

## **MI7022 – Metalurgia extractiva polimetálica**

**Prof: Leandro Voisin, PhD., MSc., Mining Engineer**

<b>Créditos</b>	6 SCT
<b>Requisitos</b>	Requiere autorización. Curso dirigido a estudiantes del Programa de Magíster en Minería y Doctorado de Ingeniería de Minas.
<b>Carácter</b>	Electivo
<b>Objetivo</b>	<p>El curso tiene como objetivo que las/os estudiantes en el contexto de la metalurgia extractiva, identifiquen rutas afines de obtención de metales a partir de minerales que los contienen en el marco de minería polimetálica, economía circular, seguridad, sustentabilidad y sostenibilidad.</p> <p>Además, que resuelven problemas identificando insumos (agua y energías) para evaluar y estimar eficiencia de procesos extractivos reales, el funcionamiento y la práctica operacional de equipos principales y que plantear propuestas de mejora a aplicaciones de metalurgia.</p>
<b>Descripción del curso</b>	<p>El curso aborda integralmente la metalurgia extractiva polimetálica, enfocándose en la obtención de metales valiosos a partir de fuentes primarias (minerales) con alcance a aquellas secundarias (e-waste: chatarra electrónica). Se estudian procesos y tecnologías aplicables a minerales oxidados, mixtos y sulfurados, además de los mercados y centros de producción y participación global, ofreciendo una perspectiva histórica y explorando oportunidades innovadoras dentro del marco de una minería segura, sustentable y sostenible.</p> <p>Se analizan los procesos de metalurgia extractiva para cobre, oro, plata, metales del grupo del platino (PGM) y otros elementos valiosos, considerando su ocurrencia, concentración, asociación e impacto ambiental. Las operaciones metalúrgicas se revisan desde los fundamentos hasta su aplicación industrial en hidro-, piro- y electro-metalurgia.</p> <p>Entre los procesos cubiertos se incluyen la amalgamación, lixiviación ácida, cianurada y con tiourea, carbono en pulpa (CIP), carbono en lixiviación (CIL), proceso Merrill-Crowe, extracción con solventes (SX), carbón activado (CA) y adsorción, En pirometalurgia; tostación, fusión, conversión, refinación a fuego, tratamiento de gases y escorias. Mientras que en</p>

	electrometalurgia; electrowinning (EW), electrorefinación (ER) y electrodiálisis.
<b>Contenido</b>	<p><b>Módulo 1: Contexto</b></p> <p>1.1 Contexto de la situación de la minería y del negocio minero polimetálico.</p> <p>1.2 Necesidad de la minería para habilitar energías renovables y enfrentar el cambio climático.</p> <p>1.3 Los ejes del negocio minero: social, ambiental y económicos. Sustentabilidad y medio ambiente.</p> <p><b>Módulo 2: Hidrometalurgia</b></p> <p>2.1 Aspectos aplicados de termodinámica y cinética heterogénea en procesos hidrometalúrgicos, en el contexto del procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.</p> <p>2.2 Operaciones unitarias de lixiviación en la extracción de diferentes metales Cu, Zn, Co, Ni, lixiviación ácida, cianurada, tiourea, bacteriana.</p> <p>2.3 Amalgamación y lixiviación de Au, Ag y PGM, carbono en pulpa (CIP), carbono en lixiviación (CIL), proceso Merrill-Crowe.</p> <p>2.4 Procesos de separación y purificación de soluciones: extracción por solvente (SX), intercambio iónico (IX), adsorción, precipitación, cristalización.</p> <p>2.5 Diagramas de procesos, operaciones unitarias, equipos y componentes, en procesos hidrometalúrgicos.</p> <p><b>Módulo 3: Pirometalurgia</b></p> <p>3.1 Aspectos aplicados de termodinámica y cinética heterogénea en procesos pirometalúrgicos, en el contexto del procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.</p> <p>3.2 Operaciones unitarias: secado, tostación, fusión, conversión, refinación a fuego para Cu, Pb, Ni y otros metales bases.</p> <p>3.3 Tratamiento de escorias, alternativas convencionales a alta temperatura y emergentes de enfriamiento controlado, molienda y flotación.</p> <p>3.4 Tratamiento de gases de fundición y generación de sub-productos.</p>

	<p>3.5 Diagramas de procesos, operaciones unitarias, equipos y componentes, en procesos pirometalúrgicos.</p> <p><b>Módulo 4: Electrometalurgia</b></p> <p>4.1 Aspectos aplicados de termodinámica y cinética heterogénea en procesos electrometalúrgicos, en el contexto del procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.</p> <p>4.2 Electrometalurgia aplicada, corrosión, superficie con transferencia de carga, electroplateado.</p> <p>4.3 Electrowinning (EW) y Electrorefinación (ER) con alcance polimetálico.</p> <p>4.4 Electrodiálisis y nuevas tendencias electroquímicas.</p> <p>4.5 Diagramas de procesos, operaciones unitarias, equipos y componentes, en procesos electroquímicos.</p> <p><b>Módulo 5: Mercado</b></p> <p>5.1 Mercados y centros de producción polimetálicos.</p> <p>5.2 Participación local y global.</p> <p>5.3 Tratamiento de fuentes secundarias (Reciclaje, e-waste).</p> <p>5.4 Perspectiva histórica y oportunidades innovadoras.</p>
<b>Actividades</b>	<p><b>Cátedras expositivas:</b> Incluye, presentaciones, seminarios (con la participación de invitados expertos) y foros de discusión para el análisis de conceptos centrales de cada unidad, considerando una participación activa de las/os estudiantes que analizan ejemplos y resuelven problemas.</p> <p><b>Videoteca:</b> Videos comerciales de procesos, operaciones unitarias, equipos y componentes en el marco de la metalurgia extractiva.</p> <p><b>Visita a laboratorios:</b> De carácter demostrativo, en donde las/os estudiantes podrán conocer ensayos metalúrgicos y técnicas de identificación, caracterización y análisis de muestras minero-metalúrgicas, entre estas se incluyen: ICP-MS, XRF, XRD y técnicas hiperspectrales.</p>
<b>Evaluación</b>	2 controles + presentaciones grupales (No hay examen)

**Bibliografía**

1. Habashi, F. (1997). "Handbook of Extractive Metallurgy", Weinheim, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
2. Mark E. Schlesinger Matthew J. King Kathryn C. Sole William G. Davenport (2011). "Extractive Metallurgy of Copper" Fifth edition, Elsevier, USA, England, Australia and Japan.
3. Copper, J. (1999). "Pyrometallurgy, Leaching, Solvent Extraction and Electrowinning technology. SME Press.
4. Harris D.C. (2010). Quantitative Chemical Analysis. 8th Ed., W.H. Freeman and Co., Clansy Marshall, Ch. 1,2, 3 17, 19, 20, 21.
5. EliazN.,GileadiE.(2019).PhysicalElectrochemistry.Fundamentals,Techniques,and Applications. Second, Completely Revised and Updated Ed., John Wiley & Sons Ltd., Ch. 14, 17, 18.
6. Abarca, J., Bedard, A., Carlson, D., Carlson, L., Hertzberg, J., Louie, B., Milford, J., Reitsma, R.,Schwartz,T., Sullivan,J. (2007). "Introducción al Diseño de Ingeniería: Un Enfoque Basado en Proyectos", Universidad de Colorado, Traducción Universidad de Chile.
7. John O. Marsden and C. Iain House, "The Chemistry of Gold Extraction", 2nd edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Book 2006 – 682 pages.
8. Mike D. Adams, "Advances in Gold Processing", Book 2005, 1077 pages.
9. Vibhuti N. Misra, Doug Halbe, David J. Spottiswood, (1992) "Extractive Metallurgy of Gold and Base Metals", Book, 482 pages.
10. Jorge Cantallopts Araya, "Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2020-2031" más otros estudios de COCHILCO, 2020-2023.