

TÍTULO: ELECTROQUIMICA PARA SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA			
AÑO: 2026	CUATRIMESTRE: 1°	N° DE CRÉDITOS:	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 40 horas de teoría			
CARRERA/S:			

FUNDAMENTOS

La electroquímica constituye una disciplina central en el estudio y desarrollo de tecnologías para la conversión y el almacenamiento de energía. En las últimas décadas, los avances en materiales y técnicas experimentales han impulsado el diseño de dispositivos electroquímicos con creciente eficiencia y durabilidad, tales como baterías, supercapacitores, electrolizadores y celdas de combustible. El conocimiento profundo de los fenómenos de transferencia de carga, transporte iónico y electrónico, y los procesos interfaciales que ocurren en estos sistemas resulta esencial para la comprensión y optimización de su desempeño.

El desarrollo de fuentes renovables intermitentes, como la solar y la eólica, ha hecho evidente la necesidad de estrategias eficientes de almacenamiento energético que permitan estabilizar y aprovechar la energía generada. En este contexto, la electroquímica ofrece una base conceptual y metodológica indispensable para abordar la conversión reversible entre energía química y eléctrica. Asimismo, el estudio de los mecanismos de degradación y envejecimiento de materiales activos y electrocatalizadores constituye un aspecto clave para garantizar la sustentabilidad y la vida útil de los dispositivos.

El curso se propone brindar a los doctorandos una formación teórico-experimental que les permita comprender, analizar y aplicar los métodos electroquímicos empleados en el estudio de sistemas de almacenamiento y conversión de energía. Se abordarán desde los fundamentos de la cinética de reacciones de electrodo y los fenómenos de transporte hasta las técnicas modernas de caracterización electroquímica, tales como voltametría cíclica, métodos de pulsos y espectroscopía de impedancia electroquímica. Se pondrá especial énfasis en las aplicaciones a sistemas de relevancia actual, incluyendo celdas de combustible, electrolizadores y dispositivos de almacenamiento electroquímico como baterías y supercapacitores.

El dictado del curso responde a la creciente demanda de formación avanzada en electroquímica aplicada, necesaria para el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas y para la formación de investigadores capaces de integrar conocimientos de química, física e ingeniería en el diseño de soluciones sostenibles a los desafíos energéticos contemporáneos.

OBJETIVOS

Objetivos del curso

Objetivo general

Proporcionar a los doctorandos una formación sólida en los fundamentos teóricos y metodológicos de la electroquímica aplicada a sistemas de conversión y almacenamiento de energía, enfatizando la comprensión de los fenómenos de transferencia de carga, transporte de masa y los métodos experimentales utilizados en el estudio y optimización de dispositivos como electrolizadores, celdas de combustible, baterías y supercapacitores.

Objetivos específicos

Al finalizar el curso, los estudiantes deberán ser capaces de:

Comprender los principios fundamentales de la electroquímica y su relación con los procesos de conversión y almacenamiento de energía.

Analizar los diferentes tipos de polarización (por activación, caída óhmica y transporte de masa) y los parámetros cinéticos que gobiernan las reacciones de electrodo.

Aplicar modelos teóricos y ecuaciones cinéticas, como la de Butler-Volmer, para interpretar el comportamiento electroquímico de distintos sistemas.

Emplear métodos experimentales de caracterización electroquímica, incluyendo técnicas de pulsos, voltametría lineal y cíclica, y espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS).

Interpretar los resultados obtenidos mediante técnicas electroquímicas, utilizando herramientas gráficas (Bode, Nyquist) y modelos de circuitos equivalentes.

Identificar y describir las partes constitutivas y principios de operación de electrolizadores, celdas de combustible, baterías y supercapacitores.

Evaluar la actividad electrocatalítica y la degradación de materiales, así como los mecanismos de envejecimiento y pérdida de rendimiento en sistemas electroquímicos.

Comparar tecnologías de almacenamiento de energía en términos de eficiencia, densidad energética y aplicabilidad en distintos contextos energéticos.

Desarrollar habilidades prácticas en la interpretación y diseño de experimentos electroquímicos orientados a la optimización de materiales y dispositivos.

Fomentar una visión crítica y multidisciplinaria, integrando conocimientos de física, química y ciencia de materiales para abordar problemáticas energéticas actuales desde la electroquímica aplicada.

PROGRAMA

Unidad I: Unidad 1: Cinética de reacciones de electrodo y polarización electródica

Introducción a los principios de la cinética electroquímica. Concepto de corriente de intercambio y parámetros cinéticos. Ecuación de Butler-Volmer y aproximaciones de Tafel. Factores que afectan la velocidad de reacción: energía de activación, temperatura, potencial y estructura del electrodo. Polarización por activación, por caída óhmica y por transporte de masa. Mecanismos de transferencia electrónica y sus implicancias en el diseño de electrodos. Aplicaciones a procesos de reducción y oxidación relevantes para sistemas de almacenamiento de energía.

Unidad II: Unidad 2: Fenómenos de transporte y sobrepotenciales

Análisis de los mecanismos de transporte de materia en sistemas electroquímicos: migración, difusión y convección. Ecuaciones fundamentales del transporte iónico. Polarización óhmica y de concentración. Sobrepotencial de difusión y su relación con la cinética global del proceso.

Condiciones estacionarias y transitorias. Relación corriente–potencial bajo control difusivo. Introducción al concepto de capa de difusión y su influencia en la respuesta electroquímica.

Unidad III: Unidad 3: Métodos transitorios: técnicas de pulsos

Descripción de los métodos electroquímicos basados en la aplicación de pulsos de corriente o potencial. Cronoamperometría, cronopotenciometría y técnicas de doble pulso. Determinación de parámetros cinéticos y coeficientes de difusión a partir de curvas de transitorio. Análisis de respuestas de sistemas reversibles e irreversibles. Ejemplos de aplicación a procesos de carga y descarga en materiales activos y en el diagnóstico de celdas electroquímicas.

Unidad IV: Unidad 4: Técnicas de barrido lineal y voltametría cíclica

Principios y fundamentos de la voltametría de barrido lineal y cíclica. Procesos reversibles, cuasi-reversibles e irreversibles. Influencia de la velocidad de barrido sobre la respuesta voltamétrica. Adsorción de especies electroactivas y reacciones químicas acopladas. Determinación de parámetros termodinámicos y cinéticos. Interpretación de curvas voltamétricas para sistemas complejos. Ejemplos en el estudio de materiales electrocatalíticos, baterías y supercapacitores.

Unidad V: Unidad 5: Métodos periódicos y espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS)

Fundamentos de la respuesta lineal de sistemas electroquímicos. Representación compleja de la impedancia. Circuitos equivalentes de una celda electroquímica. Diagramas de Bode y Nyquist: interpretación de regiones resistivas, capacitivas y difusivas. Identificación de procesos cinéticos y de transporte en materiales y dispositivos. Aplicaciones de la EIS a la caracterización de electrodos porosos, recubrimientos protectores y celdas completas. Análisis de estabilidad, envejecimiento y diagnóstico de fallas mediante técnicas de impedancia.

Unidad VI: Unidad 6: Conversión electroquímica y almacenamiento de energía en hidrógeno

Introducción a los principios de conversión electroquímica. Producción y aprovechamiento del hidrógeno como vector energético. Celdas de combustible: tipos (PEM, alcalinas, de óxido sólido, entre otras), principios de funcionamiento, componentes y materiales. Electrolizadores: principios de operación, configuraciones (alcalinos, PEM, AEM) y partes constitutivas. Métodos electroquímicos de caracterización de celdas completas: medición de conductividad iónica, análisis de actividad electrocatalítica, uso de EIS en el diagnóstico de celdas. Mecanismos de degradación y envejecimiento de materiales. Aplicaciones en la transición energética y la descarbonización industrial.

Unidad VII: Unidad 7: Dispositivos de almacenamiento electroquímico

Baterías primarias y secundarias: fundamentos de funcionamiento, clasificación y aplicaciones. Componentes principales: ánodo, cátodo, electrolito y separador. Parámetros característicos: capacidad, eficiencia coulombica, energía específica y potencia. Mecanismos de carga y descarga. Comparación entre baterías y capacitores: criterios de selección tecnológica. Supercapacitores: principios de almacenamiento electrostático y pseudocapacitancia. Materiales activos para electrodos de alta superficie específica. Métodos electroquímicos para la evaluación del desempeño y estabilidad de estos dispositivos.

Unidad VIII: Unidad 8: Técnicas electroquímicas avanzadas y caracterización in situ/in

operando

Introducción a técnicas electroquímicas complementarias y su integración con métodos espectroscópicos y estructurales. Medidas in situ e in operando para el seguimiento de procesos en electrodos y celdas. Aplicaciones de la espectroscopía UV-Vis, Raman y XPS acopladas a estudios electroquímicos. Análisis de estabilidad de materiales, diagnóstico de fallas y evaluación del envejecimiento en sistemas de almacenamiento electroquímico. Estrategias experimentales para la optimización de materiales y dispositivos.

PRÁCTICAS

No se realizarán actividades prácticas

BIBLIOGRAFÍA

A.J. Bard y L.R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2nd ed., Wiley, 2001.

J.O'M. Bockris y A.K.N. Reddy, *Modern Electrochemistry*, 2nd ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000.

E. Gileadi, *Physical Electrochemistry: Fundamentals, Techniques and Applications*, Wiley-VCH, 2011.

A. Lasia, *Electrochemical Impedance Spectroscopy and its Applications*, Springer, 2014.

K. Scott (Ed.), *Electrochemical Methods for Hydrogen Production*, 1ª ed., Royal Society of Chemistry (Energy and Environment Series 25), 2019, ISBN 978-1-78801-378-9 / 978-1-83916-007-3.

J.-K. Park (Ed.), *Principles and Applications of Lithium Secondary Batteries*, Wiley-VCH, 2012. Wiley-VCH

B. Scrosati, K. M. Abraham, W.A. van Schalkwijk, J. Hassoun (Eds.), *Lithium Batteries: Advanced Technologies and Applications*, Wiley & Sons, 2013.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para obtener la regularidad del curso, el estudiante deberá cumplir con un mínimo del 70% de asistencia a las clases teóricas y participar activamente en las discusiones y actividades desarrolladas durante el cursado.

La aprobación del curso requerirá la realización y aprobación de un examen final escrito, de carácter obligatorio, individual e integrador, que abarcará los contenidos teóricos impartidos a lo largo del curso.

El examen consistirá en el desarrollo de preguntas conceptuales y problemas de análisis orientados a evaluar la comprensión de los fundamentos de la electroquímica, los métodos experimentales y su aplicación a sistemas de conversión y almacenamiento de energía.

El examen integrador será la única instancia de evaluación formal y deberá reflejar la capacidad del estudiante para relacionar los principios teóricos con las aplicaciones electroquímicas modernas abordadas en el programa.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Se requiere que los estudiantes posean conocimientos sólidos de fisicoquímica general y conceptos fundamentales de termodinámica y cinética química, que les permitan comprender los procesos de transferencia de carga y transporte de masa en sistemas electroquímicos.

Asimismo, se recomienda contar con nociones básicas de física del estado sólido y de química de materiales, necesarias para interpretar los fenómenos interfaciales y las propiedades electrónicas e iónicas de los electrodos y electrolitos utilizados en dispositivos de conversión y almacenamiento de energía.

No se requieren conocimientos previos específicos de técnicas electroquímicas experimentales, aunque se valorará familiaridad con métodos de análisis y caracterización físico-química empleados en la investigación de materiales.