



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUÍMICA



ASIGNATURA:		HIDRO Y ELECTROMETALURGIA		TIPO DE ASIGNATURA:		OBLIGATORIA	
CODIGO:	UNIDADES:			REQUISITOS:			
6413	CUATRO (4)			6411, 6323			
HORAS/SEMANA:	TEORIA:	PRÁCTICA:	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE:
CINCO	TRES	DOS					SÉPTIMO

PRESENTACIÓN

La extracción de metales a partir de sus fuentes minerales puede realizarse por diversas vías. Algunos procedimientos conllevan la disolución del mineral por vía húmeda con posterior recuperación de las especies de interés por precipitación o deposición. Esta asignatura abarca tales operaciones catalogadas como hidrometalúrgica y electrometalúrgica.

En general se propone suministrar conocimientos sobre los principios termodinámicos que gobiernan las operaciones de disolución, la evaluación de la cinética de las reacciones que tienen lugar, los métodos de precipitación y extracción incluyendo flujogramas y equipos utilizados.

Se hace especial énfasis en la obtención por electrólisis ígnea del aluminio y la obtención de oro por cianuración.

1. OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

1.1. OBJETIVO GENERAL:

El alumno será capaz de conocer las tres técnicas de clasificación de partículas de acuerdo con su tamaño, más empleados a nivel de laboratorio, estas son: Tamizaje (por vía seca y vía húmeda), Elutriación y Sedimentación. Además el estudiante determinará la gravedad específica de un grupo determinado de minerales.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

El estudiante será capaz de:

- 1.2.1 Definir correctamente: Tamizaje, malla, N° de malla, finos, lamas, peso retenido, %peso retenido, %peso acumulado, %peso acumulado menor que, elutriación, tamaño promedio de partículas, velocidad límite.
- 1.2.2 Realizar cálculos y gráficas que permitan definir distribuciones de tamaño.
- 1.2.3 Conocer las principales características y el funcionamiento de los equipos con los cuales se llevan a cabo el tamizaje por vía seca, el tamizaje por vía húmeda y la elutriación (ciclosizer).
- 1.2.4 Determinar por un método conveniente de laboratorio, la gravedad específica de distintos minerales.
- 1.2.5 Medir el tamaño de partículas de un mineral, tomando como base la deposición de éstas partículas en un medio fluido estacionario (Sedimentación).

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	VIGENCIA DESDE: Abril 1998 HASTA: Mayo 2008	HOJA
---------------------------------	----------------------------------	--	------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUÍMICA



ASIGNATURA: HIDRO Y ELECTROMETALURGIA		TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA					
CODIGO: 6413	UNIDADES: CUATRO (4)			REQUISITOS: 6411, 6323			
HORAS/SEMANA: CINCO	TEORIA: TRES	PRÁCTICA: DOS	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SÉPTIMO

2. OPERACIONES DE REDUCCIÓN DE TAMAÑOS

2.1. OBJETIVO GENERAL:

El estudiante será capaz de conocer y definir las principales características de las operaciones de trituración y molienda, además de lograr alcanzar la capacidad de poder determinar la cantidad de energía requerida en la fragmentación de minerales.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

El alumno será capaz de:

2.2.1. Establecer las bases de las operaciones de:

- Trituración primaria
- Trituración secundaria
- Molienda

2.2.2. Conocer las técnicas de "MUESTREO DE UN TODO EN UNO".

2.2.3. Establecer las diferencias que existen entre la trituración y la molienda.

2.2.4. Determinar el tiempo de molienda necesario para reducir tamaños un % en peso menor que un número de malla específico, utilizando para ello la teoría de Charles de consumo de energía.

3. OPERACIONES UNITARIAS HIDROMETALURGICAS

2.1 Objetivo General:

El estudiante será capaz de describir las diversas operaciones unitarias hidrometalúrgicas y seleccionar las adecuadas a un sistema metálico particular.

2.2 Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

2.2.1 Describir los procesos de preparación previa del mineral sea éste de alto, medio o bajo tenor.

2.2.2 Describir la clasificación de procesos de lixiviación y sus parámetros de importancia. Describir y discutir los factores que definen la elección del reactivo de lixiviación.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	VIGENCIA DESDE: Abril 1998 HASTA: Mayo 2008	HOJA
---------------------------------	----------------------------------	--	------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUÍMICA



ASIGNATURA:				TIPO DE ASIGNATURA:			
HIDRO Y ELECTROMETALURGIA				OBLIGATORIA			
CODIGO: 6413	UNIDADES: CUATRO (4)			REQUISITOS: 6411, 6323			
HORAS/SEMANA: CINCO	TEORIA: TRES	PRÁCTICA: DOS	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SÉPTIMO

2.2.3 Describir los procesos de purificación y recuperación de las soluciones de lixiviación.

4. TERMODINÁMICA DE REACCIONES HIDROMETALÚRGICAS

3.1 Objetivo General

El estudiante será capaz de aplicar los principios termodinámicos que gobiernan las reacciones en medio acuoso y sales fundidas, manipular la ecuación de Nernst y construir e interpretar diagramas de tensión-pH a temperatura ambiente y temperatura elevada.

3.2 Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de.

- 3.2.1 Aplicar principios termodinámicos a reacciones sólido-líquido-gas.
- 3.2.2 Elaborar e interpretar diagramas tensión-pH de sistemas metal-agua a temperatura ambiente, y enumerar y discutir sus limitaciones.
- 3.2.3 Elaborar e interpretar diagramas complejos de tensión-pH para sistemas minerales.
- 3.2.4 Aplicar los métodos de determinación de energías a alta temperatura en sistemas acuosos y elaborar e interpretar diagramas tensión-pH a altas temperaturas.
- 3.2.5 Describir y aplicar las teorías de formación de complejos.
- 3.2.6 Interpretar diagramas de potencial-ligando.
- 3.2.7 Interpretar diagramas para disolución y precipitación de hidróxidos.
- 3.2.8 Describir y aplicar los principios de precipitación térmica desde soluciones acuosas.

4. CINÉTICA DE REACCIONES HETEROGÉNEAS

4.1 Objetivo General

El estudiante será capaz de elucidar los mecanismos de reacciones heterogéneas químicas y electroquímicas, determinar los parámetros que definen las velocidades de reacción y describir los factores que afectan la cinética.

4.2 Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	VIGENCIA DESDE: Abril 1998 HASTA: Mayo 2008	HOJA
---------------------------------	----------------------------------	--	------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUÍMICA



ASIGNATURA:		HIDRO Y ELECTROMETALURGIA		TIPO DE ASIGNATURA:		OBLIGATORIA	
CODIGO:	UNIDADES:			REQUISITOS:			
6413	CUATRO (4)			6411, 6323			
HORAS/SEMANA:	TEORIA:	PRÁCTICA:	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE:
CINCO	TRES	DOS					SÉPTIMO

- 4.2.1 Identificar las reacciones electroquímicas y evaluar los parámetros cinéticos que las caracterizan.
- 4.2.2 Evaluar los parámetros cinéticos de las reacciones sólido-líquido y las condiciones de solubilidad de sólidos en líquido.
- 4.2.3 Evaluar los parámetros cinéticos de las reacciones líquido-gas y las condiciones de solubilidad de gases en líquidos.

5. TRATAMIENTOS DE LAS SOLUCIONES DE LIXIVIACION

5.1 Objetivos Generales

El estudiante será capaz de describir, aplicar y seleccionar métodos apropiados de tratamiento de soluciones de lixiviación y realizar diseños de sistemas para tratar una solución dada.

5.2 Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de.

- 5.2.1 Describir y comparar los distintos métodos de tratamiento de soluciones de lixiviación.
- 5.2.2 Realizar diseños de sistemas de tratamiento por precipitación iónica.
- 5.2.3 Realizar diseños de sistemas de tratamiento por precipitación con metales (cementación).
- 5.2.4 Realizar diseños de sistemas de tratamiento por precipitación con gases.
- 5.2.5 Realizar diseños de sistemas de tratamiento por intercambio iónico.
- 5.2.6 Realizar diseños de sistemas de tratamiento por extracción por solventes.

6. ELECTROMETALURGIA

6.1 Objetivos Generales

El estudiante será capaz de aplicar las leyes de Faraday a sistemas electrometalúrgicos, determinar eficiencias de tales sistemas. Calcular transferencia de masa hacia electrodos y rendimiento eléctrico.

6.2 Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	VIGENCIA DESDE: Abril 1998 HASTA: Mayo 2008	HOJA
---------------------------------	----------------------------------	--	------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUÍMICA



ASIGNATURA:				TIPO DE ASIGNATURA:			
HIDRO Y ELECTROMETALURGIA				OBLIGATORIA			
CODIGO: 6413	UNIDADES: CUATRO (4)			REQUISITOS: 6411, 6323			
HORAS/SEMANA: CINCO	TEORIA: TRES	PRÁCTICA: DOS	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SÉPTIMO

- 6.2.1 Enunciar y aplicar las leyes de Faraday.
- 6.2.2 Describir y aplicar las propiedades de transporte en soluciones electrolíticas, y determinar los parámetros que las gobiernan.
- 6.2.3 Calcular cantidades de masa depositadas y consumidas en los electrodos, calcular eficiencia y rendimiento de un sistema de un sistema dado y determinar consumo de solución.
- 6.2.4 Describir sistemas de potencial mixto y métodos de control de proceso en tales sistemas.
- 6.2.5 Describir el fenómeno de pasivación, sus consecuencias, su utilidad y desventajas y métodos para estimular y/o eliminar la pasivación.
- 6.2.6 Describir y comparar métodos de electro-obtención y refinación electrolítica. Diseñar celdas electrolíticas de soluciones acuosas y sales fundidas. Evaluar tipos de sobrepotencial presentes.

EVALUACION

La evaluación del curso se realizará por medio de exámenes parciales, tareas fuera de aula y un examen final.

Los exámenes parciales se realizarán al concluir los temas 3 y 5, podrán ser de tipo de ensayo, con problemas y/u objetivos, dependiendo de la naturaleza de los tópicos cubiertos. Serán discutidos en fecha posterior a su realización y conformarán el 60% de la calificación final. Los exámenes parciales podrán consistir en trabajos que serán evaluados por presentación oral y escrita. Las tareas fuera de aula conformarán el 10% de la calificación final. El examen final podrá ser de tipo de ensayo, con problemas y/u objetivo y conformará el 30% de la calificación final. Para quienes resulten reprobados en finales o no alcancen la nota previa habrá un examen comprensivo de reparación.

CONTENIDO

PROGRAMA SINOPTICO:

Introducción a la Hidrometalurgia. Operaciones Unitarias Hidrometalúrgicas. Termodinámica de Reacciones Hidrometalúrgicas. Cinética de Reacciones Electroquímicas. Tratamiento de las soluciones de Lixiviación. Electrometalurgia

TEMARIO

1. Introducción a la Hidrometalurgia.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	VIGENCIA DESDE: Abril 1998 HASTA: Mayo 2008	HOJA
---------------------------------	----------------------------------	--	------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUÍMICA



ASIGNATURA:		HIDRO Y ELECTROMETALURGIA		TIPO DE ASIGNATURA:		OBLIGATORIA	
CODIGO:	UNIDADES:			REQUISITOS:			
6413	CUATRO (4)			6411, 6323			
HORAS/SEMANA:	TEORIA:	PRÁCTICA:	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE:
CINCO	TRES	DOS					SÉPTIMO

- 1.1 Áreas de la Metalurgia Extractiva.
- 1.2 Definición de hidrometalurgia y su campo de aplicación.
- 1.3 Etapas del proceso hidrometalúrgico.
- 1.4 El proceso de Lixiviación.
- 1.5 Purificación de las soluciones de lixiviación.
- 1.6 Recuperación del metal desde las soluciones.
- 1.7 Aplicaciones.

2. Operaciones Unitarias Hidrometalúrgicas
 - 2.1 Lixiviación
 - 2.1.1 Clasificación de los procesos de lixiviación.
 - 2.1.2 Factores que definen la elección del reactivo lixivante.
 - 2.2 Purificación y tratamiento de las soluciones de la lixiviación.
 - 2.3 Procesos de cianuración.

3. Termodinámica de Reacciones hidrometalúrgicas
 - 3.1 Reacciones sólido-líquido y líquido-gas.
 - 3.2 Diagrama de Pourbaix a temperatura ambiente.
 - 3.2.1 La ecuación de Nernst.
 - 3.2.2 Construcción de diagramas de Pourbaix.
 - 3.2.3 Limitaciones de los diagramas.
 - 3.3 Diagramas de Pourbaix para minerales.
 - 3.4 Diagramas de Pourbaix a temperaturas elevadas.
 - 3.4.1 Cálculo de la energía libre a temperaturas elevadas.
 - 3.4.2 El principio de correspondencia.
 - 3.5 Teoría de formación de complejos.
 - 3.6 Diagramación potencial-ligando.
 - 3.7 Diagramas para disolución-precipitación de hidróxidos.

4. Cinética de Reacciones Electroquímicas.
 - 4.1 Naturaleza electroquímica de algunas reacciones heterogéneas.
 - 4.2 Reacciones sólido-líquido.
 - 4.2.1 Solubilidad de sólidos en soluciones.
 - 4.2.2 Cinética de la disolución.
 - 4.3 Reacciones líquido-gas.

5. Tratamiento de las soluciones de Lixiviación.
 - 5.1 Tipos de métodos.
 - 5.2 Precipitación iónica.
 - 5.3 Precipitación con metales.
 - 5.4 Precipitación con gases.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	VIGENCIA DESDE: Abril 1998 HASTA: Mayo 2008	HOJA
---------------------------------	----------------------------------	---	------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUÍMICA



ASIGNATURA:		HIDRO Y ELECTROMETALURGIA			TIPO DE ASIGNATURA:		OBLIGATORIA	
CODIGO:	UNIDADES:			REQUISITOS:				
6413	CUATRO (4)			6411, 6323				
HORAS/SEMANA:	TEORIA:	PRÁCTICA:	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE:	
CINCO	TRES	DOS					SÉPTIMO	

- 5.5 Intercambio iónico.
- 5.6 Extracción por solventes.
- 5.7 Precipitación térmica en soluciones acuosas.
- 5.8 El proceso Bayer.

6. Electrometalurgia.
 - 6.1 Leyes de Faraday.
 - 6.2 Propiedades de transporte en soluciones electrolíticas.
 - 6.3 Transferencia de masa hacia los electrodos.
 - 6.4 Sistemas de potencial mixto.
 - 6.5 El fenómeno de pasivación.
 - 6.6 Electro-obtención y refinación electrolítica.
 - 6.6.1 Reacciones anódicas y catódicas.
 - 6.6.2 Diseño de celdas.
 - 6.6.3 Diversos tipos de sobrepotencial.
 - 6.7 El proceso Hall-Heroult.

REQUISITOS

1. Formales:

Haber aprobado las asignaturas Metalurgia Extractiva II y Laboratorio Instrumental.

2. Académicos:

El alumno deberá ser capaz de.

- 2.1 Resolver problemas que involucran el uso de principios de Química. Física y Físicoquímica.
- 2.2 Realizar flujogramas.
- 2.3 Redactar ensayos cortos, libres de errores de ortografía y sintaxis.

HORAS DE CONTACTO

La asignatura se dictará en dos períodos de clases teóricas, y un período de clases prácticas y semanales en la forma siguiente:

1. Clases teóricas: un período de tres x 16 horas y un período de una hora de duración a la semana.
2. Clases prácticas: un período de tres horas de duración cada semana.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	VIGENCIA DESDE: Abril 1998 HASTA: Mayo 2008	HOJA
---------------------------------	----------------------------------	---	------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUÍMICA



ASIGNATURA:		HIDRO Y ELECTROMETALURGIA			TIPO DE ASIGNATURA:		OBLIGATORIA	
CODIGO:	UNIDADES:			REQUISITOS:				
6413	CUATRO (4)			6411, 6323				
HORAS/SEMANA:	TEORIA:	PRÁCTICA:	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE:	
CINCO	TRES	DOS					SÉPTIMO	

PROGRAMACION CRONOLOGICA

El tiempo total destinado a esta asignatura se distribuirá así:

<u>TEMA</u>	<u>HORAS</u>
1	Tres
2	Tres
3	Nueve
4	Tres
5	Ocho
6	Nueve

deja un margen de ocho horas para exámenes y repasos.

BIBLIOGRAFIA

Texto: Principles of Extractive Metallurgy, vol.2 Hydrometallurgy Fathi Habashi, Gordon and Breach Science Publishers, N.Y, N.Y. 1970.
Adicionalmente se empleará material bibliográfico extraído de publicaciones periódicas a ser señaladas por el profesor.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	VIGENCIA DESDE: Abril 1998 HASTA: Mayo 2008	HOJA
---------------------------------	----------------------------------	--	------