



**Ministerio de Cultura y Educación**  
**Universidad Nacional de San Luis**  
**Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales**  
**Departamento: Minería**  
**Area: Minería**

**(Programa del año 2007)**  
**(Programa en trámite de aprobación)**  
**(Presentado el 31/10/2007 16:07:22)**

### **I - Oferta Académica**

| <b>Materia</b>           | <b>Carrera</b> | <b>Plan</b> | <b>Año</b> | <b>Período</b> |
|--------------------------|----------------|-------------|------------|----------------|
| TECNOLOGIA DE EXPLOSIVOS | ING. EN MINAS  | 01/04       | 3          | 2c             |

### **II - Equipo Docente**

| <b>Docente</b>      | <b>Función</b>    | <b>Cargo</b> | <b>Dedicación</b> |
|---------------------|-------------------|--------------|-------------------|
| NOCERA, OSCAR COSME | Prof. Responsable | P.ADJ EXC    | 40 Hs             |

### **III - Características del Curso**

| <b>Credito Horario Semanal</b> |                 |                          |                                              |              |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------------------|--------------|
| <b>Teórico/Práctico</b>        | <b>Teóricas</b> | <b>Prácticas de Aula</b> | <b>Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.</b> | <b>Total</b> |
| 4 Hs                           | Hs              | Hs                       | Hs                                           | 4 Hs         |

| <b>Tipificación</b>                      | <b>Periodo</b> |
|------------------------------------------|----------------|
| A - Teoría con prácticas de aula y campo | 2 Cuatrimestre |

| <b>Duración</b> |              |                            |                          |
|-----------------|--------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Desde</b>    | <b>Hasta</b> | <b>Cantidad de Semanas</b> | <b>Cantidad de Horas</b> |
| 06/08/2007      | 09/11/2007   | 15                         | 60                       |

### **IV - Fundamentación**

El manejo y el conocimiento de la sustancia explosiva, es inherente al Ing. en Minas quien lo utiliza como una herramienta para su trabajo en el manejo de la voladura de rocas.-

### **V - Objetivos**

A).-OBJETIVOS GENERALES:

- Conocer los explosivos, sus mecanismos de reacción y propiedades
- Conocer y comprender el comportamiento de los explosivos en las obras de ingeniería minera.
- Conocer y comprender las mezclas explosivas para lograr la mayor eficiencia en la voladura de acuerdo al comportamiento de la roca.
- Aplicar los métodos de cálculo, diseño y análisis de las voladuras., así como los criterios para la más adecuada selección de los mismos para las distintas aplicaciones.
- Conocer los procesos de fabricación de los explosivos y mezclas explosivas más importantes.
- Conocer las normas de seguridad que deben tenerse en cuenta en la correcta utilización de los explosivos
- Conocer los efectos medioambientales de la utilización de los explosivos y su control.
- Reglamentación respecto al almacenamiento y transporte de explosivos

### **VI - Contenidos**

**CONTENIDOS MÍNIMOS: Propiedades y características de los explosivos. Explosivos industriales y su fabricación. Accesorios de voladura. Selección de explosivos. Voladuras en bancos. Voladuras en túnel. Vibraciones**

## VII - Plan de Trabajos Prácticos

### ) PRÁCTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS

Se realizarán prácticas de laboratorio y prácticas de campo en grupos reducidos.

Se deberá aprobar el 100% de los prácticos propuestos

Los trabajos practico son tres con problemas de la actividad:

TRABAJO PRACTICO No 1 CALCULOS CARGA TALADRO UNICO

TRABAJO PRACTICO N° 2 cALCULO DE CONSUMOS ESPECIFICOS BANCOS BAJOS - BANCOS BAJOS

TRABAJO PRACTICO No 3 AVANCE DE TUNELES ARRANQUES

## VIII - Regimen de Aprobación

Se deberan aprobar el 100% de los trabajos practicos.-

Asistencia al 75 % de las practicas.-

La materia no es promocional se aprueba mediante examen final

## IX - Bibliografía Básica

[1] BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

[2] - PERSSON, P.A., HOLMBERG, R. y LEE, J., Rock Blasting and Explosivos Engineenng, CRC Press, Boca Ratón, Florida, 1994.

[3] - SANCHIDRIAN, J.A. y MUÑIZ, E., Curso de Tecnología de Explosivos, Fundación Gómez Pardo, Madrid, 2000. (Texto).

[4] - APUNTES – Realizados por la cátedra en fotocopia y apoyo electronico

[5] -Manual de Empleo de Explosivos

## X - Bibliografia Complementaria

[1] - LANGEFORS, U. y KIHLSSTRÖM, B., Técnica moderna de voladuras de rocas, 2a edición, Urmo, Bilbao,

## XI - Resumen de Objetivos

### 1. TERMOQUÍMICA DE LOS EXPLOSIVOS:

Historia de los explosivos.- Conceptos de deflagracion y detonacion. Termoquimica de los explosivos Calor de explosion.

Balance de Oxigeno. Volumen de Explosion VOD. Poder rompedor.-

### 2. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

Cálculo de características teóricas de los explosivos.

Características prácticas de los explosivos y métodos de ensayo

Resolución de ejercicios en aula

Ejecución de ensayos en campo

### 3. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

Explosivos iniciadores.

Explosivos secundanos

### 4 EXPLOSIVOS INDUSTRIALES

Explosivos convencionales. Mezclas nitrato amónico-combustible. Explosivos acuosos. Explosivos de seguridad. Carga de los barrenos. Elección del explosivo Actividad en campo

### 5. SISTEMAS DE INICIACIÓN

Detonadores ordinarios y mecha lenta. Detonadores eléctricos. Detonadores no eléctricos. Otros sistemas de iniciación secuencial

### 6. VOLADURA DE ROCAS E INGENIERÍA DE EXPLOSIVOS

Fracturación de las rocas en la voladura. Voladuras en banco. Voladuras en túnel. Voladuras de contorno. Voladuras especiales

### 7. EFECTOS MEDIOAMBIENTALES DE LAS VOLADURAS. REGLAMENTACIÓN Y SEGURIDAD

Vibraciones. Onda aérea. Proyecciones.

## **XII - Resumen del Programa**

### **a) OBJETIVOS Y CONTENIDOS BLOQUE**

#### **1: Termodinámica de los explosivos.**

1.1 Conocer la evolución de los explosivos a lo largo de la Historia, como mejor medio para comprender su concepto y su principio de aplicación civil

1.2 Conocer las propiedades específicas que dan lugar a que una materia sea explosiva.

1.3 Comprender el concepto y las propiedades de la detonación como base del régimen de reacción de los explosivos.

1.4 Comprender los mecanismos de interacción de choques que tienen lugar en la detonación y que determinan la constitución y propagación de la detonación o la extinción de ésta.

#### **HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS**

- La pólvora negra.

- Los descubrimientos de Nobel: Las dinamitas y los detonadores.

- Anfos.

- Explosivos con agua.

#### **1.2: CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

- Combustión, deflagración, detonación. Explosiones.

- Obtención de la reacción explosiva. Factores que influyen en los regímenes de descomposición.

#### **1.3: TEORÍA DE LA DETONACIÓN**

- Ecuaciones de conservación.

- La detonación ideal.

- Ecuaciones del choque unidimensional.

- Cálculo de estados de detonación. Planteamiento general.

#### **1.4: INICIACIÓN DE LA DETONACIÓN**

- Iniciación homogénea por explosión térmica.

- Iniciación heterogénea por puntos calientes.

- Iniciación de explosivos heterogéneos.

- Iniciación por estímulos de baja velocidad

- Transición de deflagración a detonación

#### **1.5 LA ENERGÍA DE LOS EXPLOSIVOS**

- Calor de explosión y potencia de los explosivos

- Ciclo termodinámico de la detonación Trabajo útil

#### **BLOQUE 2:**

Propiedades de los explosivos y métodos de ensayo

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

2.1 Aplicar los métodos para la determinación de características teóricas de los explosivos.

2.2 Conocer las propiedades prácticas relacionadas con la valoración energética de los explosivos, su fiabilidad y su seguridad de uso, y los métodos experimentales para su determinación.

#### **CONTENIDOS 2.1 CÁLCULO DE CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPLOSIVOS**

- Planteamiento

- Cálculo de la composición de los productos

- Cálculo del calor y temperatura de explosión Datos termodinámicos, método iterativo de cálculo

#### **2.2 CARACTERÍSTICAS PRÁCTICAS DE LOS EXPLOSIVOS**

- Características energéticas Potencia; ensayos Poder rompedor; ensayos. Velocidad de detonación, métodos de medida

- Características de fiabilidad Sensibilidad a la iniciación. Transmisión de la detonación. Resistencia al agua y a la presión hidrostática

- Características de seguridad Sensibilidad al impacto y a la fricción Estabilidad térmica. Resistencia al calor bajo confinamiento

#### **BLOQUE 3: Sustancias explosivas OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

3.1 Conocer la clasificación convencional de las materias explosivas

- 3 2 Conocer las propiedades físicas, químicas y explosivas, las aplicaciones y los principios de fabricación de los explosivos primarios
- 3 3 Conocer los principios de la fabricación y su ejecución industrial en la fabricación de sustancias explosivas
- 3 4 Conocer las propiedades generales de las más importantes familias de explosivos secundarios .
- 3 5 Conocer las propiedades físicas, químicas y explosivas, las aplicaciones y los principios de fabricación de los explosivos secundarios de aplicación en explosivos civiles.

## CONTENIDOS

### 3 1 EXPLOSIVOS INICIADORES

- Propiedades generales
- Fulminato de mercurio
- Azida o nitrato de plomo
- Estirato de plomo.

### 3 2 EXPLOSIVOS SECUNDARIOS

- La fabricación Mecanismo Nitraciones C, O y N Nitraciones industriales.
- Clasificación de los explosivos secundarios
- Nitroaromáticos Propiedades generales La nitro.
- Esteres nítricos. Propiedades generales La penta. La nitroglicerina y el nitrocelulosa. Las nitrocelulosas.
- Nitraminas. Propiedades generales. El hexógeno y el octógeno.

## BLOQUE 4: Explosivos industriales OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 4 1 Conocer de forma razonada la constitución y las propiedades de las diferentes familias de explosivos industriales y su ámbito de aplicación
- 4 2 Conocer de forma básica los métodos de fabricación de las diferentes familias de explosivos industriales
- 4 3 Conocer los riesgos asociados al empleo de explosivos en ambientes potencialmente explosivos, en particular en la minería de carbón
- 4 4 Conocer la constitución, propiedades, clasificación, métodos específicos de ensayo y modo de empleo de los explosivos para uso en minería de carbón
- 4 5 Conocer la constitución, propiedades, principio de fabricación y aplicaciones de la pólvora negra.
- 4 6 Conocer los sistemas de carga automatizada de barrenos y su aplicación según la constitución del explosivo
- 4 7 Conocer la gama de productos comerciales de explosivos industriales existentes en el mercado
- 4 8 Conocer y valorar los parámetros que deben tenerse en cuenta para seleccionar el explosivo para una determinada aplicación

## CONTENIDOS

### 4.1 EXPLOSIVOS CONVENCIONALES " Explosivos gelatinosos Propiedades, aplicaciones

- Explosivos pulverulentos Propiedades, aplicaciones
- Fabricación de explosivos convencionales
- Productos comerciales

### 4 2 MEZCLAS NITRATO AMONICO-COMBUSTIBLE

- El nitrato amónico Formas de presentación Propiedades físicas Propiedades explosivas.
- Sensibilización del nitrato amónico por combustibles
- Propiedades de las mezclas anfo. Contenido en aceite mineral. Influencia del tamaño de grano. Efecto de la humedad
- Aplicaciones
- Productos comerciales

### 4.3 EXPLOSIVOS ACUOSOS

- El problema del agua y el nitrato amónico
- Hidrogeles Constitución, tipos y propiedades generales Sensibilización. Propiedades: potencia, densidad, gases de detonación, propiedades reológicas Aplicaciones Fabricación
- Emulsiones Concepto Emulsiones "agua en aceite"
- Emulsiones con sales Propiedades' potencia, velocidad de detonación, sensibilidad, resistencia al agua Aplicaciones. Fabricación. Mezclas emulsión/anfo anfos densos
- Productos comerciales

### 4.4 EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD

- Mecanismos de inflamación del grisú y el polvo de carbón. Factores que afectan a la inflamabilidad del grisú
- Evolución y tipos de explosivos de seguridad. Explosivos con el inhibidor en la composición. Explosivos de intercambio iónico.

- Medidas de seguridad y control de los explosivos ante el grisú y el polvo de carbón. Causas más frecuentes de formación de atmósferas peligrosas de grisú y polvo de carbón. Influencia del sistema de cebado y el calibre de los cartuchos Ensayos de clasificación Galerías de pruebas

- Condiciones de tiro

- Productos comerciales

#### 4.5 PÓLVORA NEGRA

- Constitución y tipos

- Fabricación

- Aplicaciones

#### 4.6 CARGA DE LOS BARRENOS

- Carga de explosivos encartuchados manual, neumática 41

- Carga a granel Explosivos granulares Explosivos bombeables.

- Mezclado in situ.

#### 4.7 ELECCIÓN DEL EXPLOSIVO

- Criterios de selección humedad de barrenos, diámetro y longitud de barrenos, tipo de roca, fragmentación, forma de carga, toxicidad de los gases, naturaleza de la atmósfera, precio

#### BLOQUE 5: Sistemas de iniciación OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5 1 Conocer la constitución y comprender el funcionamiento de los detonadores ordinarios, eléctricos y de tubo de choque

5 2 Conocer la constitución, características y aplicaciones de la mecha lenta y el cordón de ignición

5 3 Conocer los tipos y características de los detonadores eléctricos

5 4 Conocer los sistemas de energización para los detonadores eléctricos y los medios de comprobación de su conexionado

5 5 Conocer los riesgos existentes en la voladura eléctrica y las precauciones a adoptar

5 6 Aplicar esquemas de secuenciación de voladuras mediante iniciación eléctrica

5 7 Conocer los sistemas de conexión y retardo de voladuras mediante tubo de choque

5 8 Aplicar esquemas de secuenciación de voladuras mediante iniciación por tubo de choque.

5 9 Conocer la constitución, características y aplicaciones del cordón detonante y de los sistemas de conexión y retardo aplicados con el

5 10 Aplicar esquemas de secuenciación de voladuras mediante cordón detonante.

5 11 Conocer de modo introductorio sistemas de iniciación de empleo minoritario

5 12 Conocer la constitución y modo de empleo de los multiplicadores

#### CONTENIDOS.

##### 5 1 DETONADORES ORDINARIOS Y MECHE LENTA

- Detonadores ordinarios Descripción Funcionamiento

- Mechas de seguridad Mecha lenta Constitución, características, tipos, aplicaciones. Cordón de ignición Constitución, características, aplicaciones

- Ejemplos de voladuras con detonador ordinario y mecha

##### 5 2 DETONADORES ELÉCTRICOS

- Descripción

- Características eléctricas Tipos y clasificación

- Conexión de los detonadores eléctricos

- Sistemas de energización pilas, explosores dinamoeléctricos, explosores de condensador Aparatos de comprobación.

- Riesgos y precauciones en las voladuras eléctricas comentes errantes, líneas de transporte de energía eléctrica, electricidad estática, tormentas, energía de radiofrecuencia. ~ Ejemplos de voladuras con iniciación eléctrica

##### 5 3 DETONADORES NO ELÉCTRICOS Y OTROS SISTEMAS DE INICIACIÓN SECUENCIAL

- Detonadores no eléctricos: Constitución y funcionamiento. Tipos de detonadores y sistemas de conexión Ejemplos de voladuras iniciadas con detonadores no eléctricos.

- Cordón detonante: Constitución, características y tipos. Sistemas de conexión y retardo. Ejemplos de voladuras iniciadas con cordón detonante.

- Otros sistemas de iniciación secuencial. Sistema magnadet. Sistema hercudet. Detonadores electrónicos

- Multiplicadores. Concepto y constitución. Criterios de utilización Multiplicadores temporizados

#### BLOQUE 6: Voladura de rocas e ingeniería de explosivos.

##### OBJETIVOS ESPECIFICOS

-6 1 Comprender el mecanismo de la interacción del explosivo y la roca

-6 2 Calcular la piedra teórica o recubrimiento de roca máximo que un barreno es capaz de arrancar

-6 3 Aplicar los factores que deben utilizarse para la determinación de la piedra práctica

- 6 4 Calcular las magnitudes principales de diseño de las voladuras en banco.
- 6 5 Aplicar esquemas de secuenciación de voladuras en banco.
- 6 6 Conocer los distintos tipos de cuele y aplicar los métodos para su diseño.
- 6 7 Aplicar los métodos para el diseño de voladuras en túnel.
- 6 8 Conocer el concepto de voladura de contorno como medio para reducir el daño a la roca remanente
- 6.9 Aplicar los principios de diseño de voladuras de contorno en sus modalidades de precorte y recorte.
- 6.10 Conocer las particularidades de diseño de voladuras en carbón, voladuras en zanja, voladuras de apertura, ejecución de pozos, voladuras secundarias y voladuras submarinas.
- 6.11 Conocer los fundamentos de diseño de voladuras en cráter invertido.

6 12 Conocer los fundamentos del diseño y ejecución de demoliciones

#### CONTENIDOS: 6 1. FRACTURACIÓN DE LAS ROCAS EN LA VOLADURA

- La resistencia de las rocas
- Acción de la onda de choque sobre la roca Inmediaciones del barreno. Interacción con la cara libre
- Efecto de los gases de la explosión.
- Rotura y arranque de la roca. Fragmentación

#### 6 2 VOLADURAS EN BANCO Cálculo de la carga teoría sueca

- Distribución de la carga
- Efecto del confinamiento en el fondo del barreno, la resistencia de la roca, la potencia del explosivo y la presencia de vanos barrenos en fila.
- Piedra máxima. Corrección por desviaciones en la perforación y esponjamiento en voladuras de vanas filas
- Bancos de pequeña altura.
- Ejemplos de secuenciación de voladuras en banco

#### 6 3: VOLADURAS EN TÚNEL

- Cuele Cálculo de la carga para pequeños ángulos de rotura.
- Influencia de las desviaciones de la perforación ~ Cuele con barrenos en ángulo. Diseño de geometría y carga. ~ Cuele con barrenos paralelos. Diseño de geometría y carga.
- Esquemas de franqueo. Destroza. Zapateras. Barrenos de contorno.
- Ejemplos de secuenciación de voladuras en túnel

#### 6.4: VOLADURAS DE CONTORNO

- Fundamentos teóricos Presión en el barreno
- Precorte
- Recorte

#### 6 5: VOLADURAS ESPECIALES

- Voladuras en carbón
- Voladuras en zanja
- Voladuras de apertura
- Profundización de pozos
- Voladuras secundarias
- Voladuras submarinas
- Voladuras de hundimiento en abanico y método VCR (vertical cráter retreat).
- Demoliciones

#### BLOQUE 7: Efectos medioambientales de las voladuras.

##### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 7.1 Conocer los tipos de ondas sísmicas producidas en las voladuras
- 7.2 Conocer el funcionamiento de los equipos de medida de vibraciones y su utilización práctica
- 7.3 Comprender el concepto de carga cooperante
- 7.4 Aplicar las leyes de propagación de las vibraciones
- 7.5 Aplicar los criterios de prevención de daños según la estructura a proteger y la frecuencia de la vibración
- Aplicar la norma UNE sobre vibraciones
- 7.6 Conocer las técnicas de diseño y ejecución de voladuras tendentes a limitar la producción de vibraciones
- 7.7 Conocer las magnitudes características de las ondas explosivas en el aire y los efectos de éstas sobre personas y estructuras en función de su presión máxima
- 7 8 Conocer las causas que influyen en la producción de onda aérea en las voladuras
- 7 9 Conocer las técnicas de diseño y ejecución de voladuras tendentes a limitar la producción de onda aérea
- 7.10 Conocer las causas que provocan el lanzamiento incontrolado de roca en las voladuras
- 7.11 Conocer las técnicas de diseño de voladuras tendentes a limitar las proyecciones

7.12 Conocer las medidas de seguridad durante el disparo para evitar daños por proyecciones

## CONTENIDOS

### 7.1 VIBRACIONES

- Tipos de ondas sísmicas
- Medición de vibraciones Sismógrafos
- Leyes de propagación Predicción de los niveles de vibración.
- Criterios de prevención de daños Aplicación de la norma española de vibraciones.

### 7.2 ONDA AEREA

- Características de la onda explosiva aérea
- Valores límite de sobrepresión
- Factores que influyen en la emisión de onda aérea en voladuras.

### 7.3. PROYECCIONES

- Origen de las proyecciones
- Velocidad y alcance de los fragmentos.
- Factores de diseño de las voladuras que afectan a las proyecciones.
- Medidas de seguridad frente a las proyecciones en el disparo.

## BLOQUE 8 Reglamentación y seguridad

### REGLAMENTACIÓN Y PRECAUCIONES DE USO

8.1.- Conocer los aspectos más importantes de la reglamentación en vigor que se aplica a los explosivos en sus fases de fabricación, almacenamiento, comercialización, transporte y utilización

- Reglamento de explosivos Homologación de explosivos: Directiva 93/15/CEE. Almacenamiento de explosivos.
- Reglamento nacional de transporte de mercancías peligrosas por carretera. Medidas de precaución en el transporte de explosivos.
- Reglamento general de normas básicas de seguridad minera. Medidas de precaución en el uso de los explosivos.

## XIII - Imprevistos

Estos serán tratados de acuerdo a las circunstancias que se vayan encontrando, ya que si es posible los alumnos en sus prácticas de campo las realizan en lo posible en faenas donde se utiliza el explosivo.-

| ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA |                             |
|-----------------------------------------|-----------------------------|
|                                         | <b>Profesor Responsable</b> |
| Firma:                                  |                             |
| Aclaración:                             |                             |
| Fecha:                                  |                             |