

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROGRAMA DE ESTUDIO

**PRODUCCIÓN DE CEMENTO**

**2043**

**8°, 9° ó 10°**

**06**

Asignatura

Clave

Semestre

Créditos

**Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**Explotación de Minas y Metalurgia**

**Ingeniería de Minas y Metalurgia**

División

Departamento

Carrera(s) en que se imparte

**Asignatura:**

Obligatoria

Optativa

**Horas:**

Teóricas

Prácticas

**Total (horas):**

Semana

16 Semanas

Aprobado:  
Consejo Técnico de la Facultad

Consejo Académico del Área de las Ciencias  
Físico Matemáticas y de las Ingenierías

Fecha:  
25 de febrero, 17 de marzo y 16 de junio de 2005

12 de agosto de 2005

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** ninguna

**Seriación obligatoria consecuyente:** ninguna

**Objetivo del curso:**

Que el alumno conozca las distintas etapas en la fabricación del cemento y la composición química de los diversos tipos de cementos. Comprenda la influencia de los componentes en el proceso de hidratación de los cementos y la estructura física de los cementos hidratados. Comprenda las propiedades químicas y mecánicas derivadas de la hidratación del cemento en cada tipo de composición, así también la acción química de los agentes externos sobre los componentes hidratados. Conozca la clasificación y las normas de utilización.

**Temario**

NÚM.	NOMBRE	HORAS
1.	Introducción	3.0
2.	Fabricación del Clinker	15.0
3.	Proceso de hidratación del cemento Pórtland	15.0
4.	Clasificación y utilización de los cementos	15.0
	Total	48.0



## 1 Introducción

**Objetivo:** Que el alumno conozca la estructura y panorámica de producción y consumo nacional y mundial del sector cementero. Conozca los diagramas de fase sílice-cal, cal-alúmina y estados alotrópicos del cuarzo, los distintos componentes mineralógicos de un clinker de cemento Pórtland y sus propiedades. Conozca las materias primas utilizadas en la fabricación de los cementos justificando su importancia en cada caso.

### Contenido:

- 1.1 Estructura y panorámica del sector cementero nacional y mundial.
  - 1.1.1 Consumo final directo de la energía.
  - 1.1.2 Estructura del consumo de la energía.
  - 1.1.3 Panorámica del sector cementero en México.
- 1.2 Estudio de los diagramas de fases aplicables a la industria cementera.
  - 1.2.1 Componentes mineralógicos del clinker.
  - 1.2.2 Diagrama sílice-cal.
  - 1.2.3 Diagrama cal-alúmina.
  - 1.2.4 Estado alotrópico del cuarzo.
- 1.3 Materias primas utilizadas en la fabricación del cemento.
  - 1.3.1 Materias primas necesarias.
  - 1.3.2 Rocas aportadoras de CAO.
  - 1.3.3 Rocas aportadoras de  $\text{SiO}_2$ .
  - 1.3.4 Rocas aportadoras de CAO y  $\text{SiO}_2$ .
  - 1.3.5 Componentes correctores.

## 2 Fabricación del Clinker

**Objetivo:** Que el alumno conozca las etapas y procedimientos de fabricación del clinker. Analice los índices y módulos que se aplican en la dosificación de las materias primas. Aplique los métodos numéricos adecuados para el cálculo de la dosificación óptima de las materias primas, así como el método gráfico de Grun y Kunze. Comprenda el uso de las rocas y componentes correctores en la fabricación del clinker. Conozca las propiedades físicas y químicas de cada componente mineralógico del clinker y determinarlos con el método de bogue, incluso en los cementos con gran cantidad de hierro. Comprenda el funcionamiento de los molinos de bolas y calcule sus principales parámetros y rendimientos específicos en la fabricación del cemento. Conozca los sistemas de molienda y los tipos de molinos utilizados. Conozca los diversos sistemas de homogeneización del crudo del cemento. Conozca las distintas zonas de los hornos verticales y horizontales, así como su funcionamiento. Conozca los distintos tipos de hornos rotatorios. Conozca los distintos procedimientos para recuperar el calor en los hornos por vía húmeda y en los hornos por vía seca. Comprenda las diferencias entre los sistemas Lepol y Humboldt. Analice los consumos específicos y rendimientos de los distintos tipos de hornos. Describa los tipos de anillos, causas de su formación y eliminación en los hornos horizontales. Conozca los distintos tipos de forros de refractarios utilizados en los hornos, su desgaste, duración y reposición. Comprenda los diagramas de Rankin y Lea-Parker y los eutécticos de Hansen. Aplique las fórmulas de Lea y Bogue para el cálculo de la fase líquida. Analice la termodinámica del horno y los distintos tipos de enfriadores. Desarrolle el cálculo calorífico teórico de la fabricación de un tipo de clinker. Realice los balances de energía de las instalaciones de hornos por vía húmeda con enfriador de parrilla y con enfriador de satélites, las instalaciones por vía semiseca y las instalaciones de hornos por vía seca de cuatro etapas y enfriadores de satélites.

**Contenido:**

- 2.1** Procedimientos de fabricación del clinker.
  - 2.1.1** Etapas en el proceso de fabricación del clinker.
  - 2.1.2** Procedimiento por vía seca.
  - 2.1.3** Procedimiento por vía húmeda.
  - 2.1.4** Ventajas del procedimiento por vía húmeda.
  - 2.1.5** Ventajas del procedimiento por vía seca.
  - 2.1.6** Consumo específico y rendimiento térmico de los distintos procedimientos.
- 2.2** Índices y módulos.
  - 2.2.1** Análisis de las materias primas.
  - 2.2.2** Módulos del clinker.
  - 2.2.3** Cantidad máxima de cal.
- 2.3** Métodos de dosificación del crudo.
  - 2.3.1** Cálculo de la composición de un crudo.
  - 2.3.2** Composición del clinker.
  - 2.3.3** Planteamiento matemático.
  - 2.3.4** Diagrama triangular.
  - 2.3.5** Dosificación gráfica por el método de Grun y Kunze.
  - 2.3.6** Cálculo de la cal disponible para la formación de silicatos.
  - 2.3.7** Localización en el diagrama triangular de las distintas materias primas.
  - 2.3.8** Empleo de rocas correctoras.
  - 2.3.9** Dosificación de las materias primas.
- 2.4** Características de un clinker.
  - 2.4.1** Componentes mineralógicos de un clinker.
  - 2.4.2** Propiedades de los componentes mineralógicos.
  - 2.4.3** Aplicación de los clinker según su composición.
  - 2.4.4** Determinación de los componentes mineralógicos de un clinker por el método de Bogue.
  - 2.4.5** Aplicación del método de Bogue a los clinker con gran contenido de hierro.
- 2.5** La molienda en el proceso de fabricación de los cementos.
  - 2.5.1** Caída de las bolas sin material para moler.
  - 2.5.2** Velocidad de la rotación del molino.
  - 2.5.3** Grado de compacidad y grado de llenado.
  - 2.5.4** Molinos compound.
  - 2.5.5** Diagrama de molienda normal.
  - 2.5.6** Cálculo del desgaste de bolas.
  - 2.5.7** Datos acerca de las bolas para molienda.
  - 2.5.8** Ensayos de rendimiento de los molinos de bolas.
  - 2.5.9** Rendimiento específico de la molturación.
  - 2.5.10** Molienda por vía seca en circuito abierto y circuito cerrado.
  - 2.5.11** Comparación de los sistemas de molienda en circuito abierto y circuito cerrado.
- 2.6** La homogeneización del crudo en el proceso de fabricación del cemento.
  - 2.6.1** Sistema de homogeneización del crudo.
  - 2.6.2** Homogeneización neumática del crudo. Sistemas.
  - 2.6.3** Condiciones óptimas para la homogeneización.
- 2.7** Los hornos en la fabricación del clinker.
  - 2.7.1** Instalación con horno vertical: zonas del horno.
  - 2.7.2** Horno rotatorio: zonas. Tipos de horno rotatorio.
  - 2.7.3** Recuperación del calor en los hornos por vía húmeda: Procedimientos.
  - 2.7.4** Comparación de los sistemas Lepol y Humboldt.
  - 2.7.5** Antigüedad y relación hornos-proceso productivo de los hornos instalados en México.
  - 2.7.6** Variación del consumo específico y rendimiento de los hornos por vía semi-seca y seca.



- 2.7.7 Distribución de los hornos por vía seca según el sistema de precalentamiento de la harina de crudo.
- 2.7.8 Tipos de anillos y causas de su formación . Eliminación.
- 2.7.9 Tipos de refractarios para los hornos.
- 2.7.10 Diagramas de equilibrio CAO-SiO<sub>2</sub>, MGO-SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>-AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Y SiO<sub>2</sub>-CAO-AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- 2.7.11 Composición de las briquetas de tipo ácido y básico.
- 2.7.12 Evolución de la producción de los refractarios industriales.
- 2.7.13 Características de las zonas del horno.
- 2.7.14 Requisitos que deben cumplir los forros: capacidad de resistencia química, poder refractario bajo presión, resistencia mecánica, resistencia al rozamiento, estabilidad frente a los cambios de temperatura, dilatación por el calor o estabilidad de volumen, conductividad térmica, porosidad.
- 2.7.15 Desgaste, duración y colocación del refractario de los hornos.
- 2.8 La fase líquida y enfriamiento del clinker.
  - 2.8.1 Diagrama de Rankin.
  - 2.8.2 Diagrama de Lea y Parker.
  - 2.8.3 Eutécticos de Hansen.
  - 2.8.4 Cálculo de la cantidad de la fase líquida: Fórmulas de Lea y corregidas de Bogue.
  - 2.8.5 Enfriamiento del clinker: tipos de enfriadores.
  - 2.8.6 Distribución de las instalaciones Mexicanas según el tipo de enfriamiento.
- 2.9 Termodinámica de la fabricación del clinker.
  - 2.9.1 Termoquímica del horno.
  - 2.9.2 Estudio de los distintos calores desarrollados.
  - 2.9.3 Cálculo teórico de la termoquímica de la fabricación del clinker.
  - 2.9.4 Balance de calor: Hornos por vía húmeda con enfriador de parrilla, por vía húmeda con enfriador de satélites por vía semiseca, por vía seca con precalentador de cuatro etapas y enfriador de satélites.

### 3 Procesos de hidratación del cemento Portland y durabilidad

**Objetivo:** Que el alumno comprenda desde el punto de vista químico, la hidratación de los distintos componentes de un clinker. Conozca los procedimientos de curado del mortero. Comprenda la necesidad de la adición de yeso al clinker. Analice la influencia de la cantidad de yeso añadida. Interprete la hidratación de un cemento Portland. Analice la acción de los agentes físicos y químicos externos sobre el mortero fraguado.

#### Contenido:

- 3.1 Teorías de la hidratación.
  - 3.1.1 Manifestación exterior de la hidratación.
  - 3.1.2 Interpretación química de la hidratación: aluminatos, silicatos, ferrito-aluminatos, cal y magnesia libres.
  - 3.1.3 Estructura del cemento hidratado.
  - 3.1.4 Resistencia de los cementos hidratados: constitución química-mineralógica, cantidad de agua añadida, granulometría del cemento.
  - 3.1.5 Calor total desprendido en la hidratación.



- 3.2 Adición de yeso al clinker.
  - 3.2.1 Influencia de la cantidad añadida.
- 3.3 Curado del mortero.
  - 3.3.1 Procedimientos de curado del mortero: Ventajas y aplicación de cada uno.
  - 3.3.2 Tiempo de fraguado.
- 3.4 Acción de los agentes físicos.
  - 3.4.1 Acción del frío.
  - 3.4.2 Acción del calor.
- 3.5 Acción de los agentes químicos.
  - 3.5.1 Acción química de las aguas sobre los componentes hidratados de los cementos.
  - 3.5.2 Acción de los distintos agentes químicos sobre los morteros.

#### 4 Clasificación y utilización de los cementos

**Objetivo:** Que el alumno conozca la clasificación de los cementos y tipos. Comprenda la influencia de la composición de los distintos tipos de cemento en su hidratación. Seleccione correctamente los cementos indicados para cada tipo de obra.

##### Contenido:

- 4.1 Clasificación y tipos.
  - 4.1.1 Definiciones y denominaciones.
  - 4.1.2 Composición de los distintos cementos.
  - 4.1.3 Clasificación de los cementos. Resistencias físicas a la compresión.
  - 4.1.4 Cementos Pórtland.
  - 4.1.5 Cementos con adiciones activas.
- 4.2 Cementos tipo I.
  - 4.2.1 Composición.
  - 4.2.2 Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.
- 4.3 Cementos tipo II.
  - 4.3.1 Composición.
  - 4.3.2 Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.
  - 4.3.3 Influencia de las adiciones en la hidratación de los cementos.
- 4.4 Cementos tipo III.
  - 4.4.1 Utilización de las escorias siderúrgicas.
  - 4.4.2 La escoria como materia prima de los cementos.
  - 4.4.3 Tipos de cementos siderúrgicos.
  - 4.4.4 Interpretación teórica de la hidratación de los cementos tipo III.
  - 4.4.5 Características: resistencia química, tiempo de fraguado, calor de hidratación, coloración, especificaciones químicas.
  - 4.4.6 Especificaciones físicas, químicas y mecánicas.
- 4.5 Cementos tipo IV.
  - 4.5.1 Comparación de las composiciones químicas del clinker del cemento Pórtland, las escorias siderúrgicas y las puzolanas.
  - 4.5.2 Cemento tipo IV.
  - 4.5.3 Interpretación teórica de la hidratación de los cementos tipo IV.
  - 4.5.4 Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.
- 4.6 Cementos tipo V.
  - 4.6.1 Composición.
  - 4.6.2 Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.
- 4.7 Cementos de aluminato de calcio.



- 4.7.1 Materias primas para su fabricación.
- 4.7.2 Diagrama de Rankin en la fabricación de estos cementos.
- 4.7.3 Compuestos mineralógicos de los distintos tipos de cementos.
- 4.7.4 Interpretación de su hidratación.
- 4.7.5 Características principales: expansión, fraguado, resistencias mecánicas y tiempo en alcanzarlas, calor de hidratación.
- 4.7.6 Interés de las mezclas con cemento Pórtland.
- 4.7.7 Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.
- 4.8 Otros tipos de cementos.
  - 4.8.1 Cementos comunes.
  - 4.8.2 Cementos resistentes a los sulfatos y/o al agua de mar.
  - 4.8.3 Cementos de bajo calor de hidratación.
  - 4.8.4 Cementos para usos especiales.
- 4.9 Códigos de utilización de los diversos tipos de cementos.
  - 4.9.1 Principales campos de aplicación de los cementos de las normas UNE 1996.
  - 4.9.2 Utilización y precauciones a tener en cuenta.
  - 4.9.3 Grados de utilización de los cementos.
  - 4.9.4 Etiquetado y *marcado de las bolsas o sacos de cemento*.

#### Bibliografía básica:

BOGUE, R. H.

*La química del cemento Pórtland*

Madrid

Dossat, 1952

CALLEJA, J.

*Recomendaciones para la utilización de los cementos de las normas UNE 1996*

Madrid

IECA, 1998

TAYLOR, H.F.

*Cement chemistry*

Londres

Academic Press, 1990

#### Bibliografía complementaria

BLANKS, R.F.

*The technology of Cement and Concrete*

Nueva York

Wiley, 1976

REZOLA, J.

*Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cementos*

Barcelona

Editores Técnicos Asociados, 1976



*Cementos con características especiales*  
 NMX-C-414-ONCCE-1999.

*Concrete Floors on Grpund, 2001*  
 P.C.A. (PORTLAND CEMENT Association)

A.C. I. American Concrete Institute  
*Design of Slabs on grade*  
 Michigan, 1992

CTS Cement Company  
*Recommended Specifications for use of Type K, expansive Cement in making of Dhrinkage-Compesating Concrete*  
 California  
 Cypres, 2001

A.C.I. American Concrete Institute  
*Practitioners Guide to Slabs on Ground*  
 ACI-PP4, American Concrete Institute  
 Michigan  
 Farminton Hills, 1996

A.C.I. American Concrete Institute  
*Técnico y terminador de superficies planas de Hormigón, Manual del Artesano*  
 Publicación CP-10(95), American Concrete Institute  
 Michigan, 1996

**Sugerencias didácticas:**

Exposición oral	<b>X</b>
Exposición audiovisual	<b>X</b>
Ejercicios dentro de clase	<b>X</b>
Ejercicios fuera del aula	<b>X</b>
Seminarios	

Lecturas obligatorias	<b>X</b>
Trabajos de investigación	<b>X</b>
Prácticas de taller o laboratorio	
Prácticas de campo	
Otras: Uso de paquetes de cómputo	

**Forma de evaluar:**

Exámenes parciales	<b>X</b>
Exámenes finales	<b>X</b>
Trabajos y tareas fuera del aula	<b>X</b>

Participación en clase	<b>X</b>
Asistencias a prácticas	
Otras: Ejercicios y prácticas en clase	<b>X</b>

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ing. de Minas y Metalurgista o carrera afín. Deseable haber realizado estudios de posgrado o el equivalente de experiencia profesional en el área de su especialidad, contar con experiencia docente o haber participado en los programas de formación docente de la Facultad en la disciplina y en didáctica.