

**Formulario de aprobación de curso de posgrado/educación permanente**

**Asignatura: Introducción a la Conversión Electroquímica de Energía**

(Si el nombre contiene siglas deberán ser aclaradas)

**Modalidad:**

(posgrado, educación permanente o ambas)

**Posgrado**

**Educación permanente**

**Profesor de la asignatura <sup>1</sup>: Dr. Fernando Zinola**

(título, nombre, grado o cargo, instituto o institución)

**Profesor Responsable Local <sup>1</sup>: Dra. Verónica Díaz**

(título, nombre, grado, instituto)

**Otros docentes de la Facultad: Dra. Verónica Díaz Gr.4 DT, IIQ, Dra. Erika Teliz Gr3 DT, IIQ., Ing. Federico Sica, Gr1 IIQ**

(título, nombre, grado, instituto)

**Docentes fuera de Facultad: Dr. Fernando Zinola Gr.5 Facultad de Ciencias UdelaR, Lic. Tiago Perez Gr.1 Facultad de Ciencias UdelaR, Lic. Matilde Abboud Gr.1 Facultad de Ciencias UdelaR**

(título, nombre, cargo, institución, país)

<sup>1</sup> Agregar CV si el curso se dicta por primera vez.

(Si el profesor de la asignatura no es docente de la Facultad se deberá designar un responsable local)

[Si es curso de posgrado]

**Programa(s) de posgrado: Maestría en Ingeniería de la Energía, Maestría en Ingeniería Química.**

**Instituto o unidad: Ingeniería Química**

**Departamento o área: Grupo Interdisciplinario Ingeniería Electroquímica (GIIE )**

**Horas Presenciales: 124**

(se deberán discriminar las horas en el ítem Metodología de enseñanza)

**Nº de Créditos: 14**

[Exclusivamente para curso de posgrado]

(de acuerdo a la definición de la UdelaR, un crédito equivale a 15 horas de dedicación del estudiante según se detalla en el ítem Metodología de enseñanza)

**Público objetivo:**

**Cupos: Sin cupo**

(si corresponde, se indicará el número de plazas, mínimo y máximo y los criterios de selección. Asimismo, se adjuntará en nota aparte los fundamentos de los cupos propuestos. Si no existe indicación particular para el cupo máximo, el criterio general será el orden de inscripción, hasta completar el cupo asignado)

**Objetivos:**

Entendimiento de los procesos con transferencia de carga iónica y electrónica en Interfases modelo. Desarrollo de potenciales y corrientes eléctricas.

Aprendizaje y Diseño de celdas de trabajo para estudios en particular: procesos espontáneos e irreversibles.

Interpretación de las reacciones desde el punto de vista de la Ciencia de las Superficies y Membranas.

Familiarización con las técnicas de caracterización para procesos heterogéneos en interfases electrificadas.

Aprendizaje de técnicas electroquímicas y estructurales para caracterizar los materiales y sistemas de almacenamiento y conversión electroquímica de energía.

Interpretación de curvas de operación y curvas características de baterías recargables (carga y descarga, activación, HRD, EIS, etc)

Identificación de variables críticas en el funcionamiento de los dispositivos en estudio.

---

**Conocimientos previos exigidos:**

**Conocimientos previos recomendados:**

---

**Metodología de enseñanza:**

(comprende una descripción de la metodología de enseñanza y de las horas dedicadas por el estudiante a la asignatura, distribuidas en horas presenciales -de clase práctica, teórico, laboratorio, consulta, etc.- y no presenciales de trabajo personal del estudiante)

Descripción de la metodología:  
[Obligatorio]

Detalle de horas:

- Horas de clase (teórico): 60
- Horas de clase (práctico): 21
- Horas de clase (laboratorio): 21
- Horas de consulta: 12
- Horas de evaluación: 10
  - Subtotal de horas presenciales:124
- Horas de estudio: 90
- Horas de resolución de ejercicios/prácticos: 24
- Horas proyecto final/monografía:
  - Total de horas de dedicación del estudiante: 238

---

**Forma de evaluación: Examen final**

[Indique la forma de evaluación para estudiantes de posgrado, si corresponde]

[Indique la forma de evaluación para estudiantes de educación permanente, si corresponde]

---

**Temario:**

**Bol 1.- Electroquímica, la ciencia de las interfases electrificadas.**

1. Introducción.
2. Definición.
3. Electroquímica: la ciencia de la generación de energía del futuro.
4. Descripción de los tres sistemas electroquímicos más comunes.
  4. 1. Generadores de energía (pares galvánicos).
  4. 2. Generadores de sustancia (sistemas electrolíticos).
  4. 3. Corrosión (sistemas autodestructores).

**Bol 2.- Doble capa electroquímica.**

1. Introducción.
2. Fuerzas que dan origen a la Interfase Electrificada
3. Fenómenos de adsorción
4. Electrocapilaridad
5. Estructura de la doble capa electroquímica

**Bol 3.- Fenómenos de Transporte en Sistemas Electrolíticos.**

1. Introducción.
- 1.2. Definición de flujo y velocidad de transporte.
- 1.3. Campos de Fuerza en los Fenómenos de Transporte.
2. Conducción de la electricidad en electrolitos.
  - 2.1. Clasificación de los conductores.
  - 2.2. Resistencia, conductancia y conductividad.
  - 2.3. Definiciones.
  - 2.4. Variación de la conductividad en función de la composición de la disolución.
  - 2.5. Variación de la conductividad con la concentración.
  - 2.6. Variación de la conductancia molar o equivalente con la concentración.
  - 2.7. Relación entre la conductancia molar y las velocidades iónicas.  
Conductancia molar iónica. Migración independiente de los iones.
  - 2.8. Relación entre la conductancia molar y la conductancia molar a dilución infinita.
- 2.9. Teoría de Arrhenius.
- 2.10. Influencia de las atracciones interiónicas.
- 2.11. Revisión de la teoría de Debye-Hückel de la nube iónica.
- 2.12. Teoría de Debye- Hückel-Onsager.
3. Transporte de electrolitos por difusión pura.
4. Transporte de electrolitos por difusión y migración simultáneas.
5. Transporte de electrolitos por difusión-convección.

**Bol 4.- Electrónica.**

1. Introducción a la cinética electroquímica.
2. Sobrepotenciales: una consecuencia de la transferencia neta de carga.
  3. Diferencia de potencial en un sistema electroquímico.
    - 3.1. La situación de equilibrio.

3. 2. Diferencia de potencial fuera del equilibrio.
  4. Mecanismos de Reacción – Etapa determinante de la velocidad.
5. Sobrepotencial de Transferencia de Carga.
  5. 5. Casos especiales de la ecuación de Butler - Volmer.
    5. 5.1. Altos sobrepotenciales.
    5. 5. 2. Bajos sobrepotenciales.
      - 5.6. Relación entre la estructura de la interfase y la velocidad de las reacciones de transferencia de carga.
    - 5.7. Resistencia de transferencia de carga: interfases polarizables y no polarizables.
    5. 8. Corriente Neta Cero: Ecuación de Nernst.
6. Sobrepotenciales de Transferencia de Masa.
  - 6.1. Difusión Pura: Sobrepotencial de Difusión.
  6. 2. Transporte de Masa por Difusión y Migración.
7. Control Mixto: Transferencia de Carga y Masa.
8. Sobrepotencial por Reacción Química.
9. Fenómenos de Superficie – Electrocrystalización.
  10. Mecanismos de Reacción – Casos particulares.
    - 10.1. Reacciones Paralelas.
    - 10.2. Reacciones en múltiples etapas.

**Bol 5.- Pares galvánicos en circuito abierto.**

1. Introducción.
  1. 1. Electrodo y Potencial de electrodo.
  1. 2. Potencial electroquímico de una especie. Actividad iónica.
  1. 3. Potencial de electrodo y su dependencia con la concentración.
2. Clasificación de electrodos.
  2. 1. Introducción.
3. Celdas galvánicas.
  - 3.1. Introducción.
  3. 2. Medición del potencial de electrodo.

- 3. 3. Medición del potencial de una celda galvánica.
- 4. Termodinámica Electroquímica.
- 4.1. Propiedades electroquímicas de las celdas galvánicas bajo condiciones de circuito abierto.
- 4. 2. Trabajo eléctrico en celdas galvánicas.
- 4. 3. Primer principio de la Termodinámica en celdas galvánicas.
- 4. 4. Segundo principio de la Termodinámica en celdas galvánicas.
- 4. 5. Relación entre propiedades termodinámicas y eléctricas en sistemas electroquímicos productores de energía.
- 4. 6. Intercambio de calor en procesos reversibles e irreversibles.
- 4. 7. Reversibilidad, irreversibilidad e invertibilidad de reacciones electroquímicas.
- 4. 8. Equilibrio químico y electroquímico.

#### **Bol 6.- Química Coloidal y Fenómenos Electrocinéticos.**

- 1. Coloidoquímica.
- 1. 1. La naturaleza coloidal.
- 1.2. Soluciones Coloidales.
- 1.3. Descripción de las Soluciones Coloidales.
- 1.4. La estabilidad de las soluciones coloidales.
- 2. Fenómenos electrocinéticos.
- 2. 1. Electroforesis.
- 2. 2. Transporte de coloides.
- 2.3. Fundamentos de la electroforesis.
- 2.3.1. Aplicaciones de la Electroforesis.
- 2.4. Electroósmosis.
- 2.5. Diálisis y Electrodiálisis.
- 2.6. Potencial de Flujo.
- 2. 7. Potencial de Sedimentación.
- 2. 8. Electrodecantación.

#### **Bol 7.- Técnicas electroquímicas aplicadas**

- 1. Técnicas electroquímicas y de caracterización estructural. Diseño de electrodos
  - 2. Principales técnicas electroquímicas (voltametría cíclica y lineal, cronoamperometría, cronopotenciometría, etc).
  - 3. Estudios de mecanismo de reacción y variables a considerar en el diseño de electrodos anódicos y catódicos.
  - 4.- Ejemplos de aplicación a Celdas de combustible y baterías
- Cálculo de eficiencias energéticas. Evaluación de curvas de potencia y operación.  
Curvas de carga y descarga, activación, capacidad máxima de almacenamiento, capacidad de almacenamiento a diferentes regímenes de descarga, estudios a diferentes

temperaturas.

### 3) Programa Práctico de laboratorio:

1. Potenciometría directa.
2. Valoraciones potenciométricas y capacidad buffer.
3. Determinación de los coeficientes de actividad iónicos.
4. Conductimetría directa y Ley de Kohlrausch.
5. Termodinámica electroquímica. Cálculo de propiedades termodinámicas.
6. Ley de Faraday y Número de Transporte.
7. Cinética electroquímica. Electrólisis.
8. Ley de Tafel para producción de gases y depósitos metálicos.

### 4) Programa Ejercicios y Problemas:

Tema 1.- Fenómenos de Transporte generales.

Tema 2.- Cinética de procesos heterogéneos con transferencia de carga.

Tema 3.- Pares galvánicos reversibles e irreversibles.

Tema 4.- Fenómenos de Transporte de masas acoplados a reacciones con transferencia de carga.

### Bibliografía:

(título del libro-nombre del autor-editorial-ISBN-fecha de edición)

| Tema   | Básica  | Complementaria   |
|--------|---------|------------------|
| Tema 1 | (1) (2) |                  |
| Tema 2 | (1) (2) |                  |
| Tema 3 |         | [8][9]           |
| Tema 4 | (1) (2) | (1) (2)(5)(6)(7) |
| Tema 5 | (1) (2) | (3)(4)           |

#### 6.1 Básica

[1] "ELECTROQUÍMICA FUNDAMENTAL Y APLICACIONES". Dr. Fernando Zinola, Facultad de Ciencias, UdelaR, Montevideo –Ed. Dirac, 2009

[2] Electrochemical Methods; Fundamentals and Applications, A.J. Bard, L.R. Faulkner, Wiley Interscience Publications 2000.

#### 6.2 Complementaria

[1] "Interfacial Electrochemistry: Theory, Experiment, and Applications," edited by

Andrzej Wieckowski, ISBN: 082476000X.

[2] "Modern Electrochemistry, An Introduction to an Interdisciplinary Area". Authors: Bockris, John O'M., Reddy, Amulya K.N.

[3] "Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies" Editors: Ralph J. Brodd, AkiyaKozawa, Masaki Yoshio. Springer 2009.

[4] "Advanced Batteries: Materials Science Aspects". Robert A. Huggins. Springer 2008

[5] "Fuel Cells: From Fundamentals to Applications" Supramaniam Srinivasan. Springer 2006

[6] "Hydrogen and Fuel Cells" DetlefStolten. Wiley VCH, 2010

[7] "Fuel cell handbook" National Energy Technology Laboratory. US department of energy. University Press of the Pacific, Hawaii, 2005

[8] "Confocal Raman Microscopy (Springer Series in Optical Sciences)". Thomas Dieing, Olaf Hollricher, Jan Toporski, Springer 2011.

[9] "Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials". PecharskyVitalij, Zavalij Peter. Springer 2009.

---



## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

---

### Datos del curso

---

**Fecha de inicio y finalización:** Semestre impar de marzo a julio

**Horario y Salón:** teórico: Lunes y Miércoles de 13 a 15, Facultad de Ciencias  
Práctico: Miércoles 9-12 hs, Facultad de Ciencias

**Arancel:** 10000 UI

[Si la modalidad no corresponde indique "no corresponde". Si el curso contempla otorgar becas, indíquelo]

**Arancel para estudiantes inscriptos en la modalidad posgrado:**

**Arancel para estudiantes inscriptos en la modalidad educación permanente:**

---