



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUIMICA



ASIGNATURA: METALURGIA DE ALTAS TEMPERATURAS		TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA					
CODIGO: 6412	UNIDADES: 4			REQUISITOS: 6411, 6423, 6323			
HORAS/SEMANA: 5	TEORIA: 3	PRÁCTICA: 2	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SEPTIMO

I. PROPÓSITO:

El estudiante que ingresa a esta asignatura tiene las bases fundamentales de termodinámica y cinética junto con los conocimientos generales sobre los principales procesos pirometalúrgicos de extracción de metales. El propósito que persigue esta asignatura es profundizar en esos conocimientos de acuerdo a los aspectos siguientes:

- Que el alumno aplique los conocimientos teóricos fundamentales de termodinámica y cinética para describir los procesos pirometalúrgicos de extracción de metales.
- Que el alumno tenga destreza para analizar y resolver problemas termodinámicos y cinéticos relacionados con los procesos pirometalúrgicos de extracción de metales a nivel comercial.
- Que el alumno obtenga información sobre diferentes procesos pirometalúrgicos de extracción de metales a nivel comercial.
- Que el alumno sea capaz de evaluar la factibilidad teórica de un proceso pirometalúrgico.

II. OBJETIVOS DEL APRENDIZAJE

Los objetivos del aprendizaje para esta asignatura son:

1. CONCEPTOS GENERALES:

1.1. Objetivo general:

El alumno será capaz de identificar y localizar los principales depósitos minerales de interés comercial en Venezuela y conocer el tipo de proceso utilizado actualmente en cada uno de los depósitos que se encuentran en explotación.

1.2. Objetivos específicos:

El alumno será capaz de:

1.2.1. Enumerar los principales depósitos minerales no ferrosos existentes en Venezuela, dando información general sobre su localización, tipo de mineral, tenor, reservas.

1.2.2. Describir los principales procesos pirometalúrgicos de extracción de metales no ferrosos.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA: 21/04/1998	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA: 1/8
---	----------------------------------	--------	-----------------	--------------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUIMICA



ASIGNATURA: METALURGIA DE ALTAS TEMPERATURAS		TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA					
CODIGO: 6412	UNIDADES: 4			REQUISITOS: 6411, 6423, 6323			
HORAS/SEMANA: 5	TEORIA: 3	PRÁCTICA: 2	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SEPTIMO

1.2.3. Desarrollar e interpretar los diagramas de flujo de los diversos procesos de extracción de metales no ferrosos.

2. **FUNDAMENTOS SOBRE CINÉTICA DE PROCESOS HETEROGENEOS:**

2.1. Objetivo general:

El alumno será capaz de describir el mecanismo de una reacción heterogénea enumerando sus etapas principales e indicando cual de ellas es la posible controlante del proceso. Formular una expresión cinética que describa el proceso pirometalúrgico.

2.2. Objetivos específicos:

El alumno será capaz de:

- 2.2.1. Describir el mecanismo de un proceso pirometalúrgico.
- 2.2.2. Enumerar las etapas principales que conforman un proceso específico y reconocer su carácter físico y químico.
- 2.2.3. Formular una expresión cinética global que describa el comportamiento cinético de un proceso.
- 2.2.4. Definir y desarrollar expresiones cinéticas particulares para describir casos límite o asintóticos a la expresión general.
- 2.2.5. Interpretar correctamente el concepto de etapa controlante del proceso.
- 2.2.6. Conocer y aplicar correctamente el criterio de energía de activación de un proceso pirometalúrgico.
- 2.2.7. Identificar y describir los parámetros o factores que influyen en la cinética de una reacción heterogénea sólido – gas.
- 2.2.8. Conocer e interpretar los conceptos fundamentales relacionados con la cinética de una reacción heterogénea sólido – gas.
- 2.2.9. Conocer y saber aplicar los modelos de reacciones heterogéneas sólido – gas, más comunes: modelo del núcleo, sus reacciones, modelo de grano, modelo de poro.
- 2.2.10. Conocer los diferentes tipos de reactores que se utilizan en procesos pirometalúrgicos que involucran reacciones sólido – gas, de uso industrial. Saber diseñar y entender el comportamiento de un reactor sencillo para reacciones sólido–gas. Formular ecuaciones para la transferencia de momento, calor y materia de un reactor simple.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA: 21/04/1998	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA: 2/8
--	-------------------------------------	--------	--------------------	--------------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUIMICA



ASIGNATURA: METALURGIA DE ALTAS TEMPERATURAS			TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA				
CODIGO: 6412	UNIDADES: 4		REQUISITOS: 6411, 6423, 6323				
HORAS/SEMANA: 5	TEORIA: 3	PRÁCTICA: 2	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SEPTIMO

3. **PROCESOS DE CALCINACIÓN, TOSTACIÓN Y SINTERIZACIÓN:**

3.1 Objetivo general

El alumno será capaz de describir correctamente el comportamiento de un proceso de calcinación, tostación, reducción o sinterización, utilizando los termodinámicos y cinéticos.

3.2. Objetivos específicos

El alumno será capaz de:

- 3.2.1. Aplicar los conceptos termodinámicos para describir el comportamiento de un proceso de descomposición de carbonatos, sulfatos y la oxidación de sulfuros metálicos.
- 3.2.2. Determinar las condiciones teóricas óptimas para lograr la descomposición de los compuestos antes mencionados.
- 3.2.3. Construir y saber interpretar los diagramas de estabilidad termodinámica para sistemas M-S-O, M-H-Cl.
- 3.2.4. Aplicar los conceptos termodinámicos y cinéticos para describir los procesos de tostación oxidante, sulfatante, clorinante.
- 3.2.5. Enumerar los procesos utilizados a escala comercial para calcinación, tostación y sinterización de minerales.
- 3.2.6. Tener información sobre la tecnología tradicional y reciente utilizada para la tostación y calcinación de minerales no ferrosos.
- 3.2.7. Describir la termodinámica y cinética de un proceso de reducción de minerales de hierro.
- 3.2.8. Tener información e interpretar correctamente la tecnología sobre los procesos de reducción de óxidos metálicos más comunes.

4. **PROCESOS DE FUSIÓN Y CONVERSIÓN**

4.1 Objetivo general:

El alumno será capaz de:

Describir el comportamiento de los procesos de fusión y conversión utilizando los conceptos termodinámicos y cinéticos.

4.2. Objetivos específicos:

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA: 21/04/1998	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA: 3/8
---	----------------------------------	--------	-----------------	--------------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUIMICA



ASIGNATURA: METALURGIA DE ALTAS TEMPERATURAS				TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA			
CODIGO: 6412	UNIDADES: 4			REQUISITOS: 6411, 6423, 6323			
HORAS/SEMANA: 5	TEORIA: 3	PRÁCTICA: 2	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SEPTIMO

El alumno será capaz de:

- 4.2.1. Describir el mecanismo de una reacción líquido – líquido de alta temperatura, enumerando sus etapas principales. Formular una expresión cinética que describa el proceso y permita determinar la etapa controlante.
- 4.2.2. Aplicar los conceptos termodinámicos y cinéticos para describir el proceso de conversión.
- 4.2.3. Conocer y saber aplicar los modelos matemáticos propuestos hasta ahora para describir los procesos que involucren reacciones líquido – líquido – gas, como son: El modelo de cada límite estacionaria y el modelo de penetración o renovación superficial.
- 4.2.4. Conocer los diferentes tipos de reactores que se utilizan en procesos pirometalúrgicos que involucran las fases escorias – metal – gas.
- 4.2.5. Aplicar correctamente los principios de conservación de masa y energía de los procesos pirometalúrgicos.
- 4.2.6. Adquirir información sobre diseño y operación de reactores tradicionales utilizados en los procesos de conversión.

5. **PROCESOS DE REFINACIÓN**

5.1. Objetivo general:

El alumno será capaz de:

Aplicar los conceptos termodinámicos y cinéticos para describir un proceso determinado de refinación, indicando las características mas sobresalientes del proceso y sus restricciones a escala comercial.

5.2. Objetivos específicos:

El alumno será capaz de:

- 5.2.1. Conocer los diferentes procesos de refinación oxidante, desoxidante, afino zonal, separación de fases, etc.
- 5.2.2. Describir el mecanismo de cada uno de los procesos de refinación enumerados arriba.
- 5.2.3. Enumerar las etapas principales de un proceso de refinación e indicar cual será la posible controlante del proceso.
- 5.2.4. Conocer y aplicar los conceptos termodinámicos y cinéticos de los procesos de destilación y condensación.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA: 21/04/1998	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA: 4/8
---	----------------------------------	--------	-----------------	--------------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUIMICA



ASIGNATURA: METALURGIA DE ALTAS TEMPERATURAS				TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA			
CODIGO: 6412	UNIDADES: 4			REQUISITOS: 6411, 6423, 6323			
HORAS/SEMANA: 5	TEORIA: 3	PRÁCTICA: 2	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SEPTIMO

5.2.5. Adquirir información sobre la tecnología de los procesos de refinación tradicionales, destilación y desgasificación de diferentes metales.

III. EVALUACIÓN

El aprendizaje de cada uno de estos temas se facilitará mediante la realización de un proyecto del que deberá entregarse avances al finalizar cada tema y en su totalidad, con una exposición oral, al final del semestre. Este tendrá un valor de 25% sobre la nota definitiva.

Se harán dos exámenes parciales, con un peso de 25% cada uno y al finalizar el material de la asignatura se procederá a realizar un examen final. En este examen se evaluarán los conocimientos del alumno sobre los temas desarrollados durante el período académico haciendo énfasis en la interpretación y análisis de los procesos pirometalúrgicos.

El resumen de la evaluación se distribuye como sigue:

Examen parcial.....	25%
Examen parcial.....	25%
Proyecto.....	25%
Examen final.....	25%
TOTAL.....	100%

IV. CONTENIDO

1. PROGRAMA SINOPTICO

Generalidades. Cinética de los procesos heterogéneos. Reacciones heterogéneas sólido-gas. Concepto de la etapa controlante. Mecanismo de reacciones. Modelos matemáticos de reacciones heterogéneas sólido – gas. Modelo del núcleo sin reaccionar. Modelo de grano. Aplicación al diseño de reactores. Termodinámica y cinética de los procesos de secado, calcinación y tostación de minerales. Tecnología de los procesos de calcinación y tostación. Termodinámica de los procesos de refinación: oxidante, desoxidante, separación de fases, destilación y condensación.

2. TEMARIO

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA: 21/04/1998	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA: 5/8
---	----------------------------------	--------	-----------------	--------------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUIMICA



ASIGNATURA: METALURGIA DE ALTAS TEMPERATURAS		TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA					
CODIGO: 6412	UNIDADES: 4			REQUISITOS: 6411, 6423, 6323			
HORAS/SEMANA: 5	TEORIA: 3	PRÁCTICA: 2	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SEPTIMO

2.1. Generalidades

- 2.1.1. Objeto de la Metalurgia Extractiva.
- 2.1.2. Clasificación de los procesos en Metalurgia Extractiva.
- 2.1.3. Fuentes de metales.
- 2.1.4. Situación de los metales en el mundo.
- 2.1.5. Ocurrencia de las menas de metales no ferrosos de Venezuela.

2.2. Fundamentos de la cinética de procesos heterogéneos:

- 2.2.1 Conceptos de reacción heterogénea. Etapas.
- 2.2.2 Mecanismo de una reacción heterogénea. Etapas.
- 2.2.3 Expresión cinética global de una reacción heterogénea.
- 2.2.4 Casos límite. Etapa controlante de un proceso.
- 2.2.5 Factores que influyen en la cinética de un proceso.
- 2.2.6 Clasificación de las reacciones heterogéneas sólido – fluido.
- 2.2.7 Cinética de las reacciones heterogéneas. Sólido – gas.
- 2.2.8 Modelos cinéticos de reacciones sólido – gas.
- 2.2.9 Modelo de núcleo sin reaccionar.
- 2.2.10 Modelo de grano. Modelo de poro.
- 2.2.11 Aplicaciones al diseño de reactores.
- 2.2.12 Diseño de un reactor sencillo para un sistema heterogéneo sólido – gas.

2.3. Procesos de Calcinación, Tostación, Reducción y Sinterización:

- 2.3.1. Conceptos termodinámicos y cinéticos del proceso de calcinación y descomposición térmica.
- 2.3.2. Tecnología de los procesos de calcinación industrial.
- 2.3.3. Aspectos termodinámicos y cinéticos sobre el proceso de tostación de minerales.
- 2.3.4. Procesos de tostación oxidante, sulfurante, clorurante.
- 2.3.5. Diagramas de estabilidad de sistemas M-S-O, M-H-Cl.
- 2.3.6. Diagramas de estabilidad M-S-C-O.
- 2.3.7. Procesos de reducción directa de minerales ferrosos.
- 2.3.8. Procesos de reducción directa de minerales no ferrosos.
- 2.3.9. Conceptos termodinámicos y cinéticos de los procesos de sinterización.
- 2.3.10. Tecnología de los procesos de sinterización industrial.

2.4. Procesos de fusión y conversión:

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA: 21/04/1998	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA: 6/8
---	----------------------------------	--------	--------------------	--------------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUIMICA



ASIGNATURA: METALURGIA DE ALTAS TEMPERATURAS		TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA					
CODIGO: 6412	UNIDADES: 4			REQUISITOS: 6411, 6423, 6323			
HORAS/SEMANA: 5	TEORIA: 3	PRÁCTICA: 2	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SEPTIMO

- 2.4.1. Conceptos fundamentales sobre reacciones escoria-metal y metal-gas.
- 2.4.2. Distribución escoria-metal en equilibrio termodinámico.
- 2.4.3. Fundamentos termodinámicos de aleaciones en estado líquido.
- 2.4.4. Cinética y termodinámica de las reacciones escoria-metal y metal-gas.
- 2.4.5. Modelo cinético de penetración o renovación de superficie.
- 2.4.6. Modelo cinético de renovación de superficie.
- 2.4.7. Aplicaciones al diseño de reactores.
- 2.4.8. Tecnología de los procesos de fusión y conversión comerciales.

2.5. Procesos de refinación:

- 2.5.1. Aspectos termodinámicos y cinéticos sobre los procesos de refinación.
- 2.5.2. Tecnología de los procesos de refinación: oxidante, afino zonal, separación de fases.
- 2.5.3. Aspectos termodinámicos y cinéticos de los procesos de destilación y condensación.
- 2.5.4. Tecnología de los procesos de destilación y condensación de metales ferrosos y no ferrosos
- 2.5.5. Termodinámica y cinética de los procesos de desgasificación de metales ferrosos y no ferrosos.
- 2.5.6. Termodinámica y cinética de los procesos de desgasificación de metales.

V. REQUISITOS

Haber aprobado: Metalurgia Extractiva (6411)
Fenómenos de Transporte (6423)
Termodinámica (6323)

VI. HORAS DE CONTACTO

La asignatura se dictará en dieciséis (16) semanas, en cada una de las cuales se dictaran tres (3) horas de teoría y dos (2) horas de práctica, dedicadas estas últimas a la solución de problemas.

VII. PROGRAMA CRONOLÓGICO

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA: 21/04/1998	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA: 7/8
---	----------------------------------	--------	-----------------	--------------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
DEPARTAMENTO DE METALURGIA QUIMICA



ASIGNATURA: METALURGIA DE ALTAS TEMPERATURAS		TIPO DE ASIGNATURA: OBLIGATORIA					
CODIGO: 6412	UNIDADES: 4		REQUISITOS: 6411, 6423, 6323				
HORAS/SEMANA: 5	TEORIA: 3	PRÁCTICA: 2	LABORATORIO:	SEMINARIO:	TRABAJO SUPERVISADO:	HORAS TOTALES DE ESTUDIO:	SEMESTRE: SEPTIMO

El tiempo total dedicado a la asignatura se dictaran por temas de la siguiente forma.

TEMA	Nº DE HORAS	SEMANA
1	5	1
2	30	2 – 7
3	15	8 – 10
4	20	11 – 14
5	10	15 – 16

El Nº de horas incluye las horas de práctica, que se distribuyen semanalmente de acuerdo con el tema dado en teoría, y las evoluciones respectivas.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

No hay libro texto obligatorio

Como bibliografía de apoyo se recomienda:

1. **ROSENQUIST, T.**, “Principles of Extractive Metallurgy”. Mc Graw Hill Book Co., New York, 1974.
2. **GASKELL, D. R.**, “Introduction to Metallurgical Thermodynamics”, Mc Graw Hill Book Co. New York, 1973.
3. **PEHLKE, ROBERT D.**, “United Processes of Extractive Metallurgy”, American Elsevier Publishing Co., Inc., New York, 1973.
4. **HABSHI, F.**, “Principles of Extractive Metallurgy”, Volume 1, General Principles: Gordon Breach and Science. Publishes, New York 1969. Química: Editorial Reverti, México, 1974.
5. **SMITH, J. M.**, “Chemical Engineering Kinetics”, Mc Graw-Hill Book Co, New York 1985

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA: 21/04/1998	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA: 8/8
---	----------------------------------	--------	-----------------	--------------