



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires

PROGRAMA ANALÍTICO DE ASIGNATURA

DEPARTAMENTO: Ingeniería Química

CARRERA: Ingeniería Química

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD CURRICULAR: Electroquímica Aplicada

Año Académico: 2023

Área: Especialidad

Bloque: Tecnologías Aplicadas

Nivel: 5°

Tipo: Electiva

Modalidad: Cuatrimestral

Cargas horarias totales:

<i>Horas reloj</i>	<i>Horas cátedra</i>	<i>Horas cátedra semanales</i>
48	64	4

FUNDAMENTACIÓN

La electroquímica es una ciencia fundamental que describe el funcionamiento de sistemas donde ocurren transferencias de cargas a través de una interfaz, y cuyos principios se aplican en una amplia gama de procesos industriales y dispositivos tecnológicos. Los procesos electroquímicos se aplican en la producción y purificación de metales, y en la fabricación de productos químicos. Por otro lado, los sistemas de almacenamiento y conversión entre energía eléctrica y química, como las baterías y las celdas de combustible, son esenciales para la transición hacia fuentes de energía limpias y renovables, siendo la comprensión de la electroquímica indispensable para el diseño y la mejora de estos sistemas. La electroquímica también se encuentra en aplicaciones medioambientales, como el tratamiento de efluentes o la desalinización de agua, y proporciona herramientas para comprender y controlar la corrosión a través de técnicas como la protección anódica y catódica. Además, al ser una disciplina en constante evolución, los estudiantes que dominan esta materia están bien posicionados para participar en la investigación y el desarrollo de tecnologías emergentes en campos como la nanotecnología y el uso de hidrógeno como vector energético.



En resumen, esta asignatura proporciona bases teóricas y prácticas para abordar problemas en diversas industrias, en el marco de una disciplina que promueve la sostenibilidad y la innovación tecnológica, y contribuye al desarrollo de soluciones a desafíos ambientales y energéticos globales.

COMPETENCIAS DE EGRESO ESPECÍFICAS A LAS QUE CONTRIBUYE:

Competencia		Competencias de Actividades reservadas		
		Baja	Media	Alta
CE 1	Identificar, formular y resolver problemas relacionados a productos, procesos, sistemas, instalaciones y elementos complementarios correspondientes a la modificación física, energética, fisicoquímica, química o biotecnológica de la materia y al control y transformación de emisiones energéticas, de efluentes líquidos, de residuos sólidos y de emisiones gaseosas incorporando estrategias de abordaje, utilizando diseños experimentales cuando sean pertinentes, interpretando físicamente los mismos, definiendo el modelo más adecuado y empleando métodos apropiados para establecer relaciones y síntesis.			X

COMPETENCIAS DE EGRESO GENÉRICAS A LAS QUE CONTRIBUYE:

Competencia		Baja	Media	Alta
CT 1	Identificar, Formular y resolver problemas de Ingeniería.			X
CT 5	Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas.			X
CS 6	Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.		X	
CS 7	Comunicarse con efectividad.		X	
CS 9	Aprender en forma continua y autónoma.		X	

OBJETIVOS (APRENDIZAJE/LOGROS A ALCANZAR)

Los objetivos de esta asignatura son:

- Comprender los principios termodinámicos y cinéticos fundamentales de la electroquímica para su aplicación a la resolución de problemas prácticos relacionados con sistemas electroquímicos.



- Aplicar los principios básicos de la modelización, dimensionamiento y evaluación de reactores electroquímicos, dotando a los estudiantes con la capacidad de evaluar críticamente la eficiencia y el rendimiento de estos sistemas.
- Explicar aplicaciones tecnológicas de la electroquímica en áreas como el almacenamiento de energía eléctrica, la interconversión entre energía eléctrica y química, los procesos industriales basados en reacciones electroquímicas y el tratamiento de agua y efluentes mediante procesos electroquímicos para su desarrollo como futuros profesionales.
- Dotar a los estudiantes de las herramientas necesarias para comprender y abordar los desafíos relacionados con la corrosión, incluyendo estrategias para su control y prevención.

Estos objetivos contribuirán a que los estudiantes adquieran un conjunto sólido de conocimientos y habilidades en el campo de la electroquímica, preparándolos como ingenieros químicos para aplicar estos conocimientos en industrias que empleen sistemas electroquímicos.

CONTENIDOS

Contenidos mínimos

Fundamentos de electroquímica: ley de Faraday, termodinámica, interfaz electrodo-solución. Cinética y fenómenos de transportes en sistemas electroquímicos. Ecuaciones de Butler-Volmer y de Tafel. Reactores electroquímicos: parámetros de diseño y figuras de mérito, tipos de reactores electroquímicos y modelado. Caracterización. Aplicaciones de sistemas electroquímicos: pilas y baterías para almacenamiento de energía, celdas de combustible, aplicaciones industriales (proceso cloro-soda, electrodeposición y electrorrefinado de metales, generación de hidrógeno) y aplicaciones ambientales de procesos electroquímicos. Corrosión: principios termodinámicos y cinéticos, tipos de corrosión, control de corrosión.

Contenidos analíticos

a) Unidad Temática 1 –Introducción a la electroquímica.

Introducción a la electroquímica. Termodinámica en sistemas electroquímicas, relación entre energía libre y trabajo eléctrico. Ecuación de Nernst. Componentes de una celda electroquímica. Ley de Faraday. Modelo de la doble capa eléctrica para la descripción de la interfaz electrodo-solución. Clasificación de electrodos. Relación entre densidad de carga, conductividad y movilidad.



b) **Unidad Temática 2 – Cinética y fenómenos de transporte en sistemas electroquímicos.**

Cinética básica de las reacciones que ocurren en electrodos. Polarización de electrodos. Efecto de la aplicación de sobrepotenciales. Ecuación de Butler-Volmer. Curvas corriente-potencial y uso de la ecuación de Tafel. Influencia del transporte en la cinética de reacciones electroquímicas: resistencia óhmica, control difusional.

c) **Unidad Temática 3 – Reactores electroquímicos.**

Descripción de los parámetros que definen el voltaje de celda. Figuras de mérito de reactores electroquímicos: eficiencia de corriente y consumo eléctrico, relación área/volumen de reactor, coeficiente de transporte de masa. Distribución de corriente y potencial en reactores electroquímicos. Efecto de la generación de gases en la distribución de corriente. Modelización y dimensionamiento de reactores con diferente comportamiento fluidodinámico. Reactores con electrodos tridimensionales.

d) **Unidad Temática 4 – Aplicaciones tecnológicas de sistemas electroquímicos.**

Almacenamiento de energía en sistema electroquímicos. Principios de funcionamiento de pilas y baterías. Baterías primarias: zinc-carbón, zinc-aire, alcalinas. Baterías secundarias: plomo-ácido, níquel-cadmio, baterías de litio, baterías de hidruro metálico. Análisis de los parámetros básicos de funcionamiento y requerimientos de potencia. Definición y cálculo de capacidad, densidad de energía y densidad de potencia.

Conversión de energía en sistemas electroquímicos. Principios de funcionamiento de las celdas de combustible. Clasificación según su electrolito: de intercambio de protones (PEM), alcalinas, de ácido fosfórico, de sal fundida y de óxido. Tipo de combustible: hidrógeno, metanol. Comparación con máquinas térmicas y motores de combustión

Procesos electroquímicos industriales. Proceso cloro-soda: características y eficiencia de los diferentes tipos de electrodos utilizados. Producción y refinación electrolítica de metales: principales aplicaciones, ventajas y desventajas con otras tecnologías. Generación electroquímica de hidrógeno: tipos de electrodos, costos, eficiencia y posibles desarrollos.

Aplicaciones de procesos electroquímicos al tratamiento de aguas y efluentes. Principios de funcionamiento y tipos de electrodos utilizados para la remoción de contaminantes mediante electrocoagulación, electrooxidación anódica y electrooxidación-Fenton. Desmineralización electroquímica de agua mediante electrodiálisis y deionización capacitiva: estudio de mecanismos de reacción, comparación con ósmosis inversa.

e) **Unidad Temática 5 – Corrosión**

Termodinámica y cinética de las reacciones electroquímicas de corrosión. Tipos de corrosión: uniforme, galvánica, localizada (picado, por rendijas), corrosión bajo tensión, corrosión por fatiga, corrosión por hidrógeno. Corrosión en diferentes metales y aleaciones. Efecto de la temperatura, pH, oxígeno y otros oxidantes y de la composición del medio en la corrosión. Control de la corrosión: pasivación, recubrimiento, inhibidores, protección anódica y catódica.



DISTRIBUCIÓN DE CARGA HORARIA ENTRE ACTIVIDADES TEÓRICAS Y PRÁCTICAS

Modalidad organizativa de las clases	Horas Reloj totales presenciales	Horas reloj virtuales totales	Horas totales
Teórica	24	0	24
Formación práctica	24	0	24

Tipo de prácticas	Horas Reloj totales presenciales	Horas reloj virtuales	Lugar donde se desarrolla la práctica
Formación experimental	4	0	Laboratorio de Química Analítica – Dpto. Ing. Química.
Problemas abiertos de Ingeniería (ABP)	0	0	NC
Proyecto y diseño	0	0	NC
Resolución de series de problemas y exámenes.	16	0	Aula
Exposición por parte de los alumnos/Trabajo práctico de investigación	4	0	Aula
Práctica supervisada	0	0	NC
Total de horas	24		24

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Y ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

En la asignatura Electroquímica Aplicada el dictado de clases será de forma presencial en el aula, siendo este dictado respaldado por las mismas clases disponibles de forma virtual asincrónicas, para las cuales los alumnos deben contar con una computadora, smartphone o similar, con acceso a internet (contribución competencia CS9).

Al inicio del cuatrimestre la cátedra propondrá un cronograma detallado de las clases a dictar, indicando las actividades a desarrollar cada semana. La fecha para la realización de la práctica



de laboratorio se acordará con los alumnos y el responsable del laboratorio de Química Analítica donde se desarrollará la misma; también se consensuará con los alumnos la fecha para la defensa de los trabajos prácticos. Una vez acordado el cronograma no podrá modificarse, y estará a disposición de los alumnos en el aula virtual (contribución competencia CS9).

La metodología de enseñanza se organiza según el siguiente listado:

1. Dictado de clases teóricas (Contribución competencias CE1, CT1, CS6, CS7, CS9):

El dictado de clases referidas a la teoría y fundamentos de los temas a desarrollar, se realizan bajo un marco de estrategia de enseñanza tipo clase expositiva, con inserción de situaciones prácticas y promoviendo la interacción con los estudiantes. En algunos casos, se buscará interpelar a los estudiantes para que desarrollen sus conocimientos de un dado tópico de forma previa a la exposición del docente. En el desarrollo teórico de los diferentes temas, se hará énfasis en la descripción o modelado matemático del fenómeno o proceso fisicoquímico estudiado.

Las clases teóricas serán apoyadas por actividades optativas que estarán disponibles en el aula virtual de la cátedra, donde los estudiantes encontrarán cuestionarios de seguimiento que estarán disponibles luego de cada clase, o participar en los respectivos foros de consultas. En el aula virtual también encontrarán links a videos basados en las presentaciones de Powerpoint utilizadas durante las clases, así como también a estas presentaciones en formato .pdf.

2. Clases prácticas (Contribución competencias CE1, CT1, CT5, CS6, CS7, CS9):

Estas clases son empleadas para resolución y discusión de problemas directamente relacionados con la clase teórica previa. En general, se buscará que el estudiante, mediante su propio razonamiento, pueda lograr resolver la problemática planteada, a partir de los conocimientos impartidos en la clase teórica y de los saberes adquiridos en su trayecto formativo previo, y que se realice una interpretación crítica de los resultados obtenidos. Se emplearán otras estrategias en función de la temática en cuestión, utilizándose la exposición magistral dialogada del docente mediante el pizarrón y/o presentación en PowerPoint, en la que se explica la resolución paso a paso de problemas tipo, cuando se trate de temáticas de tipo fundamental (Unidades temáticas 1, 2, 3 y 5), mientras que para temas de tipo aplicado (Unidades temáticas 3, 4 y 5) se buscará que los alumnos planteen los problemas de forma grupal, buscando promover debates sobre



alternativas o estrategias de resolución. Se incluirán problemas con diferentes grados de complejidad, algunos muy sencillos, que sólo requerirán el adecuado uso de la información brindada y razonamientos cualitativos, mientras que otros buscarán promover la creatividad de los alumnos.

3. Trabajo práctico de laboratorio (Contribución competencias CE1, CT1, CT5, CS6, CS7, CS9):

El trabajo práctico de laboratorio se llevará a cabo en el Laboratorio de Química Analítica, dependiente del Departamento de Ingeniería Química de la UTNFRBA. Su desarrollo y la modalidad de trabajo se explicará en la clase previa, la guía estará disponible en el campus virtual de la asignatura, y el día de la práctica el docente a cargo hará una experiencia a modo demostrativo. Esta actividad es obligatoria y se realizará en grupos de 2 a 4 personas, dependiendo del número de alumnos. En la misma se estudiará la remoción del colorante azul de metileno, que actuará como contaminante modelo, de una solución acuosa aplicando alguno de los tratamientos electroquímicos vistos durante la cursada, como por ejemplo electrocoagulación o electrocoagulación-Fenton. Cada grupo trabajará con una condición experimental distinta (tipo de tratamiento, pH inicial, tipo de electrolito soporte, etc.), debiendo los estudiantes manipular la fuente de alimentación del sistema electroquímico (control de la tensión o la intensidad de corriente) y tomar muestras periódicas para analizar por espectrofotometría la concentración del colorante en función del tiempo de reacción. Al finalizar la práctica, los estudiantes deberán volcar los resultados principales en una planilla digital provista por la cátedra y presentar (en la fecha fijada en el cronograma) un informe técnico que dará cuenta de los resultados obtenidos. La clase siguiente a la práctica los alumnos deberán preparar una presentación para discutir en clase los resultados obtenidos por los distintos grupos, debiendo incluirse las conclusiones del debate en el informe técnico. La presentación expuesta y el informe técnico deberán ser entregados a la cátedra a través del aula virtual como condición para regularizar la cursada. En esta práctica se busca que los estudiantes puedan obtener datos relevantes sobre la factibilidad técnico-económica de aplicación real de un proceso electroquímico a partir de los resultados obtenidos de un experimento realizado a escala de laboratorio.

4. Desarrollo de Trabajo Práctico de Investigación (TPI) (Contribución competencias CE1, CT1, CT5, CS6, CS7, CS9).



*Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires*

En este trabajo práctico, los alumnos deberán analizar de forma grupal (de 2 a 4 personas) una publicación científica aportada por la cátedra sobre alguno de los temas desarrollados en las Unidades 3, 4 o 5. A partir de esta publicación y de un cuestionario guía provisto por la cátedra, los alumnos deberán preparar una breve presentación de 15 minutos donde expondrán, según su criterio, los puntos más relevantes de dicha publicación, así como potenciales aplicaciones de la investigación analizada. La presentación expuesta deberá ser entregada a la cátedra a través del aula virtual en las fechas acordadas en el cronograma como condición para regularizar la cursada. La evaluación de este trabajo se verificará a través de una rúbrica confeccionada por la cátedra.

RECURSOS DIDÁCTICOS PARA EL DESARROLLO DE LAS DISTINTAS ACTIVIDADES

Los recursos didácticos básicos que se utilizarán en el aula serán el pizarrón, proyector y computadora personal. Además, la asignatura cuenta con un aula virtual dentro del Campus online de la UTN-FRBA, donde se pondrá a disposición de los alumnos el programa de la asignatura, el cronograma correspondiente al cuatrimestre en curso, las guías de ejercicio de las distintas unidades temáticas, las presentaciones vistas en clase en formato .pdf, la guía de trabajo práctico de laboratorio, los artículos científicos y las correspondientes guías del trabajo práctico de investigación, las actividades de seguimiento de las distintas unidades temáticas, enlaces a los contenidos audiovisuales generados por la cátedra y material didáctico diverso. En el aula virtual se centralizarán las comunicaciones entre los estudiantes y la cátedra, en particular las entregas de informes y presentaciones.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Se tomará un examen integrador presencial escrito e individual sobre los temas vistos en clase. El examen contará con tres problemas que implicarán una resolución numérica y/o preguntas de enfoque o interpretación teórica, relacionadas con la temática del problema. Se evaluará el correcto planteamiento y desarrollo del ejercicio propuesto y no solo la obtención del resultado o la conclusión correcta. En caso de no aprobar, el examen se recuperará según lo establecido en el Reglamento de Estudios de la Universidad Tecnológica Nacional.

Para regularizar la asignatura los estudiantes deberán aprobar el examen integrador, así como el Trabajo Práctico de Laboratorio y el Trabajo Práctico de investigación basado en un Estudio



de Caso (publicación científica) propuesto por la cátedra. Esta condición los habilitará a presentarse a la evaluación final o aspirar a la aprobación directa de la asignatura.

La evaluación final está dirigida al análisis conceptual de los contenidos y a la integración de los temas vistos durante la cursada.

La auto evaluación de cátedra se realiza a través de encuestas institucionales realizadas a los estudiantes y de los resultados obtenidos en las actividades de seguimiento propuestas por la cátedra.

El método de evaluación y las condiciones de regularización y aprobación directa se informa a los alumnos en la presentación de la asignatura, y se indicarán también en el Aula Virtual de la cátedra desde el inicio de la cursada.

Los resultados de las evaluaciones estarán disponibles para los alumnos, tal como lo disponen las normativas institucionales vigentes.

Requisitos de Regularidad

Aprobar el examen integrador presencial con una nota mínima de 6 (seis), asistir a la práctica de laboratorio y presentar, defender y aprobar el informe grupal, y aprobar la defensa del trabajo de investigación. Además, deberá contar con el porcentaje de asistencia requerido por la reglamentación vigente.

Requisitos de Aprobación Directa (Promoción).

Para la Aprobación Directa de esta materia (Promoción) se deberá simultáneamente cumplir los siguientes requisitos:

- Aprobar el examen integrador con una calificación mínima de 8 (OCHO), con únicamente un recuperatorio permitido en total, cuya calificación reemplazará la nota obtenida previamente (en caso que tuviera el parcial aprobado en primera instancia).
- Asistir a la práctica de laboratorio, presentar, defender y aprobar el informe grupal en las fechas estipuladas.
- Presentar y aprobar en los plazos indicados el trabajo de investigación.
- Contar con el porcentaje de asistencia requerido por la reglamentación vigente.

Requisitos de Aprobación



El alumno deberá aprobar, en forma individual, un examen final teórico presencial que contemple todo o parte de lo visto en la materia, el cual podrá ser escrito, oral o combinación de estas modalidades. El examen constará de tres ejercicios, que podrán incluir la resolución teórica de problemas, interpretación de gráficos o diagramas y/o cuestionarios de verdadero/falso o de opción múltiple. La modalidad de evaluación será a libro abierto, donde los estudiantes podrán contar con apuntes impresos, no admitiéndose el uso de dispositivos electrónicos (a excepción de calculadoras). Los alumnos contarán con un tiempo acotado para la resolución del examen.

Criterios de evaluación:

Para aprobar el examen final, se deberá cumplir con alguna de las siguientes condiciones:

- Contar con al menos un 60% de los ítems evaluados aprobados en cada uno de los ejercicios.
- Tener dos ejercicios sobresalientes (con más del 80% de los ítems aprobados) y el restante con, al menos, el 40%.

En caso de que no se cumplan estas condiciones, pero se demuestre conocimiento en al menos dos de los ejes temáticos evaluados, el tribunal evaluador tendrá la facultad de proponer la adición de un complemento de evaluación oral para lograr la aprobación del examen. El complemento podrá abarcar cualquiera de los contenidos analíticos de la materia y se realizará el mismo día que el examen.

ARTICULACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL CON OTRAS MATERIAS

La asignatura Electroquímica Aplicada profundiza los conocimientos de electroquímica, cinética química y de fenómenos de superficie vistos en Físicoquímica, materia de tercer nivel, así como también el estudio de Procesos Electroquímicos de la asignatura Integración II del segundo nivel. Electroquímica Aplicada se articula de forma vertical con las asignaturas Fenómenos de Transporte (transporte de masa en sistemas electroquímicos), del tercer nivel, e Ingeniería de las Reacciones Químicas (modelado de reactores electroquímicos, cinética química, catálisis heterogénea), correspondiente al cuarto nivel. También se aplican conceptos de equilibrios ácido base, solubilidad, complejación y rédox, así como también de conductimetría y potenciometría estudiados en Química Analítica y Química Analítica Aplicada, ambas asignaturas correspondientes al tercer nivel (siendo esta última optativa). Para la resolución de



problemas relacionados con la distribución de corriente y potencial en los reactores electroquímicos, y al modelado de la doble capa eléctrica, se emplean conceptos de capacitores, campo eléctrico y resistencia vistos en Física II (segundo nivel). Por otro lado, los conceptos de corrosión y de diseño de reactores electroquímicos se articula de forma horizontal con las asignaturas Integración IV del cuarto nivel, y Reactores Nucleares y Proyecto final del quinto nivel, mientras que las Aplicaciones ambientales de los procesos electroquímicos se complementa con Tratamiento Físicoquímicos de Efluentes (por ejemplo electrocoagulación con coagulación-floculación) o Diseño de Equipos (electrodiálisis y deionización capacitiva con procesos de separación por membrana) del quinto nivel.

CRONOGRAMA ESTIMADO DE CLASES

Clase	Tema	Actividad	Modalidad de dictado (presencial/virtual)	Hs Cátedra
1	Unidad 1. Introducción. Termodinámica. Ecuación de Nernst y ley de Faraday. Componentes de la celda electroquímica	Teoría	Presencial	4
2	Unidad 1. Doble Capa. Tipo de Electroodos. Serie de problemas unidad 1.	Teoría-Práctica	Presencial	4
3	Unidad 2. Cinética. Polarización. Ecuación de Butler-Volmer. Comportamiento de Tafel.	Teoría	Presencial	4
4	Unidad 2. Transporte en sistemas electroquímicos. Serie de problemas unidad 2.	Teoría-Práctica	Presencial	4
5	Unidad 3. Voltaje de celda. Figuras de mérito. Distribución de	Teoría	Presencial	4



	corriente y potencial.			
6	Unidad 3. Modelización y dimensionamiento de reactores electroquímicos. Electroodos tridimensionales. Serie de problemas unidad 3.	Teoría-Práctica	Presencial	4
7	Unidad 4. Pilas y baterías.	Teoría-Práctica	Presencial	4
8	Unidad 4. Celdas de combustible.	Teoría-Práctica	Presencial	4
9	Unidad 4. Procesos Industriales.	Teoría-Práctica	Presencial	4
10	Unidad 4. Aplicaciones Ambientales.	Teoría-Práctica	Presencial	4
11	Unidad 4. Aplicaciones Ambientales. Explicación Práctica de Laboratorio	Teoría-Práctica	Presencial	4
12	Práctica de Laboratorio	Práctica	Presencial	4
13	Exposiciones grupales sobre práctica de laboratorio.	Práctica	Presencial	4
	Unidad 5. Corrosión. Termodinámica. Clasificación.	Teoría		
14	Unidad 5. Efecto de distintos parámetros. Control de la corrosión. Unidad 5. Seria de	Teoría-Práctica	Presencial	4



	problemas			
15	Exposiciones grupales sobre trabajos de investigación.	Práctica	Presencial	4
	Clase de repaso.			
16	Examen integrador	Práctica	Presencial	4

BIBLIOGRAFÍA OBLIGATORIA

- J. Levine (2009). *Physical chemistry, 6th Edition*. McGraw Hill, New York, USA, ISBN 978-0-07-253862-5.
- J. Bard, L. R. Faulkner, H. S. White (2022). *Electrochemical methods: fundamentals and applications, 3rd Edition*. John Wiley & Sons, ISBN 978-1119334064.
- J. O'M Bockris, A. K. N. Reddy (2018), *Modern Electrochemistry, 2nd Edition, Vol 2A Fundamentals of Electrodicts*. Springer India, ISBN-13: 978-8131727478.
- W. R. Browne (2018). *Electrochemistry*. Oxford University Press, ISBN: 9780198790907, doi: 10.1093/hesc/9780198790907.001.0001.
- F. Goodridge, K. Scott (1995). *Electrochemical Process Engineering*. Springer, New York, USA, <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0224-5>.
- K. Jackowska, P. Krysiński (2020). *Applied Electrochemistry*, De Gruyter, ISBN 9783110600834
- Pletcher, F. C. Walsh (1993). *Industrial Electrochemistry, 2nd Edition*. Springer Science, e-ISBN 978-94-011-2154-5.
- D. A. Jones (2013). *Principles and Prevention of Corrosion, Pearson New International Edition, 2nd Edition*. Pearson, ISBN-13: 978-1292042558.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA



- M. A. Brett, A. M. Oliveira Brett (1993). *Electrochemistry. Principles, Methods, and Application*. Oxford University Press, ISBN 0-19-855388-9.
- J. O'M Bockris, A. K. N. Reddy (2004), *Modern Electrochemistry*. Kluwer Academic Publishers, New York, USA, e-ISBN: 0-306-48036-0.
- G. Kreysa, K.-I. Ota, R. F. Savinell (eds.) (2014), *Encyclopedia of Applied Electrochemistry*. Springer Science+Business Media, New York, USA, e-ISBN 978-1-4419-6996-5, doi: 10.1007/978-1-4419-6996-5.
- McCafferty. (2010). *Introduction to Corrosion Science*. Springer, New York, USA, e-ISBN 978-1-4419-0455-3.
- P. Zanello (2003). *Inorganic Electrochemistry. Theory, Practice and Application*. RSC, ISBN 0-85404-661-5.
- F. Scholz (2010). *Electroanalytical Methods*, Springer Verlag, Heidelberg, Alemania, e-ISBN 978-3-642-02915-8.
- R. K. Sinnott (1999). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Vol. 6, 3rd Edition*, Butterworth-Heinemann, Oxford, Reino Unido, ISBN 0-7506-4142-8.
- J. H. Zagal, I. Ponce, R. Oñate (2019). Redox Potentials as Reactivity Descriptors in Electrochemistry, *Redox* (ed. R. Khattak), InTechOpen, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89883>.
- J. Sánchez-Monreal, M. Vera, P. A. García-Salaberri (2018). Fundamentals of Electrochemistry with Application to Direct Alcohol Fuel Cell Modeling, Cap. 7 en *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (T. Taner), InTechOpen, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.71635>.
- H. Sulaymon, A. H. Abbar, Scale-Up of Electrochemical Reactors (2012). Cap. 9 en *Electrolysis* (ed. V. Linkov, J. Kleperis), InTechOpen, <http://dx.doi.org/10.5772/48728>.
- F. Walsh, G. Reade, *Design and Performance of Electrochemical Reactors for Efficient Synthesis and Environmental Treatment*, *Analyst* 119 (1994) 791-803, <https://doi.org/10.1039/AN9941900797>.



- J.-M. Arana Juve, F. M. S. Christensen, Y. Wang, Z. Wei, *Electrodialysis for metal removal and recovery: A review*, Chemical Engineering Journal 435 (2022) 134857, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.134857>.
- A. Abidli, Y. Huang, Z. B. Rejeb, A. Zaoui, C. B. Park, *Sustainable and efficient technologies for removal and recovery of toxic and valuable metals from wastewater: Recent progress, challenges, and future perspectives*, Chemosphere 292 (2022) 133102, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133102>.
- K. D. Wolfe, A. Zanganeh, R. N. Arthur, J. P. Trembly, D. A. Daramola, *Considerations for Electrochemical Phosphorus Precipitation: A Figures of Merit Approach*, Electrochem. Soc. Interface 32 (2023) 51, doi: 10.1149/2.F102321F.
- Z. Ahmad (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier Science & Technology Book, ISBN: 0750659246.