

# Procesos REDOX espontáneos y corrosión electroquímica Con materiales de uso cotidiano

Amato Alfredo, de los Ríos Alejandra\*, Garrido Graciela, Leiva Daniel,  
Ferrón Teodoro, Clozza Mario, Aranibar Liliana

*Cátedra de Química General. Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas.  
Universidad Nacional de La Matanza. F. Varela 1903. (B1754JEC). San Justo.  
Provincia de Buenos Aires. Argentina. [alerios02@yahoo.com.ar](mailto:alerios02@yahoo.com.ar)*

## RESUMEN

En este trabajo se describe una práctica de laboratorio para desarrollar el tema de Electroquímica en la asignatura Química General, correspondiente a la carrera de Ingeniería Industrial, con el propósito de presentar una actividad capaz de proveer una articulación adecuada con el nivel de educación media, promoviendo actitudes científicas en los estudiantes. Se presenta un enfoque basado en los cambios de energía, mediante la realización en primer término de una experiencia utilizando celdas de corrosión compuestas por ánodos de sacrificio comerciales y cátodos de monedas conectadas en serie en solución salina, para alimentar un motor eléctrico, simulando condiciones más próximas a las cotidianas a diferencia de las establecidas en el laboratorio. No se procura obtener una celda eficiente o perdurable en el tiempo ni medir potenciales estándar, sino observar los procesos redox espontáneos que dan lugar a la obtención de energía eléctrica y los efectos de la corrosión electroquímica, empleando un ánodo comercial para termotanques. Debido a los fenómenos de sobre potencial para el caso de los aniones  $\text{Cl}^-$  provenientes de la solución de cloruro de sodio, se propone a los estudiantes reiterar la experiencia haciendo ensayos con otras soluciones. En la segunda experiencia implementada los estudiantes proceden a la determinación de la pureza del ánodo comercial midiendo con el multímetro la diferencia de potencial real, lo cual les permite inferir que el ánodo es impuro, es decir una aleación. Esta práctica facilita la visualización de reacciones químicas redox para producir energía eléctrica vinculando sus aprendizajes con la realidad, comprobando además que los procesos redox de corrosión generalmente involucran reacciones exotérmicas. La originalidad de la propuesta reside en la simplicidad de su realización y comprensión, en su articulación con los saberes previos que poseen los estudiantes, el empleo de materiales de uso común y la interpretación de los conceptos trabajados en la asignatura.

Palabras clave: reducción, oxidación, electroquímica, corrosión, ánodo de sacrificio

## SUMMARY

With the purpose of presenting an activity able to provide adequate coordination with the secondary education and promoting scientific attitudes in students, it is described a practice in laboratory to develop Electrochemistry, a topic of General Chemistry, subject of the career of Industrial Engineering. It is based on energy changes, with an experience using commercial anodes and connected coins as cathodes in a saline solution to power an electric motor, showing that processes occur not only in laboratory conditions but also in everyday experiences. The objective is not to obtain an efficient cell or measure standard potentials, but to observe spontaneous redox processes that produce electrical energy and the effects of electrochemical corrosion. The experience is reiterated with other solutions, avoiding the phenomena caused by  $\text{Cl}^-$  anions from the solution of sodium chloride. A second experience is conducted to determinate the purity of the anode used, measuring with a multimeter the difference of actual potential, allowing the students to infer that the anode is impure, that is an alloy. This practice facilitates the visualization of redox chemical reactions to produce electrical energy, linking theory with reality, and checking that corrosion redox processes generally involve exothermic reactions. The originality of these activities lies in the simplicity of its realization and understanding, the articulation with the prior knowledge that students possess, the use of simple materials and the interpretation of concepts worked in General Chemistry.

Keywords: reduction, oxidation, electrochemistry, corrosion, commercial anode

## 1. INTRODUCCIÓN

Suele definirse Química como la ciencia que estudia la materia, sus propiedades y estructura, las transformaciones que ésta experimenta y los cambios de energía que las acompañan.

Química General es una asignatura de primer año de todas las Carreras de Ingeniería dictadas en la Universidad Nacional de La Matanza. En los campos de la Ingeniería, la experiencia y la práctica son aplicadas con criterio y reflexión al desarrollo de medios para utilizar los materiales y las fuerzas de la naturaleza de manera económica y eficiente, con responsabilidad social y basados en una ética profesional, para beneficio de la humanidad [1].

Proponemos un enfoque basado, precisamente, en los cambios de energía, mediante la realización de dos experiencias de laboratorio utilizando materiales de uso común: celdas de corrosión con ánodos de sacrificio comerciales y cátodos de monedas, conectadas en serie para alimentar un motor eléctrico y, por otra parte, una aproximación a la determinación de la pureza de un ánodo de sacrificio comercial por comparación de potenciales electroquímicos con metales puros.

Los objetivos de la propuesta son:

- Presentar prácticas de laboratorio sencillas, capaces de proveer una articulación adecuada con el nivel de educación media.
- Favorecer las actitudes científicas en los estudiantes.
- Brindar herramientas para la comprensión de conceptos químicos y destacar la importancia de las reacciones químicas en aspectos de la realidad.
- Afianzar en los estudiantes la noción de reacciones químicas redox para producir energía eléctrica.

## 2. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS

¿Por qué el interés en trabajos y experiencias capaces de proveer una articulación apropiada con el nivel medio? En la Universidad Nacional de La Matanza, entre el 9% y el 12% de los estudiantes de primer año<sup>1</sup> de las carreras de Ingeniería provienen de escuelas medias en las que han cursado asignaturas como Química o Físico-Química tempranamente en el nivel educativo y/o con niveles diversos según la orientación; de aquí la importancia de ofrecer al alumno propuestas didácticas sencillas, para proporcionar un tránsito accesible desde los modelos macroscópicos a los modelos microscópicos utilizados en Química. Por otra parte, uno de los propósitos en Química es favorecer las actitudes científicas en los estudiantes, necesarias para el correcto aprendizaje y ejercicio de las ciencias [2]. Tratándose de una asignatura de primer año el requisito previo para cursarla es la aprobación del Curso de Admisión para las carreras de Ingeniería. La asignatura es teórico – práctica. Además de las clases presenciales teóricas y de resolución de problemas, se desarrollan Prácticas de Laboratorio. Una de estas prácticas comprende las experiencias de Electroquímica, marco de la presente propuesta.

## 3. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPUESTAS EDUCATIVAS

### 3.1. Celdas de corrosión con materiales de uso cotidiano

Uno de los propósitos de la experiencia es simular condiciones más próximas a las cotidianas, a diferencia de las establecidas en el laboratorio. Existen diversos ejemplos y aplicaciones como la “pila de limón” o *lemon battery*, ampliamente utilizada en experiencias como estrategia didáctica [3] y las baterías de los automóviles, entre otros. Daniell en su pila implementó el uso de dos vasos y un puente salino que evita que los cationes de la solución catódica alcancen el ánodo y sufran una reducción directa. La ventaja de la pila de Daniell respecto a otras de su tiempo fue la constancia de la tensión generada, debido a la configuración que facilita la despolarización y a la reserva de electrolito, que permite mantener su concentración durante más tiempo. La separación de vasos también permite obtener con exactitud el potencial de cada electrodo, en razón de las condiciones estándar. Sin embargo, en la experiencia propuesta no se procura obtener una celda eficiente o perdurable en el tiempo ni medir potenciales estándar, sino observar los procesos redox espontáneos que dan lugar a la obtención de energía eléctrica y los efectos de la corrosión electroquímica.

#### 3.1.1. Materiales utilizados

- Ánodo de sacrificio de Zn/Mg/Al comercial (utilizado para la protección de termotanques).
- Conectores con pinzas cocodrilo.
- Monedas de 50 centavos (92% Cu, 8% Al), representan las placas de cobre.
- Solución acuosa concentrada de NaCl.
- Multímetro digital.
- Motor sled de lectora de CD de 3 Vcc.
- Cubetas plásticas transparentes de 100 ml.

---

<sup>1</sup>Datos obtenidos de las Encuestas Cuatrimestrales de Evaluación de Cursada (2012 – 2015).

### 3.1.2. Desarrollo

El ánodo comercial es una varilla cilíndrica de longitud: 60 cm y diámetro: 16 mm. Estos ánodos para termotanque pueden adquirirse en ferreterías especializadas. Se cortan con sierra manual tres trozos de unos 5 cm de longitud. A cada trozo se le practica, por mecanizado con amoladora, una pequeña muesca saliente en una de sus bases, con el propósito de asir en ella la pinza cocodrilo.

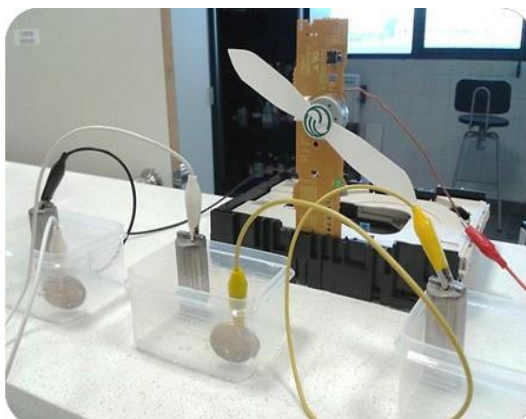


Figura 1: Disposición del equipo para la experiencia

Se preparan 3 (tres) celdas utilizando los trozos del ánodo comercial. El otro electrodo está formado por una moneda de 50 centavos (92% Cu, 8% Al) en cada celda. Se utiliza una solución concentrada de NaCl, a temperatura ambiente de 21°C. Las celdas se conectan en serie y sus extremos últimos, con pinzas cocodrilo, a cada polo del motor sled, como se aprecia en la Figura 1. El motor de corriente continua es una máquina polarizada, de modo que la inversión de polaridad implicará una inversión en el sentido de giro. En este caso, a los fines prácticos de visualización de la experiencia, el modo de conexión es indistinto. Mediante el multímetro, se ha medido una ddp de 1,47 V por celda.

### 3.1.3. Ideas eje y conceptos clave

- Las reacciones de óxido-reducción involucran transferencia de electrones. Su ocurrencia es simultánea.
- Desde el enfoque *energético* (Figura 2): la causa de la corrosión de un metal es consecuencia de su existencia natural en forma combinada. Para alcanzar el estado metálico (puro) se requiere una cierta cantidad de energía. Esta energía varía de un metal a otro: es relativamente alta para el magnesio, el aluminio y el hierro, y relativamente baja para el cobre, la plata y el oro.
- Corrosión galvánica: ocurre cuando metales distintos se unen eléctricamente en presencia de un electrolito. Es decir, cuando metales diferentes se encuentran en contacto, esto ocasionará la actuación de un metal como ánodo y otro como cátodo. A mayor ddp (TPE o serie electroquímica) el material de menor potencial de reducción ( $\epsilon^0_{RED}$ ) actuará como ánodo.
- Reacciones anódicas (oxidación, metal menos noble, corrosión, se degrada):



Es muy frecuente, si existen cloruros (Cl<sup>-</sup>):



- Reacciones catódicas más frecuentes (reducción, elemento más noble, resulta protegido, no se degrada):



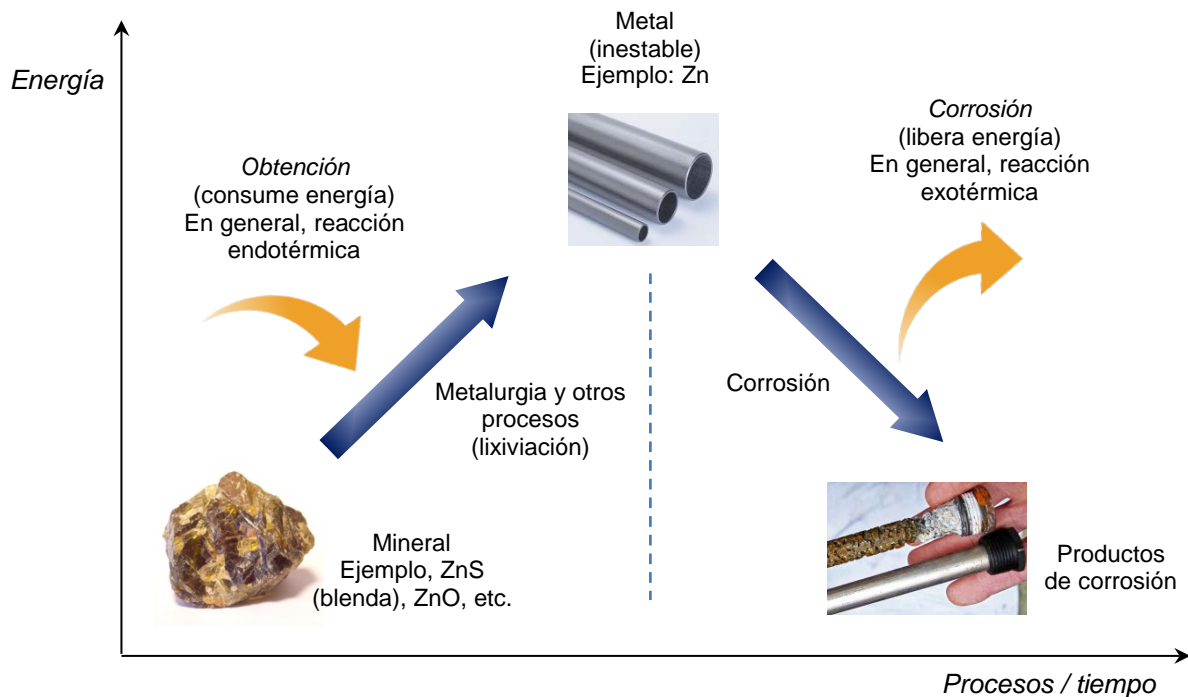


Figura 2: Esquema desde el enfoque energético

### 3.1.4. Ensayos con otras soluciones

Debido a los fenómenos de sobrepotencial para el caso del cloro (aniones  $\text{Cl}^-$  provenientes de la solución de  $\text{NaCl}$ ), se propone reiterar la experiencia utilizando *vinagre de alcohol* comercial como electrolito. Con el multímetro digital se mide ahora una ddp de 1,58 V por celda; y se acciona igualmente el motor con las tres celdas conectadas en serie. Sin embargo, en este caso se observa un ataque más visible en el ánodo comercial que en el caso de la solución de  $\text{NaCl}$ . Sobre la superficie del electrodo se forma rápidamente una capa de óxido de color negro y se desprenden abundantes burbujas de hidrógeno gaseoso. Esto se debe a la *combinación directa* de una parte de los electrones en la superficie del ánodo con los iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) de la solución, produciendo hidrógeno gaseoso ( $\text{H}_2$ ). El ánodo comercial pierde electrones y los átomos de los elementos capaces de oxidarse que forman la aleación se transforman en iones  $\text{Me}^{n+}$  que se disuelven en el vinagre. Los electrones viajan por el circuito externo, alimentan el motor eléctrico y llegan a la moneda sumergida. En su superficie, los iones hidrógeno  $\text{H}^+$  disueltos en el vinagre recogen los electrones y se forma hidrógeno gaseoso. Sobre la superficie de la moneda también se pueden observar pequeñas burbujas de hidrógeno gaseoso. La reacción química global que tiene lugar en la celda se representa mediante la ecuación:



Para que la pila funcione es necesario que la corriente circule por el interior de la misma. Esta circulación de corriente que cierra el circuito es una consecuencia del movimiento de los iones positivos  $\text{H}^+$  y  $\text{Me}^{n+}$  hacia la moneda que actúa como cátodo, y de los iones acetato  $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ , presentes en el vinagre, hacia el ánodo comercial. Cabe destacar que existen diversas variantes para estas experiencias. Liberko propone utilizar celdas separadas por un “puente salino” eficiente: en un recipiente el ánodo de cinc estaría sumergido en agua con un electrolito que *podría ser el mismo que el del puente*,  $\text{NaCl}$ . Esto último es necesario para «disminuir la resistencia interna de la pila, ya que en caso contrario la intensidad de corriente sería muy baja. En el otro recipiente el cátodo de cobre se encuentra sumergido en vinagre. Ambos recipientes están conectados por la esponja empapada en  $\text{NaCl}$ » [4].

Cabe destacar que utilizando vinagre de alcohol como electrolito, al extraer los ánodos al cabo de unos 5 minutos de funcionamiento, se perciben éstos a una temperatura mayor a la temperatura ambiente. Se reitera la experiencia; una vez transcurrido el mismo tiempo, se sumerge el bulbo de un termómetro en la solución, en la cercanía de uno de los ánodos. Se registra una temperatura de 26°C. Esta observación – además de la energía eléctrica obtenida para el accionamiento del motor – también pone de manifiesto la naturaleza energética de la reacción ocurrida, como se ilustra en la sección derecha de la Figura 2.

En la Tabla 1 se detallan las tensiones obtenidas en los diferentes ensayos, a temperatura ambiente de 21°C.

Tabla 1: Tensiones por celda para diversas soluciones.

Solución utilizada	Concentración	Tensión medida (Vcc) por celda
NaCl (ac)	24% m/m	1,47
NaCl (ac) + gotas H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (100 vol.)	24% m/m y 100 vol.	1,54
Vinagre de alcohol	3–5%	1,58
CuSO <sub>4</sub> (ac)	1 M	1,43
ZnSO <sub>4</sub> (ac)	1 M	1,25

### 3.2. Determinación de la pureza de un ánodo de sacrificio comercial

La corrosión galvánica es un proceso electroquímico en el que un metal se degrada cuando está en contacto con un metal **diferente** (más noble) y ambos metales se encuentran inmersos en un electrólito o medio húmedo, generándose una tensión o diferencia de potencial eléctrico. De aquí se deduce que utilizando metales iguales (dos piezas del mismo metal) en las mismas condiciones experimentales, **no** se originará una diferencia de potencial.

El interrogante en el caso de esta experiencia es acerca del grado de pureza del ánodo de sacrificio comercial, puesto que, a menudo, se lo comercializa con el nombre de “ánodo de magnesio”. Siendo que mayormente se trata de aleaciones, entre los posibles elementos constituyentes consideramos los metales alcalinos, alcalino- térreos, aluminio, cinc y cromo. Teniendo en cuenta las propiedades de los metales alcalinos (Li, Na, K) y los alcalino-térreos (Be, Ca, Sr), éstos quedaron descartados porque son demasiado activos (tienen un sobrepotencial de hidrógeno pequeño y un potencial de disolución muy elevado) y otros, como el cromo (Cr), también se descartaron por ser fácilmente pasivables y además – en su caso – un metal pesado más contaminante. Debido a estas consideraciones, los metales que podría contener el ánodo además de magnesio (Mg) son el cinc (Zn) y el aluminio (Al).

El Zn ha sido siempre el material anódico clásico, y es el pionero en el desarrollo de la protección catódica. El Al es un material anódico de gran interés por sus características electroquímicas. Sin embargo, la obtención de aleaciones de aluminio adecuadas para ánodos de sacrificio ha sido más lenta que las de los otros dos metales, que en los últimos años han tenido un gran desarrollo. El objetivo de esta práctica consiste en determinar mediante la medición de diferencias de potencial electroquímico la posible composición cualitativa de un ánodo de sacrificio comercial.

#### 3.2.1. Materiales utilizados

- Ánodo de sacrificio de Zn/Mg/Al comercial (utilizado para la protección de termotanques).
- Conectores con pinzas cocodrilo.
- Trozo de aluminio
- Placas de cobre.
- Granalla de cinc
- Cinta de magnesio.
- Solución acuosa concentrada de NaCl.
- Multímetro digital.
- Cubetas plásticas transparentes de 100 ml.

#### 3.2.2. Desarrollo

Se construyó una celda galvánica empleando como electrodo un ánodo de sacrificio comercial (que se comercializa bajo el nombre “ánodo de magnesio”) y en el otro electrodo, distintos metales. El ánodo comercial consiste en una varilla cilíndrica de 60 cm de longitud y 16 mm de diámetro. Estos ánodos para termotanque pueden obtenerse en ferreterías especializadas en materiales y equipos para agua y gas. De la varilla, se cortan con sierra manual trozos de unos 5 cm de longitud. A cada trozo se le ha practicado, por mecanizado con amoladora, una pequeña muesca saliente en una de sus bases, con el propósito de asir en ella la pinza cocodrilo. Se ha discutido sobre la posibilidad de insertar un tornillo para este fin, pero dicha alternativa se descarta para evitar la inclusión de otro metal diferente en el sistema. En primera instancia (medición 1) se prepara una celda utilizando un trozo del ánodo comercial. El otro electrodo está formado por una placa de cobre. Se utiliza en todos los casos una solución concentrada de NaCl, a temperatura ambiente de 21°C. Mediante el multímetro JA-840 en escala de 2 Vcc, se registra la diferencia de potencial. Se repite la experiencia (medición 2) empleando ahora como ánodo un electrodo de magnesio puro. Se registra la ddp con el multímetro.

Se desconoce la composición exacta del ánodo de sacrificio comercial, por lo que se realizó la siguiente determinación: se midió el potencial con un multímetro digital utilizando dos electrodos en una solución saturada de NaCl. Uno de los electrodos se obtiene cortando un trozo de unos 5 cm de longitud de la barra del ánodo de sacrificio comercial, y el otro electrodo está formado por

una granalla de Zn puro del tamaño adecuado. Se lavan ambos electrodos con agua corriente, frotándolos con una fibra esponja verde. Se enjuagan con agua destilada. Se mide la ddp (medición 3).

Se repite la medición utilizando el mismo ánodo comercial (previamente lavado) y un trozo pequeño de cinta de Mg puro de 4 mm de longitud y 6 mm de ancho, que también se limpia cuidadosamente antes de la experiencia. En estas condiciones, se mide la ddp con el mismo multímetro (medición 4).

### 3.2.3. Resultados

La experiencia se inició armando una celda galvánica, empleando como uno de los electrodos un trozo de ánodo de sacrificio comercial y el otro electrodo con una placa de cobre. Se registró la diferencia de potencial (ddp) de + 1,42 V en la celda (medición 1), dato que difiere del valor estándar teórico (ver Tabla 2) obtenido de la expresión:

$$fem_{\text{pila}} = \epsilon^0_{\text{RED cátodo}} - \epsilon^0_{\text{RED ánodo}} \quad (8)$$

aplicada al magnesio, al aluminio y al zinc puros, es decir:

$$fem_{\text{pila}} = + 0,34 \text{ V} - (-2,37 \text{ V}) = + 2,71 \text{ V} \quad (9)$$

$$fem_{\text{pila}} = + 0,34 \text{ V} - (-1,66 \text{ V}) = + 2,00 \text{ V} \quad (10)$$

$$fem_{\text{pila}} = + 0,34 \text{ V} - (-0,76 \text{ V}) = + 1,10 \text{ V} \quad (11)$$

El valor + 1,42 V, sin embargo, resulta intermedio entre los anteriores, como se representa en el gráfico de la Figura 3.

Se repitió la experiencia (medición 2) utilizando un electrodo de magnesio puro, registrándose valores acordes a lo esperado. Los ánodos de aleaciones de magnesio han sido utilizados con éxito; principalmente se emplean para la protección de estructuras que requieren de una polarización rápida, o en medios agresivos de resistividad elevada, como en los suelos.

Los estudiantes hallaron discrepancias entre el valor teórico (tabla de potenciales estándar) y la ddp real medida con el multímetro, lo cual les permitió inferir que el ánodo era impuro; es decir, una aleación. No obstante, observaron que las tendencias redox de los pares metálicos se mantienen aunque las condiciones<sup>2</sup> no sean estándar.

La problemática surgida fue entonces cuál era la composición del ánodo comercial. Teniendo en cuenta la tabla de potenciales, un metal tendrá carácter anódico con relación a otro, si se encuentra por encima de él en esta serie (es decir, presenta un potencial de reducción menor). Así, por ejemplo, el hierro será anódico respecto al cobre y catódico respecto al zinc (Tabla 2). El metal que actúa como ánodo se *sacrifica* a favor del que actúa como cátodo, por eso a este sistema se le conoce como *protección catódica* por ánodo de sacrificio.

Tabla 2: *Tabla de potenciales estándar de reducción (fragmento)*

Semirreacción	E <sup>0</sup> (v)
Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Li	-3,05
K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → K	-2,93
Ba <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ba	-2,90
Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ca	-2,87
Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Na	-2,71
Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mg	-2,37
Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Al	-1,66
Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Zn	-0,76
2 CO <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,49
Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Fe	-0,44
Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ni	-0,25
Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Pb	-0,13
<b>2 H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub></b>	<b>0,00</b>
S + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> S	0,14
Sn <sup>4+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Sn <sup>2+</sup>	0,15
Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cu	0,34

<sup>2</sup> Respecto de esta tendencia, se explica a los estudiantes que existen tablas llamadas "series galvánicas", desarrolladas para condiciones diferentes a las estándar, para distintos electrolitos (por ejemplo, agua de mar) y diversas aleaciones de uso comercial e industrial.



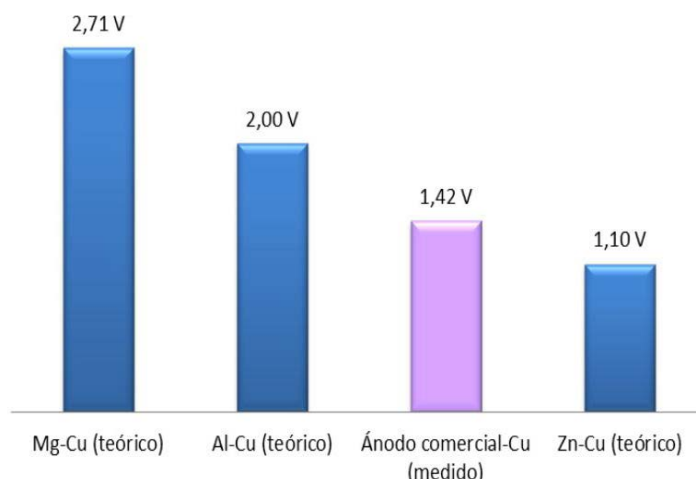


Figura 3: Medición con cátodo de Cu y solución concentrada de NaCl, en comparación con valores estándar teóricos.

Como se mencionó, al desconocer la composición precisa del ánodo comercial, aunque existe numerosa bibliografía acerca del desarrollo de aleaciones eficientes para la producción de ánodos de sacrificio [5], se miden los potenciales del ánodo respecto de los metales puros mayoritariamente utilizados en el desarrollo de ánodos comerciales. Se procede a medir la ddp en la pila con una granalla de zinc puro. En este caso se obtuvo un valor de + 0,26 V. Esto comprueba que el electrodo formado por el ánodo comercial no es de Zn puro (se esperaría, en este caso, una ddp próxima a cero) y se trata, evidentemente, de una aleación con un cierto porcentaje del elemento. En este caso, el ánodo comercial está actuando como tal frente a la granalla de Zn puro. Al repetir la medición en la pila formada entre el ánodo comercial y la cinta de Mg puro (medición 4) se registra una ddp de - 0,13 V. En este caso, las inferencias son análogas al ensayo anterior y se verifica que el ánodo comercial actúa ahora como cátodo frente al Mg puro. Respecto del signo de la tensión medida, se verifica que frente al Mg puro el ánodo comercial actúa como cátodo, oxidándose el Mg.

Por último, al reiterar la experiencia con una lámina de Al puro, se obtiene una ddp de + 0,83 V. El ánodo comercial vuelve a actuar como tal frente al Al puro, comportándose este último como cátodo. La Tabla 3 resume los resultados de estas mediciones.

Tabla 3: Diferencias de potencial medidas entre el ánodo comercial y el Cu y con tres metales puros (usualmente) anódicos.

<b>Actúa como ánodo (se oxida)</b>	<b>Actúa como cátodo (se reduce)</b>	<b>Tensión (ddp) medida (Vcc)</b>
Ánodo comercial	Cobre	+ 1,42
Magnesio	Ánodo comercial	- 0,13
Ánodo comercial	Zinc	+ 0,26
Ánodo comercial	Aluminio	+ 0,83

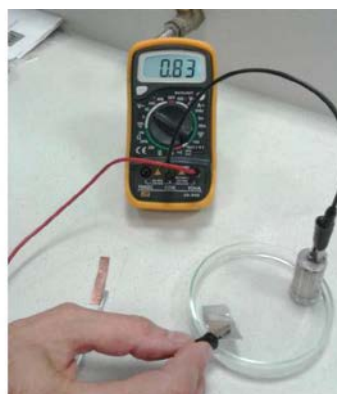
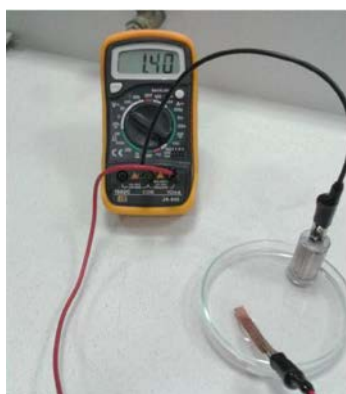


Figura 4: Mediciones de ddp entre el ánodo comercial / Cu (izq.) y el ánodo comercial / Al (der.)

#### 4. EXPECTATIVAS DE LAS PROPUESTAS Y EVALUACIÓN DE LAS MISMAS

A partir de estas experiencias se espera que los estudiantes tomen contacto con materiales de uso cotidiano y apliquen los conocimientos teóricos a situaciones reales a través de una perspectiva de desarrollo de dispositivos y análisis de resultados, comprendiendo que las transformaciones no suceden sin motivo, sino que hay leyes y modelos que las rigen.

##### 4.1. Experiencia 1: Celdas de corrosión con materiales de uso cotidiano

Durante la realización de la experiencia se ha invitado a los estudiantes a formular preguntas, comentarios y conclusiones. Se recogen e informan las siguientes (sic), a modo de ejemplo:

- *¿Cuánto dura el motor funcionando?*
- *¿Se detiene en algún momento?*
- *¿Cuál es el electrodo que se consume?*
- *¿Se consume hasta desaparecer?*
- *¿Por qué se forman burbujas en un electrodo?*
- *¿Es una varilla que siempre viene con el termotanque?*
- *El agua es distinta en diferentes lugares, entonces habrá lugares donde tienen que cambiar los ánodos más seguido...*
- *Entonces, si uso metales más alejados en la tabla de potenciales, la tensión va a ser mayor.*
- *La tensión va a ser mayor pero la pila va a durar menos (respuesta a la anterior).*
- *¿Por qué no usan ánodos de sacrificio para los postes de luz? Se oxidan siempre en la base.*

##### 4.2. Experiencia 2: Determinación de la pureza de un ánodo de sacrificio comercial

Esta experiencia se basa en una implicación dentro del teorema lógico de la doble negación. Al argumentar que *si* "los metales **no** son diferentes" *entonces* "**no** habrá diferencia de potencial", se aborda y espera una comprensión inicial de la lógica aplicada, inherente a la práctica científica.

Dos interrogantes guiaron la búsqueda de explicaciones por parte de los alumnos:

- a) *¿El ánodo de sacrificio comercial utilizado, es de magnesio puro o si se trata de una aleación?*
- b) *Si es impuro, ¿qué posibles metales podrá contener el ánodo comercial considerando que los mismos deben presentar un potencial de reducción menor al del hierro?*

Se recogen e informan los siguientes comentarios de los estudiantes (sic), a modo de ejemplo:

- *Si el cuerpo del termotanque es de cobre o de aluminio, el ánodo lo protege igual.*
- *Si el magnesio puro se oxida incluso frente al ánodo de sacrificio, ¿por qué no se usa magnesio puro en lugar de una aleación?*
- *¿Por qué con el agua caliente siempre hay más problemas de oxidación?*

#### 5. CONCLUSIONES

##### 5.1. Experiencia 1: Celdas de corrosión con materiales de uso cotidiano

Los alumnos lograron experimentar reacciones químicas redox para producir energía eléctrica utilizando materiales de uso cotidiano, vinculando sus aprendizajes con la realidad. Además pudieron comprobar, entre otros aspectos, que los procesos redox de corrosión generalmente involucran reacciones exotérmicas.

##### 5.2. Experiencia 2: Determinación de la pureza de un ánodo de sacrificio comercial

Los estudiantes pudieron verificar que el ánodo de sacrificio comercial es probablemente una aleación de Zn/Mg/Al. No se descarta la existencia de otros metales minoritarios, indetectables debido a la simplicidad de las determinaciones realizadas.

Durante la realización de la práctica comprobaron experimentalmente la tendencia a reducirse u oxidarse de un metal frente a otro según la tabla de potenciales estándar y reconocieron que las series galvánicas, no obstante incluir aleaciones de uso comercial e industrial, revelan tendencias semejantes aunque las condiciones sean diferentes a las estándar.

En general, este tipo de experiencias permite a los estudiantes tomar contacto con aspectos de la realidad y anclar estos nuevos aprendizajes con aquellos logrados en el nivel medio, como así también desenvolverse en un medio acorde con su actividad futura y estar en condiciones de interpretar conceptos que normalmente se emplean en los ambientes dedicados a la Ingeniería y la investigación, evaluar las características del equipamiento que se les ofrece y trabajar en equipo. En el marco del enfoque curricular, el Plan de Estudio de Ingeniería Industrial de la UNLaM se caracteriza por su apertura generalista y flexible que prepara al futuro egresado para actuar en diversos ambientes organizacionales: industrias, servicios, comercios, entre otros. Para ello, prevé una formación integral, con sólidos conocimientos en ciencias básicas.

Asimismo, capacita a los futuros profesionales para interactuar con el entorno y utilizar en forma efectiva los recursos necesarios para la producción (humanos, tecnológicos y financieros) y desarrolla habilidades y competencias para el diseño, la realización y la optimización de sistemas



y procesos de producción con sentido de responsabilidad social, calidad y cuidado del medio ambiente. Es de destacar que, según estimaciones realizadas, en un complejo industrial más del 70% de los materiales constructivos son metales, muy susceptibles al ataque por corrosión debido a la interacción con otras sustancias, con las diferentes atmósferas predominantes o simplemente por su tendencia a reaccionar con el oxígeno del medio ambiente. Este tipo de reacciones genera un proceso destructivo continuo que, dependiendo de las condiciones de exposición, puede ser muy acelerado. El fenómeno de la corrosión genera pérdidas económicas considerables. Su conocimiento y comprensión es el paso inicial para prevenir y/o minimizar el impacto económico que causa este fenómeno, por ejemplo, a través de la implementación de programas de mantenimiento industrial.

La originalidad de las experiencias propuestas reside en la simplicidad de su elaboración y comprensión, en su articulación con los saberes previos de los alumnos, el empleo de materiales de uso común (que los estudiantes reconocen fácilmente) y la visualización aplicable de los contenidos dictados en la Materia.

Las experiencias resultan motivadoras y muestran una valoración favorable de los estudiantes en el sentido de integrar los espacios de enseñanza y aprendizaje que habitualmente distinguimos como "teoría", "prácticas de laboratorio", "problemas" [6]. Las inferencias y comparaciones realizadas por los alumnos son, en su mayor parte, apropiadas.

Los estudiantes preguntan y responden a partir de su experiencia, fuente de sus conocimientos, la cual les permite construir ideas y acciones cotidianas relacionadas con su contexto. Esta experiencia se articula, corrige, consolida y amplía con las prácticas realizadas. Se afianza el manejo y la mejora del lenguaje específico, como la comprensión de las nociones redox involucradas.

## 6. REFERENCIAS

[1] Krick, Edward V. (1978). *Introducción a la Ingeniería y al Diseño en la Ingeniería*. Ciudad de México. 2ª Edición. Ed. Limusa. México.

[2] Hodson, Douglas. (1994) "Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio". *Revista de investigación y experiencias didácticas. Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 12, Nº 3, págs. 299-313. The Ontario Institute for Studies in Education. Toronto, Canadá.

[3] Kelter, Paul; Carr, James; Johnson, Tanya; Castro Acuña, Mauricio. (1996). "The Chemical and Educational Appeal of the Orange Juice Clock". *Journal of Chemical Education*. Vol. 73, Nº 12, págs. 1123-1127. Universidad de Nebraska, U.S.A.

[4] Liberko, Charles. (2007). "A Simple and Inexpensive Salt Bridge for Demonstrations Involving a Galvanic Cell". *Journal of Chemical Education*. Vol. 85, Nº 4, pág. 597. Cornell College. Mount Vernon, U.S.A.

[5] Salas-Banuet, Guillermo; Verduzco-Flores, Laura. (2013). "Diseño de aleaciones para ánodos de sacrificio sustentables". *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, Vol. 16, Nº 1, págs. 26-35. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

[6] Pozo, Juan Ignacio. *Teorías cognitivas del aprendizaje*. (2004). Madrid. 7ª Edición. Editorial Morata. Madrid, España.