

PROGRAMA DE CURSO

PROCESOS PIROMETALÚRGICOS

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil de Minas					
Nombre del curso	Procesos pirometalúrgicos	Código	MI6011	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Pyrometallurgical processes</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Electivo				X	
	Obligatorio con opción para carrera de Ingeniería Civil de Minas V3					
	Electivo para carrera de Ingeniería Civil de Minas V5					
Requisitos	MI4135: Metalurgia Extractiva					

B. Propósito del curso:

El curso tiene por finalidad que los y las estudiantes analicen los diferentes procesos utilizados en la extracción pirometalúrgica de metales, junto con sus ventajas y desventajas. Para ello, identifican y cuantifican los parámetros relevantes a incorporar en la ingeniería conceptual, considerando la variabilidad de los componentes en los concentrados y/o minerales.

Asimismo, construyen diagramas de flujo que representen una secuencia de extracción de metal a alta temperatura; analizan la extracción de un metal en función de la termodinámica, fenómenos de transporte y cinética de las reacciones; calculan, desarrolla balances de materia y energía, y analiza críticamente los procesos tanto del punto de vista conceptual como operacional y de diseño.

El curso tributa a las siguientes competencias del perfil de egreso:

CE2: Concebir, diseñar, optimizar e implementar soluciones científico-tecnológicas en explotación de yacimientos, procesamiento de minerales o metalurgia extractiva.

CE3: Diseñar operaciones y proyectos mineros, aplicando conocimientos de ingeniería y gestión.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE3	RA1: Analiza los diferentes procesos utilizados en la extracción pirometalúrgica de metales, junto con sus ventajas y desventajas.
CE1	RA2: Identifica y cuantifica los parámetros relevantes a incorporar en la ingeniería conceptual, considerando la variabilidad de los componentes en los concentrados y/o minerales.
CE1	RA3: Construye diagramas de flujo que representen una secuencia de extracción de metal a alta temperatura.
CE1, CE3	RA4: Analiza la extracción de un metal en función de la termodinámica, fenómenos de transporte y cinética de las reacciones.
CE1	RA5: Calcula, desarrolla balances de materia y energía, y analiza críticamente los procesos tanto del punto de vista conceptual como operacional y de diseño.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1	El rol de la metalurgia extractiva a alta temperatura en la producción de metales.	1,0 semana
Contenidos		Indicador de logro	
1.1 Introducción – Contenidos del curso 1.2 Clasificación de los metales. 1.3 Caracterización de los metales según sus propiedades 1.4 Flujo gramas de proceso en la extracción de metales. 1.1. Fluidos metalúrgicos: metales, matas, escorias, sales		El/la estudiante: 1. Clasifica los metales según sus propiedades en la tabla periódica. 2. Describe los procesos metalúrgicos en alta temperatura para metales ferrosos y no ferrosos	
Bibliografía de la unidad		[1, 4, 5, 11]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA2, RA3, RA4	Pre tratamiento de Concentrados: Secado, Calcinación, Tostación, Aglomeración	3,0 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Secado de concentrados. 2.1.1. Teoría de secado, 2.1.2. Procesos de secado aplicados a concentrados, equipos. 2.2. Calcinación. 2.2.1. Teoría calcinación, 2.2.2. Aplicación a hidróxidos, y equipos afines 2.3. Tostación 2.3.1. Bases termodinámicas 2.3.2. Tipos de tostadores y sistemas industriales 2.3.3. Consideraciones ambientales 2.4. Aglomeración 2.4.1. Sistemas de aglomeración, sinterización, peletización y briquetización		El/la estudiante: 1. Identifica los diferentes métodos utilizados en el pre tratamiento de concentrados concordante con sus características químicas y mineralógicas: Ventajas-Desventajas. 2. Identifica aplicaciones, mediante ejemplos de casos específicos de secado, calcinación de compuestos y tostación. 3. Desarrolla balances de materia y energía.	
Bibliografía de la unidad		[1,2, 4, 12, 13]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA3, RA4	Procesos de fusión de concentrado y conversión de mata	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Formación de escorias 3.1.1. Propiedades físico químicas de las escorias 3.1.2. Bases termodinámicas 3.1.3. Caracterización de escorias industriales 3.2. Formación de mata 3.2.1. Bases termodinámicas 3.2.2. Equilibrio mata/escoria/gas 3.3. Procesos de fusión 3.3.1. Fusión por calentamiento: Reverbero, Eléctrico. 3.3.2. Fusión en baño: Noranda, CT, Ausmelt, Vanyukov, Mitsubishi. 3.3.3. Fusión Flash: Outokumpu, Inco 3.4. Procesos de Conversión. 3.4.1. Propósito y base termodinámica 3.4.2. Conversión discontinua: Peirce-Smith, Hoboken, TBRC. 3.4.3. Conversión continua: Mitsubishi, Noranda, Flash, Lechoempacado		El/la estudiante: 1. Logra una visión integral de los procesos de fusión y conversión de concentrados de cobre. 2. Desarrolla balances de materia y energía 3. Interpreta los resultados y su aplicación en los procesos de concentración y producción de cobre a alta temperatura.	
Bibliografía de la unidad		[2,3,4,5, 8, 10, 11, 13]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA2, RA3, RA4	Recuperación de cobre desde escorias	1,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Pérdidas de cobre en las escorias 4.1.1. Métodos de limpieza de escoria, flotación, lixiviación y pirometalúrgico. 4.1.2. Mecanismos 4.2. Procesos de recuperación de cobre. 4.3. Horno de limpieza de escoria Horno eléctrico de limpieza de escoria		El/la estudiante: 1. Identifica los conceptos de la recuperación de cobre desde escorias de fusión y conversión. 2. Interpreta los resultados y su aplicación en los procesos de concentración y producción de cobre a alta temperatura.	
Bibliografía de la unidad		[2,4,11,13]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA2, RA3, RA4	Refinación y moldeo de cobre	2, 5 semanas
Contenidos		Indicador de Logro	
5.1. Refinación a fuego de cobre blíster. 5.2. Bases termodinámicas. 5.3. Refinación oxidante y empleo de fundentes. 5.4. Refinación reductora. 5.5. Procesos de refinación 5.6. Refinación en horno basculante. 5.7. refinación continua en lecho empacado. 5.8. Moldeo de cobre anódico. 5.9. Fundamentos 5.10. Moldeo de ánodos en ruedas Clark. 5.11. Moldeo continuo		El/la estudiante: 1. Identifica la teoría y aplicación de los procesos de refinación y moldeo de cobre anódico y RAF. 2. Interpreta los resultados y su aplicación en los procesos de concentración y producción de cobre a alta temperatura.	
Bibliografía de la unidad		[2,8,11,13]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
6	RA2, RA3, RA4	Procesos de reducción de óxidos	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
6.1.Reducción de óxidos metálicos 6.2.Termodinámica de la reducción de óxidos 6.3.Proceso de producción de hierro 6.4.Producción de arrabio en alto horno 6.5.Refino de acero líquido 6.6.Procesos de reducción directa 6.7.Proceso de producción de Plomo y Cinc 6.8.Producción de plomo en alto horno 6.9.Producción de Cinc en horno de retorta vertical y ISF		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica la teoría y aplicación de los procesos de reducción de óxidos. 2. Logra una visión integral de los procesos de producción de hierro, plomo y zinc. 3. Desarrolla balances de materia y energía. 4. Interpreta los resultados y su aplicación en los procesos de producción de metales. 	
Bibliografía de la unidad		[1,9,10,11, 12]	

E. Estrategias de enseñanza:

La estrategia metodológica es activo-participativa, consistente en:

- Clases expositivas
- Clases auxiliares

F. Estrategias de evaluación:

Las instancias de evaluación son:

- Se realizarán actividades en clase auxiliar (resolución de ejercicios, presentaciones, visitas técnicas, y tutoriales dirigidos al uso y a la aplicación de ingeniería de procesos).
- Dos controles escritos
- Un examen.

La nota final del curso se calculará según la ponderación definida por los docentes.

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

- [1] Hayes, Peter (1993). Process Principles in Minerals & Materials Production, Hayes Publishing Co., Queensland, Australia.
- [2] Biswas, A.K. and Davenport, W. G. (2002) Extractive Metallurgy of Copper, fourth edition, Pergamon Press.
- [3] Davenport, A.K. and Partelpoeg (1987) Flue Smelting – Analysis, Control and Optimisation, Pergamon Press.
- [4] Rosenquist, T. (1974), Principles of Extractive Metallurgy, McGraw-Hill.
- [5] Moskalyk, R.R. and Alfantazi. (2003). Review of copper pyrometallurgical practice: today and tomorrow, Minerals Engineering 16, 893-919.
- [6] Kellog, H.H. (1987) Thermochemistry of nickel matte converting, Can. Met. Quart., Vol 26, 285-298.
- [7] Kellog, H.H. (1969) Thermochemical properties of the system Cu-S at elevated temperature, Can. Met. Quart., Vol 8, 3-23.
- [8] Yazawa, A. (1981). Extractive metallurgical chemistry with special reference to copper smelting, 28th Congress IUPAC, Vancouver, 1-21.
- [9] Matuszewicz, R. and Sofra, J. (2001). Lead smelting, copper smelting and copper converting using ausmelt technology, NMD/ATM Congress, Bhubaneswar, Orissa, India, 1-24.
- [10] Willbrandt, P. (2008). Environmental protection as a challenge, Nordeutsche Affinerie Bulletin, 1-38.
- [11] Alcock, C.B. (1976). The principles of Pyrometallurgy, Academic Press.

[12] Biswas, A.K. (1981). Principles of Blast Furnaces Ironmaking, Brisbane.
[13] Proceedings of International Copper Conferences (1987- 1991-1995-1999-2003-20707-2010), Pyrometallurgy Volumes.

H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso

Vigencia desde:	Otoño 2012
Elaborado por:	Gabriel Riveros
Validado por:	Leandro Voisin
Revisado por:	Área de Desarrollo Docente (ADD)