

### PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre			
MI 4110	Fisicoquímica Metalúrgica			
Nombre en Inglés				
Metallurgical Physical Chemistry				
SCT	Unidades Docentes	Horas de Cátedra	Horas Docencia Auxiliar	Horas de Trabajo Personal
6	10	3	2	5
Requisitos			Carácter del Curso	
CM2004 Fisicoquímica MI 3100 Química Mineralógica			Obligatorio para la Licenciatura en Ciencias de la Ingeniería Mención Minería y Metalurgia Extractiva.	
<b>Competencias a las que tributa el curso</b>				
<b>Competencias Específicas</b>				
CE 1: Analizar datos y elaborar modelos para la caracterización geo-minero-metalúrgica de materiales, recursos minerales y procesos.				
<b>Competencias Genéricas</b>				
CG 1: Comunicar ideas y resultados de trabajos profesionales o de investigación, en forma escrita y oral, tanto en español como en inglés.				
CG 2: Trabajar en equipos interdisciplinarios, asumiendo el liderazgo en las materias inherentes a su profesión en forma crítica y autocrítica.				
<b>Propósito del curso</b>				
<p>El curso MI 4110, Físico-química metalúrgica, tiene como propósito que el estudiante aplique herramientas de fisicoquímica y termodinámica tales como funciones y variables de estado de la materia, constantes de equilibrio de solubilidad, hidrólisis; así como herramientas de cinética química y electroquímica, entre otras, para resolver problemas simples de procesos mineros, utilizando y estimando conceptos sobre estequiometría de reacciones aplicadas a procesos, cinética química y electroquímica, termodinámica química y electroquímica, aplicación de técnicas de análisis, entre otras. Este curso le permitirá al estudiante lograr determinar o estimar la eficiencia de diferentes procesos mineralúrgicos y metalúrgicos, así como evaluar el grado de eficiencia y grado de avances de los procesos y reacciones químicas, relacionadas con el procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.</p> <p>La estrategia metodológica a utilizar permite que el estudiante trabaje en clases teniendo una participación activa a través de resolución de problemas, en forma individual y colectiva (trabajo en equipo), presentaciones orales entre otras. En este escenario, el docente es un mediador que facilita el trabajo de los estudiantes al momento de resolver problemas de especiación aplicados e incorporar herramientas de software de presentación y técnicas como Chemeql®, corrigiendo, explicando y aclarando dudas in-situ.</p>				

Resultados de Aprendizaje
<p>El estudiante al término del curso demuestra que:</p> <p><b>CE 1 – RA 1:</b> Aplica herramientas tales como funciones de estado y constantes de equilibrio, entre otras, analizando diferentes tipos de reacciones en problemas simples reales de procesos metalúrgicos, a fin de evaluar su eficiencia en estado estacionario y transiente.</p> <p><b>CE 1 – RA 2:</b> Plantea y resuelve ecuaciones de velocidad de reacciones en sistemas homogéneos y heterogéneos, considerando la inclusión o no de transferencia de electrones, a fin de identificar mecanismos de reacción y la etapa controlante en procesos.</p> <p><b>CE 1 – CG 2 – RA 3:</b> Resuelve, en equipos de trabajo, problemas de equilibrio químico homo y heterogéneo, en soluciones diluidas y concentradas, a fin de estimar las concentraciones reales de especies químicas y su impacto en procesos metalúrgicos.</p> <p><b>CG 1 – RA 4:</b> Redacta un informe sobre procesos mineros simplificados de minerales, metalurgia extractiva y medioambiente, en base a modelos con transferencia de electrones, a fin de informar los resultados respecto de la realidad industrial.</p> <p><b>CG 1 – RA 5:</b> Expone, de manera oral y en grupo, un problema de investigación que involucra procesos con y sin transferencia de electrones, considerando criterios de coherencia, claridad y consistencia, a fin de presentar los resultados de sus investigaciones.</p>

Metodología Docente	Evaluación General
<p>La estrategia metodológica que se desarrollará en este curso se compone de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clases expositivas con estructura de INICIO – DESARROLLO - CIERRE</li> <li>• Clases auxiliares con ejemplos y ejercicios prácticos</li> <li>• Lectura de bibliografía especializada entregada por el profesor</li> <li>• Estudios de casos</li> <li>• Seminarios y trabajos escritos, entre otros</li> </ul>	<p>La propuesta de evaluación es de proceso, en donde el estudiante deberá demostrar sus competencias en las siguientes instancias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles</li> <li>• Tareas</li> <li>• Desarrollo de un caso de estudio de especiación y electrometalurgia y presentación final de proyecto</li> <li>• Ejercicios</li> <li>• 1 Examen</li> </ul>

### Unidades Temáticas

Número	RA a la que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
1	RA 1	Revisión de conceptos de Termodinámica Química de Sistemas Metalúrgicos	1 semanas
Contenidos		Indicadores de Logro	Referencias a la Bibliografía
<u>1. Rutas de proceso de minerales - reactividad:</u>  1.1 Sulfuros, óxidos, carbonatos e hidróxidos. 1.2 Conceptos generales de Piro/Hidro/Electro metalurgia.  <u>2. Fundamentos Termodinámicos:</u>  2.1 Introducción 2.2 Entalpía, entropía, energía libre, capacidad calorífica. 2.3 Balances de materia y energía. 2.4 Equilibrio termodinámico en sistemas de un componente.		El estudiante demuestra que: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Explica si procesos relacionados con metalurgia extractiva ocurrirán espontáneamente o no mediante cálculos, utilizando funciones de estado como energía libre de Gibbs, entalpía, entropía.</li> <li>• Resuelve ejercicios de balance de materia y energía, considerando la selección y uso de datos.</li> <li>• Aplica contenidos de balance de materia y energía a la eficiencia de transformaciones fisicoquímicas y energéticas de procesos metalúrgicos.</li> </ul>	Santamaría, 2006  Atkins, 2009

Número	RA a la que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
2	RA 1 – RA 2	Cinética química	4 semanas
Contenidos		Indicadores de Logro	Referencias a la Bibliografía
<p><u>Teoría cinética, mecanismos y velocidad de reacción:</u> Reacciones homogéneas, ley de acción de masas.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cinética de orden n.</li> <li>2. Efectos de la temperatura en la velocidad de reacciones.</li> <li>3. Velocidad de reacciones químicas en sistemas de 0, 1 y 2 dimensiones espaciales.</li> <li>4. Diseños simples de reactores de proceso</li> </ol> <p><u>Cinética de sistemas heterogéneos:</u> Etapas fundamentales, concepto de etapa controlante. Cinética. Mecanismo de núcleo sin reaccionar</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reacciones de una partícula individual no porosa.</li> <li>2. Reacciones en que no se forma capa de producto sólido.</li> <li>3. Reacciones en que sí se forma capa de producto sólido.</li> <li>4. Reacciones de una partícula individual porosa.</li> </ol> <p><u>Termodinámica de procesos hidrometalúrgicos</u> Diagramas de Pourbaix.</p>		<p>El estudiante demuestra que:</p> <p>Calcula el orden cinético de reacciones químicas a través del uso y manejo de datos e información adicional, explicando posibles mecanismos de procesos.</p> <p>Analiza la relevancia de fenómenos de transporte (difusión) en el cálculo de cinética de reacciones en sistemas homogéneos y heterogéneos, explicándolos, en relación con las etapas controlantes.</p> <p>Argumenta sobre la pertinencia de la selección de un reactor del tipo CSTR versus PF en procesos metalúrgicos.</p> <p>Analiza las condiciones más favorables para indicar, si un proceso ocurre espontáneamente o requiere de energía para su realización según ciertos criterios basados en las propiedades termodinámicas.</p> <p>Aplica correcciones a las concentraciones de especies en solución, usando ejemplos concretos mediante el análisis de casos de estudio.</p> <p>Presenta en forma escrita un informe sobre las correcciones a las concentraciones, analizando estos procedimientos sobre la base de la coherencia, claridad y precisión en la escritura.</p>	<p>Houston, 2006</p> <p>Burgot, 2010</p> <p>Fredes, 2015</p>

<p><u>Extensión de estudios de soluciones.</u> Actividad química: Coeficiente de actividad. Modelo Debye Huckel y Modelo Davis. Caso de Estudio</p>	<p>Expone en forma oral con su grupo los resultados de su caso de estudio, considerando criterios de coherencia y claridad, tipo de audiencia, organización de la información, entre otros aspectos.</p>	
---	--	--

Número	RA a la que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
3	RA 3 – RA 4 – RA 5	Técnicas de análisis	4 semanas
Contenidos		Indicadores de Logro	Referencias a la Bibliografía
<p>1. Técnicas de análisis y actividad química en solución</p> <p>i.- Análisis de seno de líquido/sólido</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absorción atómica</li> <li>-ICP-MS</li> <li>-Volumetría</li> </ul> <p>ii.- Análisis de minerales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Difracción de Rayos X</li> <li>-Análisis mineralógico automatizado</li> </ul> <p>iii.- Análisis superficial de sólidos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X</li> </ul>		<p>Identifica los tipos de técnicas más apropiadas en los balances de masa en procesos de minerales, discriminando según criterios que determinan la eficiencia de procesos en ejemplos tipo, los que debe explicar.</p> <p>Analiza datos de composición superficial de minerales y su conexión con la eficiencia de procesos, los que explican y describen de manera clara y precisa en formato escrito.</p>	<p>Harris, 2007</p> <p>Cayunao, 2014</p>

Número	RA a la que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
4	RA 3 – RA 4 – RA 5	Cinética Electrometalúrgica	6 semanas
Contenidos		Indicadores de Logro	Referencias a la Bibliografía
<u>Cinética electroquímica</u>  1. Controles cinéticos 2. Ley de Faraday 3. Control por transferencia de carga (ley de Tafel, ley de Butler-Volmer) 4. Control por transferencia de Masa (ley de Fick) 5. Control Mixto y su cuantificación 6. Representaciones gráficas 7. Pasivación 8. Electro catálisis.		El estudiante demuestra que: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplica la ley de Faraday y la ecuación de Butler-Volmer para relacionar la transferencia de carga por unidad de tiempo (corriente eléctrica) con el proceso químico.</li> <li>• Define gráfica y cuantitativamente el mecanismo de reacción en sistemas electroquímicos, evaluando la posibilidad de mejorar la eficiencia de los procesos electródicos, en ejemplos de los cuales explica el proceso.</li> <li>• Utiliza información experimental para el diseño de gráficos (Diagrama de Evans) que expliquen la electro-obtención y electrorrefinación de cobre, entre otros, relacionando las teorías de transferencias de electrones con la realidad de los procesos.</li> </ul>	Bockris & Reddy, Cap. 7

### Bibliografía General

1. Francisco Santamaría:  
F. Santamaría, "Curso de Química General", Editorial Universitaria, 2006.
2. Atkins:  
P.W. Atkins, "Química Física", Médica Panamericana, 2008.
3. Houston:  
P.L. Houston, "Chemical kinetics and reaction dynamics", Dover Publications, 2006.
4. Burgot:  
J.L. Burgot, "Predicting Redox Reactions by Graphical Means [recurso electrónico]", Springer, 2010.
5. Fredes:  
S. Fredes, "Diseño de Mejores Prácticas Operacionales en el Procesamiento de concentrados de Molibdeno para Minera Los Pelambres", Memoria de Ingeniero Civil Químico, Universidad de Chile, 2015.
6. Harris:  
D.C. Harris, "Análisis químico cuantitativo", Reverté, 2007.
7. Cayunao:  
B. Cayunao, "Estudio comparativo de la activación de pirita en flotación de minerales a nivel industrial y de laboratorio usando la técnica de espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) [recurso electrónico]", Memoria de Ingeniero Civil Químico, Universidad de Chile, 2014.
8. Bockris & Reddy:  
J. O. M. Bockris, A. K. N. Reddy and M. Gamboa - Aldeco, "Modern Electrochemistry 2A", Kluwer-Plenum, 2000.

Vigencia desde:	2016
Elaborado por:	Luis Cifuentes y Gonzalo Montes
Validador por	Bruno Behn
Revisado por:	<b>Área de Gestión Curricular, SGD</b>