II).
- *Procesos irreversibles.* Estos suponen la generación electroquímica de especies activas que dan lugar a procesos tales como la producción de intermediarios de vida corta (e.g. radicales OH), incineración electroquímica de desechos fecales, manipulación del pH, electrocoagulación-electroflotación, etc.

### **PROCESOS BASADOS EN MEMBRANAS Y/O EN INTERCAMBIO IÓNICO.**

Muchos de los procesos han alcanzado ya un grado importante de madurez tecnológica para la separación de mezclas líquidas y gaseosas. Los principales ejemplos en el campo del saneamiento electroquímico y reciclado son probablemente los métodos de electromigración, de los cuales, la electrodiálisis ha ganado el mercado más importante.

### **PROCESAMIENTO ELECTROCINÉTICO DE SUELOS.**

Se han utilizado campos eléctricos para la descontaminación de suelos mediante la colocación estratégica de ánodos y cátodos enterrados. Los contaminantes en fase líquida se mueven mediante

un efecto electroosmótico a través de los poros o túneles cargados eléctricamente, hasta ser descargados en pozos en donde son concentrados y removidos. Ejemplos típicos incluyen: fenoles, hidrocarburos, iones de metales pesados, etc.

### **ELECTROREMEDIACIÓN DE GASES.**

A fin de tratar electroquímicamente los gases contaminantes, éstos deben ser primero disueltos en un disolvente ya sea por disolución o bien por reacción química. La conversión electroquímica puede entonces realizarse en dos modos: a) el gas se absorbe directamente en la celda y allí mismo es tratado (procesos internos de celda), o bien, b) el gas se absorbe en un recipiente por separado y es posteriormente transferido a la celda electroquímica (procesos externos de celda). Los gases que han sido más estudiados son:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{Cl}_2$ .

### **DESINFECCIÓN ELECTROQUÍMICA DE AGUA.**

La desinfección y remoción de olores son problemas muy importantes que impactan a nuestra calidad de vida. La aplicación de un potencial en soluciones con contaminación biológica puede llevar a cabo su desinfección mediante la producción de sustancias altamente oxidantes (e.g. radicales  $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{Cl}_2$  etoétera) o bien de sustancias que alteran el pH en los alrededores de los microorganismos ( $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ), así como mediante procesos directos que los electrocutan debido a la inducción de procesos rédox internos que promueven su desactivación.[33]

### **LA ELECTROQUÍMICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS**

Los métodos empleados en tratamiento de aguas varía dentro de una amplia gama. Estos métodos deben ser capaces de procesar grandes cantidades de agua ya que en promedio cada persona desecha aproximadamente 200 litros de agua por día, dependiendo de la estación y de las características locales. A esto hay que agregarle los desechos industriales y comerciales. Debido a que muchos de los compuestos que conforman las aguas de desecho son electroactivos estos pueden eventualmente ser tratados a través de algún proceso electroquímico. Sin embargo ¿Qué

tan competitivos son los métodos electroquímicos para el tratamiento de aguas en grandes cantidades con respecto a los métodos tradicionales?. La respuesta es que los métodos electroquímicos no pueden competir con los tratamientos fisicoquímicos en el tratamiento de aguas a gran escala, ya que los primeros únicamente pueden ofrecer tratamientos preventivos para cierto tipo de efluentes provenientes de industrias específicas como la minera, electrogalvanizado, reprocesamiento de baterías, fotografía, etc. Por otro lado los métodos biológicos y fisicoquímicos son eficientes en tratamiento de aguas a gran escala.[34]

Actualmente existen múltiples problemas en la eficiencia y en el control los procesos de lixiviación de minerales, así como la cementación y el electrodeposición de metales para su recuperación. Estos problemas se deben principalmente a la complejidad de los fenómenos involucrados y a que muchas veces estos procesos están basados en conocimientos empíricos. Uno de los objetivos de estas líneas de investigación es el estudio de los diferentes procesos de lixiviación de minerales, de cementación y electrodeposición de metales, de manera fundamental, mediante el estudio termodinámico de sistemas multicomponentes y multirreaccionantes que, a través de métodos gráficos permite conocer de manera acertada y esquemática la fracción de las especies químicas presentes en estos sistemas.

En el mismo sentido se investigan los procesos interfaciales en el electrodo y el desarrollo de materiales que puedan potencialmente usarse como sistemas electrocatalíticos.

El conocimiento fundamental de estos fenómenos permitirá establecer un análisis sistemático de los procesos mencionados, y de esta manera poder proponer alternativas más eficientes, los contaminantes y sistemas de control mejor adaptados para los sistemas actuales. Este desarrollo permitirá optimizar los reactores electroquímicos apropiados para llevar a cabo, a nivel industrial tanto los procesos hidrometalúrgicos como de depósito de metales.

## RECUPERACIÓN DE METALES.

Las tecnologías electroquímicas se basan en electrones que pueden ser agregados o extraídos de las especies químicas, con lo cual se puede llevar a cabo un cambio químico. Una de las principales ventajas de los métodos electroquímicos además de ser una tecnología "limpia", es que es posible recuperar sustancias químicas para ser reutilizadas y extraer metales en su forma más valiosa. Las industrias de electro-recubrimientos, mineras, fotografía, baterías de circuitos impresos y en general todas aquellas que en alguna parte del proceso usen soluciones de algún ión metálico, pueden utilizar métodos electroquímicos a fin de extraer los iones metálicos antes de que la solución sea desechada al drenaje.

Reactores electroquímicos con un diseño apropiado, son capaces de recuperar metales pesados desde concentraciones de 1ppm hasta 200g/L. Algunos ejemplos de reactores para la recuperación de metales son: La celda de Chemelec, diseñada para extraer iones metálicos como: Cu, Ni, Ag, Au, Zn, Pb, y Ni. La celda "enVirocell", usada normalmente para recuperar metales como; Pb, Cu, Cd, Hg, Ag, Au, y Pd.

Los métodos electroquímicos ofrecen ciertas ventajas respecto a los métodos químicos en algunas áreas, es de esperarse que en los próximos años se propaguen nuevos desarrollos en la tecnología electroquímica en el tratamiento de aguas, aire, áreas de tierra contaminada, así como en síntesis orgánica e inorgánica. La idea de que en un proceso de síntesis no existan subproductos más que agua y calor que puedan ser aprovechados, ha surgido considerando que los procesos electroquímicos pueden ser altamente selectivos.

Entre algunos de los ejemplos donde se usan también métodos los electroquímicos pueden citarse:

1. Extracción por electrólisis de Cr(VI) durante la producción electrolítica de dorado de potasio, a fin de eliminarlo durante la fabricación de papel.
2. La aplicación de compuestos aromáticos polidiorados.
3. Generación electrolítica de hipodorito para prevenir crecimiento biológico en tanques de almacenamiento de agua así como para la destrucción de cianuros y eliminación de vapores tales como sulfuro de hidrógeno, amoníaco, aminas y tioles.

4. La generación electrolítica de oxidantes "limpios" como  $O_3$ ,  $H_2O_2$  y  $ClO_2$  usando pequeñas plantas en el lugar donde son necesarios (*in situ*), para oxidar compuestos orgánicos durante el tratamiento de aguas.
5. Generación electrolítica de oxidantes fuertes como  $Ag(II)$ ,  $CO(III)$ ,  $Ce(IV)$  y  $Cr(VI)$  para limpiar ciertos compuestos en el aire (electroincineradores)
6. Recuperación de Zn y Sn por medios electrolítico a partir de latas de desperdicio.
7. Conversión de sales en sus respectivos ácidos.

Con estos métodos electroquímicos se desea fomentar el acercamiento del sector industrial a los centros de investigación en vías de una mejor comunicación entre las necesidades reales y las posibilidades que un investigador pueda ofrecer para satisfacerlas.[34]

## **JORGE GUILLERMO IBAÑEZ CORNEJO**

El Dr. Jorge Guillermo Ibañez Cornejo nació el 25 de Junio de 1955, en Guadalajara Jalisco, México, su licenciatura en Ingeniería Química la realizó en el I.T.E.S.O., Guadalajara, Jalisco. El grado de doctor la obtuvo en la Universidad of Houston, USA. Posteriormente, realizó dos posdoctorados, el primero en el departamento de Ingeniería Química, University of Texas At Austin, USA 1991-1992 y el segundo en el departamento de Química, University of Houston, USA, Enero-Diciembre 1993.

Su interés en la electroquímica surgió cuando le ofrecieron un trabajo en México al terminar su doctorado, tenía como área de oportunidad hacerlo líder de un grupo de estudiantes de electroquímica.

Ha hecho trabajos en la línea de restauración ambiental (remoción de cromatos), monitoreo de sistemas de corrosión, protección de materiales semiconductores, etc., ha realizado el diseño, implementación y puesta a punto de muchas prácticas de laboratorio de electroquímica.

También escribió un libro de difusión internacional sobre Electroquímica Ambiental (Academic Press, 1997).

En su experiencia profesional ha trabajado como auxiliar de control y traductor técnico. Almidones Mexicanos, S.A. Guadalajara Jalisco 1975; auxiliar del Departamento de Cromatografía, PEMEX (Refinería Minatitlán); auxiliar del laboratorio de control Anodizados Imol, S.A. Guadalajara, Jalisco 1977; profesor adjunto de Fisicoquímica y Electroquímica e investigador Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, CINVESTAV-IPN, México, D.F. 1984-1986, investigador visitante del Instituto Químico de Sarrià (Barcelona) y del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (Madrid), en electroquímica y corrosión, por citar algunos.

Ha impartido 45 cursos a nivel licenciatura, 10 cursos a nivel de maestría y 5 cursos a nivel doctorado.

Autor de tres libros:

"Prácticas de Química General, Inorgánica e Industrial". J.G. Ibañez Cornejo. Editorial LIMUSA, México 1993.

"El desarrollo de habilidades para la Resolución de Problemas en la Ingeniería Química". Editores: Armando Rugarcía e Hilario López Garachana. Reverté Ediciones, México, 1993 (autor de capítulo).

Electrochemistry and the Environment. K. Rajeshwar and J. G. Ibañez. Academic Press, San Diego, 1997.

Ha publicado 43 artículos, 88 trabajos presentados en Congresos y Simposia, 41 Conferencias y Seminarios, director de 19 tesis de doctorado, maestría y licenciatura de las siguientes Instituciones: Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Centro de Investigación y de Estudios Superiores del Instituto Politécnico Nacional.

Mercedor de cuatro premios: Premio al mejor estudiante del Area de Química, Instituto de Ciencias, Guadalajara Jalisco 1972; Premio al mejor estudiante de la Generación 1972-1976 de Ingenieros Químicos; Premio al compromiso y Calidad Investigativa. Universidad Iberoamericana, México D.F. 1994; Premio a la Potencia: Conducting Polymers for Environmental Remediation, otorgado por la división of Environmental Chemistry, American Chemical Society. Boston, MA, EUA. 1998. Ha participado como invitado en varios congresos, así también becado por CONACYT y por el Ministerio de Educación y Ciencia de España.

Ha impartido y organizado 25 cursos no curriculares, así también ha tomado 26 cursos de entrenamiento.

Miembro activo en las siguientes Instituciones:

American Chemical Society, Sociedad Química de México, Sociedad Mexicana de Electroquímica (presidente 1996-1998), The Electrochemical Society, International Society for Electrochemistry, Sociedad Iberoamericana de Electroquímica (miembro de la junta de gobierno 1996-1998), Academia Mexicana de Ciencias, Colegio de Ingenieros Químicos.

El Dr. Jorge Ibañez piensa que lo único que puede hacer válida la elección de una profesión, es el valor implicado en la búsqueda del servicio a los demás. Por lo que al respecto comenta lo

siguiente: el campo de la electroquímica me ha ofrecido esta oportunidad al poder ofrecer cursos, asesorías, tesis, diseñar experimentos en laboratorio, dirigir tesis de licenciatura y posgrado, dar conferencias y seminarios, ofrecer ponencias en congresos investigar y publicar los resultados, escribir libros, interactuar con la gente. en fin me ha permitido un rumbo profesional en el que he podido aportar un granito de arena en bien de la sociedad.



## MIGUEL SALOMA TERRAZAS

Miguel Saloma Terrazas nació el 20 de Octubre de 1938, en Tamaulipas México. Realizó sus estudios en Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias Químicas en la Universidad Autónoma de Nuevo León, su maestría la realizó en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores en Monterrey, el grado de Doctor lo obtuvo en The Norwegian Institute of Technology. University of Trondheim. N.T.H. Trondheim, Noruega.

Su interés en la electroquímica surgió al estudiar la maestría y posteriormente al realizar su doctorado en Noruega sobre electrodeposición en metales. Al mismo tiempo le parecieron interesantes las aplicaciones de la electroquímica a la química orgánica.

Su trabajo de tesis doctoral fue el estudio de la depositación del zinc y el efecto de las impurezas, en el ámbito industrial, y la electrorrecuperación del zinc es el proceso industrial más eficiente que se aplica en minerales con muy baja concentración de zinc que no puede llevarse a cabo por métodos pirometalúrgicos tradicionales.

A su regreso a México después de haber realizado ese trabajo de electroquímica inorgánica, surge su interés en aplicar técnicas electroquímicas a la química orgánica y junto con su esposa la Dra. Martha Aguilar, iniciaron este proyecto.

Comenzó a realizar diferentes tipos de reacciones llevadas a cabo electroquímicamente que consistían en la síntesis de polímeros orgánicos conductores, y con la ayuda del investigador México-Norteamericano Arthur Díaz, quien era pionero en la síntesis de este tipo de polímeros, inició el estudio de un nuevo tipo de polímeros, proyecto financiado por CONACYT.

Su proyecto de investigación lo realizó con la electropolimerización de naftilaminas polimerizadas lo que es actualmente importante, porque llevó a la creación de materiales plásticos conductores. Se sabe usualmente que los plásticos son aislantes, sin embargo, en este caso, este material era un buen conductor, los polímeros orgánicos de este tipo son conocidos como metales orgánicos, por

su conductividad. Aquí se encontró con algo interesante, que la conductividad dependía de la estructura y el tipo del monómero, ver **apéndice**, y se podían modificar las propiedades del polímero variando la estructura del monómero y las condiciones de la electrosíntesis. Esta es una de las aportaciones que se hizo cuando se inició la sección de Electroquímica Orgánica en nuestro país. Posteriormente tuvo contacto con el departamento de Bioquímica tratando de ver propiedades biológicas de estos compuestos.

Otra de sus investigaciones se ha orientado a la Electroquímica Ambiental, que es la electroquímica aplicada a los problemas ambientales y se ha enfocado al reciclado de materiales industriales, de desechos de descarga en el tratamiento de aguas industriales

Uno de estos aspectos ambientales de gran importancia es el tratamiento de aguas que contienen sustancias orgánicas que no pueden ser degradadas por métodos biológicos. En el tratamiento de aguas por métodos biológicos, los microorganismos presentes en el agua destruyen la materia orgánica. Existen algunas aguas industriales en las que no es posible destruir la materia orgánica, esta puede estar constituida por compuestos orgánicos aromáticos, que no son fáciles de degradar por los microorganismos. Este tipo de aguas se pueden degradar, a compuestos más simples los cuales ya son biodegradables por métodos electroquímicos.

El Dr. Saloma ha trabajado en la recuperación de materias primas, como por ejemplo sosa ( $\text{NaOH}$ ), ver **apéndice**, que se utiliza para el lavado de materiales o de botellas de refresco. La sosa utilizada se ensucia con lo que tienen las botellas dentro, y esta sosa se va carbonatando con el  $\text{CO}_2$  del medio ambiente por lo que en lugar de ser una solución de sosa simple es una solución conteniendo bicarbonato de sodio, carbonato de sodio y sosa contaminada. Estas soluciones se tiran al medio ambiente. Su estudio de este problema está enfocado a recuperar la sosa electroquímicamente. Como se sabe una sal está formada por un ácido y una base, se separa la base del ácido, (en este caso el ácido que está formando el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) es el ácido carbónico), éste ácido carbónico se descompone en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y por el otro lado se obtiene la sosa que es la parte que se quiere recuperar, el método electroquímico aquí empleado es

importante porque se deja de contaminar los efluentes con sosa, y otras sales y por otro lado ayuda a recuperar estos materiales y usarlos posteriormente.

El Dr. Saloma ha realizado métodos de producción de sustancias *in situ* de interés industrial, un ejemplo, es el hipoclorito de sodio que es un material muy usado. Es un sanitizante que se ha utilizado para sanitizar agua, este compuesto de  $\text{Cl}_2$  y  $\text{NaOH}$ , es un material muy barato, sin embargo, su transporte es muy costoso. Se ha creado un generador de hipoclorito *in situ*, esto es, una pequeña celda electroquímica que genera hipoclorito a partir de una solución de  $\text{NaCl}$ , es decir una solución de salmuera. En esa pequeña celda se genera el hipoclorito en cantidades suficientes para las necesidades que se requieran, esto es conveniente en plantas rurales de tratamiento de aguas en donde sería muy caro transportar el hipoclorito, este tipo de trabajo es lo que se llama "Electroquímica Ambiental".

Los avances en la Electroquímica Ambiental han sido muy grandes, y de gran importancia para este mundo en que día a día existe una contaminación mayor, por lo que esta ciencia puede contribuir a la solución de problemas ecológicos, como es el reciclado de materiales, por ejemplo el zinc por medio de una electrosíntesis limpia.

Al hacer una reacción química, por ejemplo, una oxidación, se utiliza un oxidante y éste puede ser muy efectivo haciendo la oxidación, pero deja como residuo al oxidante reducido. Un ejemplo sería, el convertir un alcohol a un aldehído utilizando un oxidante adecuado, se producen el aldehído y el ácido correspondiente, pero se genera un subproducto que se desecha. Electroquímicamente puede realizarse este proceso sin necesidad de generar el producto secundario, es decir, se puede pensar en una alternativa electroquímica, y no en una reacción química tradicional. Sin embargo en algunos casos es más conveniente el método químico que el electroquímico.

El Dr. Saloma considera que los estudios que podemos hacer en la química no terminan con la licenciatura sino que continúan con la maestría y el doctorado. La licenciatura ayuda al alumno a adquirir los conocimientos e información básicos y después profundizar éstos con los estudios de maestría y doctorado y posteriormente transmitir estos conocimientos. Este es su mensaje para

impulsar a las futuras generaciones a seguir en el campo de la investigación y que como él, descubran el maravilloso campo de la ciencia en cualquiera de sus aplicaciones.

Para concluir, en un mensaje a las futuras generaciones, menciona que el conocimiento es un campo fascinante del que se esperan maravillas, que en cada paso que se da, siempre se encuentra algo brillante, algo sobresaliente, algo maravilloso y quiere compartir esto con lo que alguna vez un maestro le dijo:

"Anteriormente cuando los jóvenes querían conocer nuevas tierras, otros continentes, nuevas gentes, riquezas se enrolaban como marineros actualmente lo involucrándose en la ciencia".

El Dr Saloma considera que esto es lo que actualmente necesitamos, que un mayor número de jóvenes se enrolen como científicos.

Un premio del que ha sido merecedor y que tiene en gran estima fue el reconocimiento que le hizo la Sociedad Mexicana de Electroquímica en Noviembre de 1995.

## CONCLUSIONES

\_ La electroquímica es una rama de la ciencia que se ha desarrollado ampliamente tanto teórica como experimentalmente.

\_ Es importante difundir estos conocimientos a todas las personas de nuestra sociedad, estudiantes, jóvenes y adultos con distintas ocupaciones, amas de casa, etc., porque utilizan la electroquímica a cada momento y no siempre saben que están haciendo uso de ella.

\_ En este trabajo sólo se señalan algunas de los ejemplos de la misma, pero al mismo tiempo nos revela que sus aplicaciones son infinitas y que ayudan en diferentes formas a la sociedad.

## APÉNDICE

### ÁNODO [35]

Electrodo en cuya interfase ocurre una reacción de oxidación.

### ÁNODO DE SACRIFICIO [35]

Masa de metal (Mg,Zn,Al) que enterrado o inmerso y conectado a una estructura metálica, la cual va a ser protegida, de esta manera, forma una celda y tiene el efecto de hacer que la estructura metálica funcione como cátodo.

### CELDA ELECTROQUÍMICA [36]

Un par de electrodos que se sumergen en una solución iónica y que se conectan mediante un conductor metálico externo constituyen la celda electroquímica típica, esta celda puede ser de dos tipos:

Celda galvánica. En esta celda ocurre una reacción espontánea por lo que el  $\Delta G$  es negativo y por medio de una reacción química, la celda cede energía eléctrica al exterior. Este es el caso de una pila o de un acumulador que se descargan. El término espontáneo significa que existe una tendencia bajo ciertas condiciones, de que la reacción se efectúe sin necesidad de suministrar energía al sistema.

Celda electrolítica. En una celda electrolítica ocurre una reacción no espontánea así que el  $\Delta G$  es positivo, por lo que la celda requiere de energía eléctrica del exterior para que la reacción pueda efectuarse.

### CORROSIÓN [35]

Es la reacción química o electroquímica entre un material, generalmente un metal, y su medio ambiente que produce un deterioro del metal y sus propiedades. La corrosión es causada por una reacción de oxidación.

### **ELECTROCATÁLISIS [36]**

Puede definirse como el estudio de las reacciones catalíticas heterogéneas que implican especies reactivas y productos que transfieren sus electrones a través de una interfase electrodo (catalizador)/solución electrolítica.

### **ELECTRODO [35]**

Es un conductor, por medio del cual se mantiene una corriente dentro de un líquido (como el caso de un elemento electrolítico) o bien dentro de un gas (como en el caso de un tubo de descarga).

### **ELECTRÓLITOS INTRÍNSECOS [37]**

En los compuestos iónicos, los iones están presentes en el cristal y por acción del disolvente pasan a la solución.

### **ELECTROQUÍMICA [36]**

Ciencia que estudia las transformaciones químicas producidas por la corriente eléctrica y la generación de electricidad producida por medio de transformaciones químicas. Puede definirse también como una rama de la fisicoquímica que trata de la interacción de los fenómenos químicos y eléctricos, así como del estudio de las propiedades eléctricas de las soluciones electrolíticas estableciendo una relación entre la acción química y la eléctrica de tales sistemas.

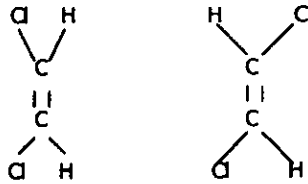
### **ENANTIÓMERO [38]**

Son estereoisómeros estructurales que son imágenes especulares uno entre otro. Los enantiómeros se presentan en los compuestos cuyas moléculas son quirales.

### **ISÓMERO [37]**

Compuesto que tiene la misma fórmula molecular pero distinta forma estructural. Ejemplo.

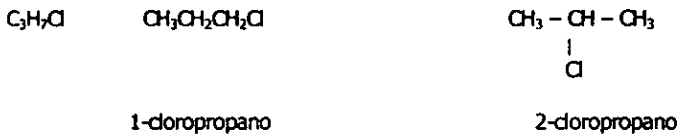
a) Isómeros geométricos:



Cis-1,2-dicloroeteno      trans-1,2-dicloroeteno

Estos dos compuestos son isómeros geométricos porque ambos tienen la misma fórmula molecular  $C_2H_2Cl_2$  y no pueden superponerse.

b) Isómeros de posición:



### MICROBIO [37]

Ser unicelular infinitamente pequeño sólo visible al microscopio.

### MICROORGANISMO [38]

Microbio.



### **MONÓMERO [37]**

Molécula sencilla que es capaz de combinarse con un número de moléculas similares o no similares, para formar un polímero; constituye una estructura que se repite en la molécula de un polímero.

### **POLÍMERO [37]**

Los polímeros son compuestos formados por moléculas muy grandes constituidas por subunidades que se repiten. Las unidades moleculares que se utilizan para sintetizar los polímeros se denominan monómeros y las reacciones mediante las cuales se unen entre sí los monómeros se llaman reacciones de polimerización.

Los polímeros se utilizan en la construcción de un enorme grupo de objetos que nos rodean, desde la ropa que utilizamos hasta un sin número de partes de medios de transporte, fabricas de todo tipo; maquinaria, etc. El desarrollo de los procesos mediante los cuales se fabrican los polímeros sintéticos ha sido, más que ningún otro factor aislado, el responsable del fantástico crecimiento de la industria química de este siglo.

### **POLAROGRAFÍA [36]**

El método polarográfico consiste en medir la intensidad de corriente que fluye por un electrodo de gota de mercurio en función del potencial aplicado.

### **QUIRALIDAD [37]**

Cuando un objeto no puede superponerse con su imagen de espejo se llama quiral. Si un objeto y su imagen especular pueden coincidir en el espacio entonces se dice que son quirales.

La palabra quiral proviene del griego "Cheir" que significa mano. Se dice, que los objetos quirales (incluyendo las moléculas) se parecen a las manos. El término quiral se utiliza para describir a las moléculas porque los enantiómeros se relacionan entre sí en la misma forma que una mano izquierda se relaciona a una mano derecha. Cuando se observa una mano derecha en un espejo, la reflexión de la mano izquierda es una mano derecha. Sin embargo las manos izquierda y derecha

no pueden superponerse. Este hecho se hace muy evidente cuando se fracaza al intenta colocar un guante correspondiente a la mano derecha con el correspondiente al de la mano izquierda y viceversa.

### **SOSA (NAOH) [38]**

Sólido blanco, deliquescente, principalmente en forma de barras, terrones o copos. Soluble en agua, alcohol y glicerol. Se obtiene de la electrólisis del cloruro sódico, reacción entre el hidróxido cálcico y carbonato sódico. Peligros: corroe los tejidos en presencia de humedad, fuerte irritante para los tejidos (ojos, piel, membranas mucosas). Se usa en la manufactura de productos químicos; aluminio, detergentes, jabón, procesos textiles, refinado de aceite vegetal, reactivo de laboratorio, regeneración de resinas de iones intercambiables.

## ANEXO I

El siguiente cuestionario es una guía, por lo que usted puede contestar lo que juzgue conveniente.

### **CUESTIONARIO**

Nombre

Fecha de nacimiento

Nacionalidad

¿Dónde realizó sus estudios?

¿Cómo surgió su interés en la Electroquímica?

Describa muy brevemente a nivel de divulgación (bachillerato) sus aportaciones en el campo de la electroquímica?

Cualitativamente ¿cómo considera que han sido los avances en el campo de la electroquímica?

Resumen cualitativo de su curriculum (no más de media cuartilla)

¿Qué le gustaría transmitir a la juventud de su experiencia personal en la vida y/o en el ámbito profesional de la electroquímica?

Mencione los premios y distinciones que ha ganado

Sugiera nombres de electroquímicos contemporáneos que deberían ser mencionados en un libro acerca de la historia de la electroquímica

Podría enviarnos el e-mail, Fax, dirección o teléfono donde pudiéramos localizar a los electroquímicos que usted sugiere.

## ANEXO II

1. "Cooling rate effect in the cast magnesium sacrificial anode structure and its corrosion evaluation". G. Salas, M.E. Noguez and J. Genesca Primer Congreso de Corrosión NACE- Región Latinoamericana. Maracaibo, Venezuela (1994). Pag. 94064/1-94064/12.
2. "Influencia de los tratamientos térmicos en un ánodo de magnesio evaluado bajo ASTM G-97-89". G. García, B. Campillo, J. Genesca, J. Juárez, C. Rodríguez y L. Martínez Primer Congreso de Corrosión NACE- Región Latinoamericana. Maracaibo, Venezuela (1994). Pag.94056/1-94056/10.
3. "Comportamiento electroquímico del Magnesio como ánodo galvánico".L. Betancourt, J.C. Lee, C. Rodríguez y J. Genesca AFINIDAD (1995)52 (458) 258-266
- 4 "An Improvement of the Anodic Efficiency of Commercial Mg Anodes". B. Campillo, C. Rodríguez, J. Juárez, J. Genesca and L. Martínez NACE Corrosion'96. Houston, Texas, 1996. paper # 201. Pag. 201/1-201/18.
5. "Electrochemical Behavior of a Magnesium Galvanic Anode under ASTM Test Method G 97-89" J. Genesca, L. Betancourt and C. Rodríguez, Corrosion (1996)52 (7) 502-507
6. "Effect of Heat Treatment on the Efficiency of Mg Anodes", B. Campillo, C. Rodríguez, J. Genesca, J. Juárez-Islas, O. Flores and L. Martínez, Journal of Materials Engineering and Performance (1997)6, 449-453
7. "Assesing and Improving Current Efficiency in Magnesium Base Sacrificial Anodes by Microstructure Control", J. Genesca, C. Rodríguez, J. Juárez, B. Campillo and L. Martínez, Corrosion Reviews (1998)16 (1-2) 95-125
- 8 "Electrochemical Testing of Galvanic Anodes" J. Genesca, L. Betancourt, L. Jerade, C. Rodríguez and F.J. Rodríguez, in Electrochemical Methods in Corrosion Research VI. Ed. Pier Luigi Bonora and F. Deflorian, Materials Science Forum, Vols. 289-292, pp. 1275-1288, ISBN # 0-87849-819-2, Trans Tech Publications Ltd, Uetikon-Zuerich, 1998.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Enciclopedia de México*. Alvarez José Rogelio, **1993**, 5,2467-2468. Sabeca Internacional Investment Corporation c/o Enciclopedia Britanica de México S.A. de C.V.
2. *La Química hacia la conquista del sol. La ciencia para todos*. Rius de Riepen Magdalena, Castro Acuña Carlos M. **1997**, 36-72. Fondo de Cultura Económica.
3. *Más allá de la Herrumbre I*. Avila Javier / Genescá Joan. **1986**, 17-37. La Ciencia desde México. Fondo de cultura económica.
4. *Rapidez de corrosión microbiológica*. Tejada Castañeda Silvia; Vierna García Lilia. Anuario Latinoamericano de Educación Química. San Luis Argentina, Universidad Nacional Autónoma de México. **98-99**, 221-226. Comité Editorial Universidad Nacional de San Luis.
5. *Bioquímica*. Bohiski, R.C. **1991**, 357-361. Fondo Educativo Interamericano.
6. *Biological Corrosion of Welded Steel Due To Marine Algae* C.R. Da sand K.G. **1984**, 893-898. NACE
7. *Corrosion Handbook*. H.H.Uhlig. J. Elec.Soc. Inc. **1987**,8(12),185-193. New York.
8. *Más allá de la Herrumbre II, la lucha contra la corrosión*. La ciencia desde México. Ávila Javier / Genescá Joan. **1989**, 37-48. Fondo de Cultura Económica.
9. *Corrosion ASTM Handbook: Kinetic of Aqueous corrosion*. J. Korb Lawrence and L. Holson David. **1973**, 13,2936.
10. *Effect of welding on the microstructure and electrochemical corrosion of Al-Zn-Mg-Fe alloys*. Benedetti AV, Cabot PL, Garrido JA, Moreira AH. (Moreira AH, Univ.Fed Ceara, Dept Quim Analit & Fis Quim, Campus Pici Bloco 940, BR-60451970 Fortaleza, Cera, Brazil). *Electrochemica Acta*. **2000**, 45(14),2187-2195. Pergamon-Elsevier Science Ltd, Oxford.
11. *Localised effects of macrofouling species on electrochemical corrosion of corrosion resistant alloys*. Neville A, Hodgkiess T. (Heriot Watt Uni. Dept Mech & Chem Engn, Edinburg EH144AS, Mildlothian, Scotland. Univ Glasgow, Dept Mech Engn, Glasgow G128QQ, Lanark, Scotland) *British Corrosion Journal*. **2000**, 35(1),54-59. Inst Materials, London.

12. *Electrochemical noise as a Powerful Electrochemical Technique for Corrosión Studies*. Uruchurtu C. Jorge, Malo José M. Publicación del Instituto de Investigaciones Electricas. **1984**,450-453.
13. *Mapping corrosion kinetics using the wire beam electrode in conjunction with electrochemical noise resistance measurements*. Curta, YJ; Bailer, S; Kinsella, B; Lowe, A. (Curtin Univ Technol, Sch Appl Chem, Western Australian corros Res Grp, Prth, WA 6001, Australia). Journal of the Electrochemical Society. **2000**, 147(2), 530-539. Electrochemical Soc. Inc.
14. *Corrosión*. Uruchurtu C. Jorge, Malo José M., García E. Mariaca L, Martínez A. Corrosion.**1996**, 52(11), 872-879.
15. *Rev Metal*. Bastidas J.M., Malo J.M. J. Electrochemical Soc. Madrid.**1985**, 21 (6) 337-341.
16. *Rev Metal*. Monticelli C., Brunoro G., Frignan A, Trabanel G. J. Electrochemical Soc. **1992**,139(3),706-711.
17. B.S. Skerry, D.A. Eden. *Progress in organic Coatings*. Electrochem. Acta. **1987**, 15(32), 269-285.
18. *Corrosion*. R.A. Cottis, C.A. Loto. J. Chem. Educ. **1990**,46(1), 12-19.
19. *Ruido Electroquímico una alternativa a las Técnicas Electroquímicas*. García Ochoa Esteban. C. Comunicación personal. **1996**, 437-440.
20. *Electrochemical Noise Measurement for corrosion*. J.R. Kearns, J.R. Scully, P.R. Roberge. Corrosion. **1996**,7(23),1845-1849.
21. *Materiales para Ingeniería*. L-H Van Vlack. Departamento de Química y Metalurgia, Universidad de Michigan. Compañía Editorial Continental S.A. CECSA, México.**1980**, (5)153-157
22. *Photoelectrochemistry; introductory concepts*. H.D. Finklea, J. of Chem. Educ. **1983**, 60 (4), 325-327. BOARD.
23. Del Valle J.L ANES *La generación directa, la energía a partir de la energía solar*. Organo informativo de la asociación nacional de energía solar.**1981**,1(1),8-10
24. Castro Acuña C.M *Sistemas fotoelectroquímicos. Area de investigación poco desarrollada en México*. La Revista Solar. **1985**,(10), 10-12.

25. *RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications*. E. L. Role, E. L. Newirk. Jonh Wiler e Hijos S.A. **2000**,1232. NTIS.
26. *Seebeck Coefficient and the Thermoelectric Figure of Merit in Semiconductors and Conducting Polymers*. B.F. Howell; J.W.Dickey; H.Uberall. Chlorofluorcarbon; Fermi-dirac functions. **2000**,97. NTIS.
27. *The Electric Conductivity of Polymers a General Approach*. Weiter M. ; Krěma F. Zmeřkal O. (Faculty of Chemistry, Brno University of Technology, Purkřynova 118,612 00 Brno, Czech Republic). Fakulta chemická VUT v Brn. **2000**, 5(17), 435-350.
28. N.L.Allinger *Química*. Reverté, España **1981**, 325-236.
29. *Chem. & Eng. News*. R. Johnson. **1984**, 62 (43)
30. *Investigation and comparison of the electrochemical behavior some organic biological molecules at various conducting polymer electrodes*. Karagozler AE, Erdogdu G. (Inonu Univ, Fac Educ, Dept Chem, Tr-44069 Malatya, Turkey). *Talanta*. **1997**,44(11), 2011-2018. Elsevier Science BV, Amsterdam.
31. *Study of the kinetics of oxygen reduction on polyaniline films*. Deilí K. Sánchez, Monstany J. Shcharifker B. (Departamento de Química, Universidad Simón Bolívar, Apartado postal 89000, Caracas 1080-A). *Electroquímica Molecular*. **2000**, 45(8), 435-440.
32. *Síntesis y reducción de  $\gamma$ -benzoil butirato de etilo*. Tesis. Romero Ávila Margarita. Tesis. Facultad de química UNAM**1987**, 25-30.
33. *Aplicaciones Electroquímicas para el Saneamiento Ambiental*. Ibañes Cornejo Jorge. G. *Educación Química*. **1997**, 8(1), 43-45.
34. *La Electroquímica en el Tratamiento de Aguas*. Ponce de León Carlos. División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. México. **1998**, 321-325.
35. Tejada Castañeda Silvia/ Salas Sánchez Juan Manuel. *Glosario de Términos de Corrosión* Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. México, **1995**.

36. Costa José M. *Fundamentos de Electróica. Cinética Química y sus aplicaciones*. Alhambra. **1981**, 28-31.
37. *Química Orgánica*. T.W. Solomons. Limusa, México.**1985**, 359-365.
38. *The Merck Index*. Susan Budovari, Magdalene J., Smith Heckerman. **1996**, 325,465.
41. *Chem.Rev.* Popp.Frank, D. AND Shultz Harry.**1962**, 62,1914.

#### **Publicaciones Electrónicas.**

39. [www.qd.fcen.uba.ar/elec2000.htm](http://www.qd.fcen.uba.ar/elec2000.htm)
40. [www.labeq.usb.ve/xSveq/molecular2.htm](http://www.labeq.usb.ve/xSveq/molecular2.htm)