

# SEGURIDAD EN EL USO DE EXPLOSIVOS

Ing. Carlos A. Reyes R.

# Generalidades

EXPLOSIVOS: Productos químicos que bajo la acción de un fulminante u otro estímulo externo reaccionan instantáneamente

- Gran violencia,
- Fuerte efecto de impacto (onda de choque de alta velocidad y presión)
- Gran volumen de gases, que se expanden con gran energía.
- El impacto tritura la roca y los gases desplazan los fragmentos

# Generalidades



# Propiedades Principales

- ▣ Sensibilidad
- ▣ Velocidad de Detonación –VOD
- ▣ RBS
- ▣ ABS
- ▣ Densidad
- ▣ Diámetro crítico
- ▣ Resistencia al agua

# Clasificación de los explosivos

Primarios o iniciadores: Muy sensibles y violentos, utilizan muy pequeñas cantidades como cargas en los fulminantes o detonadores



# Clasificación de los explosivos

Secundarios o rompedores: Menos sensibles, con fuerte efecto de impacto y generación de gases, alta simpatía. Se emplean en mayor volumen como carga para triturar la roca. Se inician con los primarios



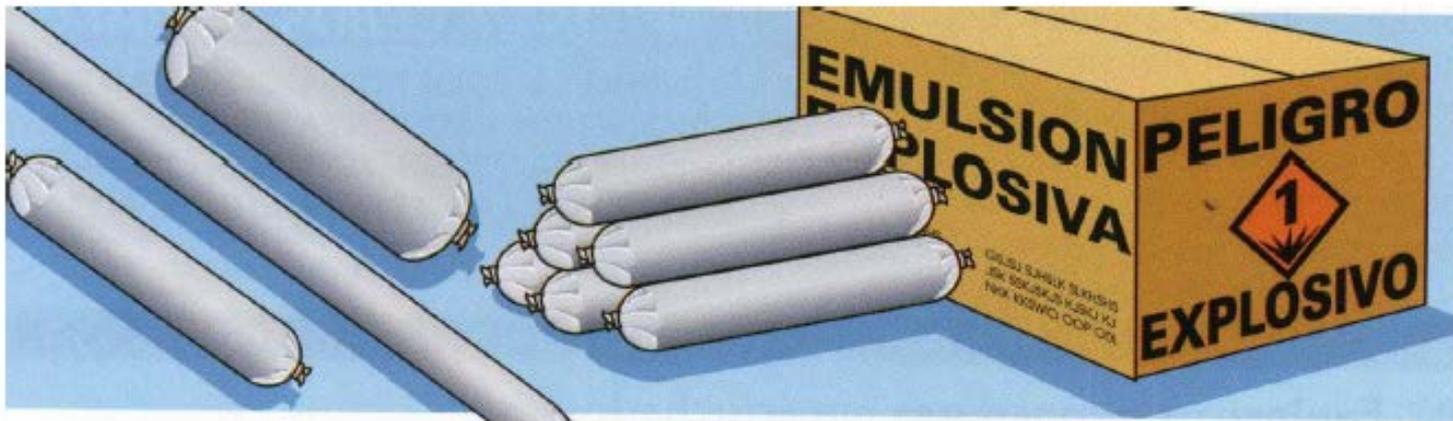
# Por Sensibilidad

Altos explosivos: Cuando se inician directamente con fulminante N° 8 o con cordón detonante de bajo gramaje. (Dinamitas, emulsiones sensibilizadas, TNT, fulminantes)

Agentes de voladura: No son sensibles directamente al fulminante N° 8 y requieren un iniciador más potente o cebo (ANFO)

# Explosivos mas usados

- Emulsión: Alto explosivo acuoso sin nitroglicerina, muy triturator, muy resistente al agua.



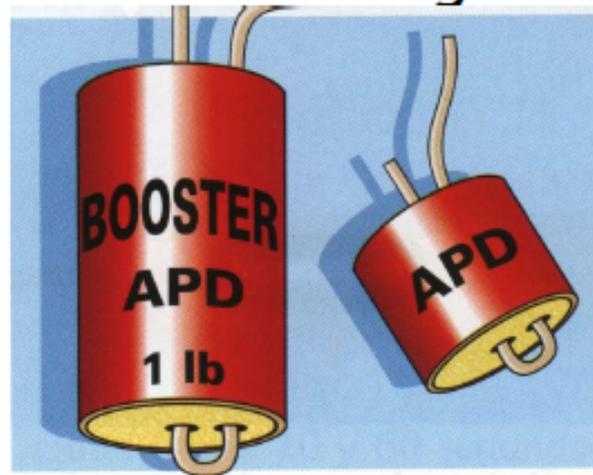
# Explosivos mas usados

- ANFO: Agente de voladura granular, seco, formado por nitrato de amonio y diesel, 94 % nitrato y 6 % de diesel en peso. Si aumenta diesel, disminuye energía y aumentan gases



# Explosivos mas usados

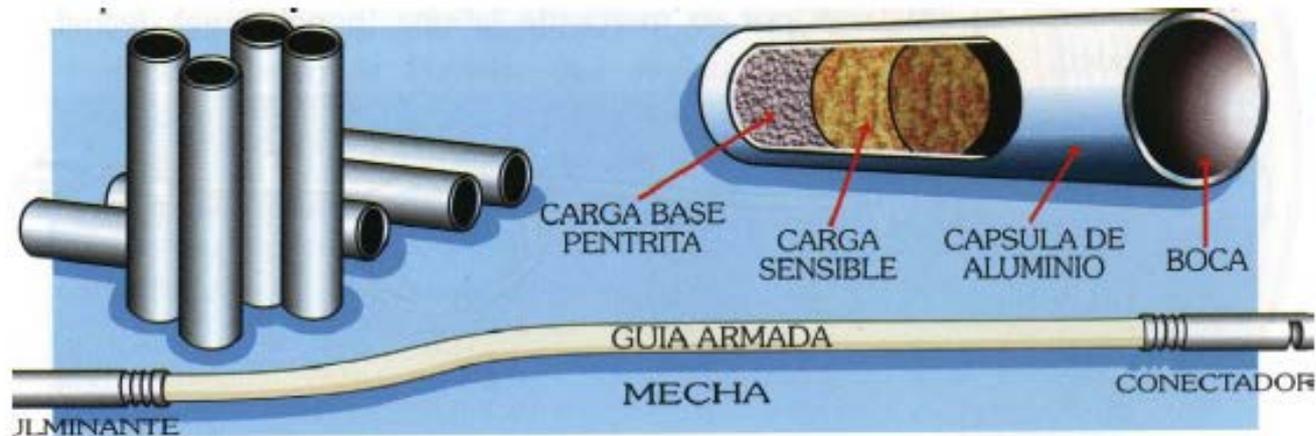
- Boosters: Molde cilíndrico sólido de Pentolita - TNT con agujeros pasantes para alojar cordón detonante, fulminante, etc. Se emplea como cebo de alto poder iniciador para taladros largos cargados con ANFO



# Accesorios de Detonación

- Iniciadores:

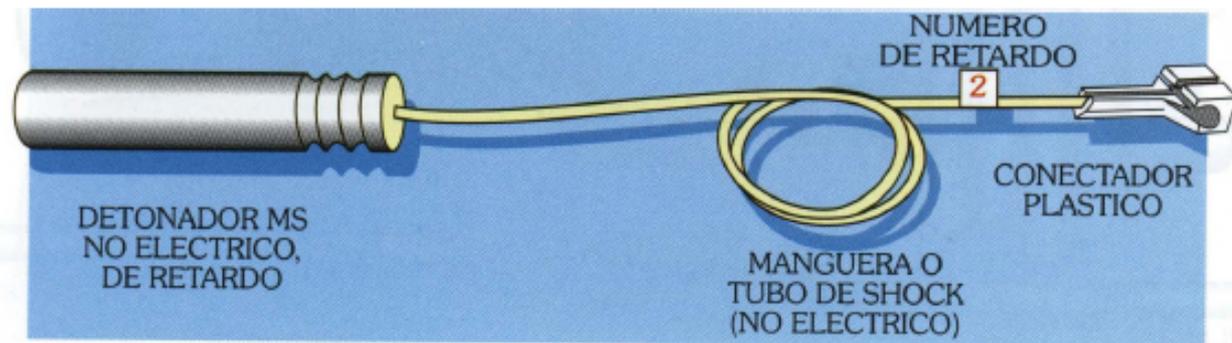
- Fulminante simple: Pentrita - Azida de Plomo



# Accesorios de Detonación

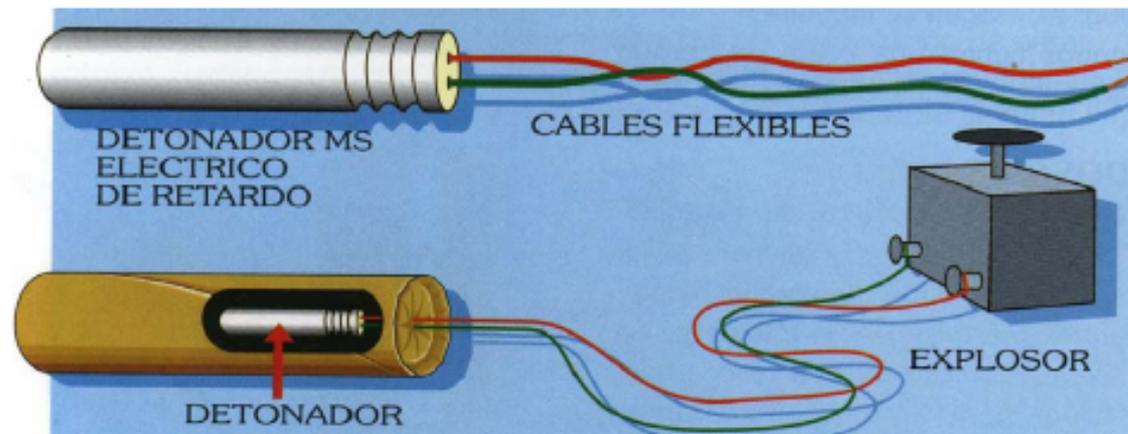
## ■ Iniciadores:

- Detonador no Eléctrico de retardo: Se activa por medio de una manguera o tubo flexible que transmite una onda de choque deflagrante desde una línea troncal de cordón detonante.



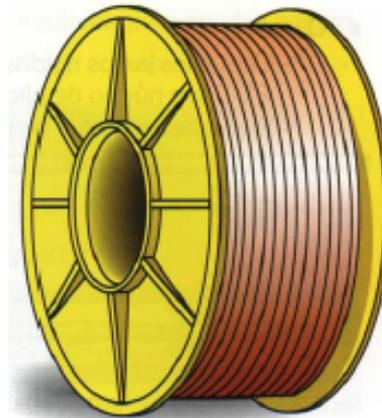
# Accesorios de Detonación

- Detonador Eléctrico: Similar al fulminante común, se activa por una pequeña resistencia al paso de corriente eléctrica transmitida por alambres conductores.



# Accesorios de Detonación

- **Cordón detonante:** Cordón explosivo resistente y flexible, con núcleo blanco de pentrita que explota en forma instantánea en toda su longitud (7000 m/s)



# Riesgos con el Uso de Explosivos

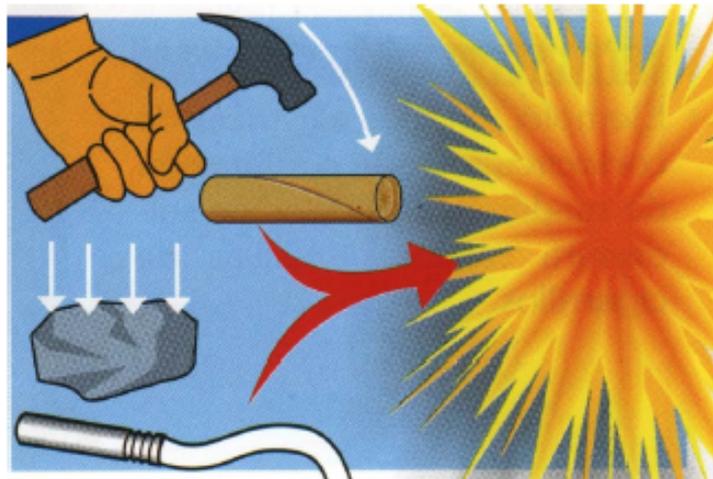
- 💣 EXPLOSION FORTUITA (Detonación sorpresiva fuera del taladro).
- 💣 TIRO PREMATURO (Detonación adelantada de uno o más taladros).
- 💣 TIRO RETARDADO (No salió total o parcialmente por falla del iniciador, guía o explosivo, deja restos que deben eliminarse posteriormente).
- 💣 TIRO SOPLADO (Salió sin romper la roca ni dejar restos).

# Riesgo en el Manipuleo de Explosivos

Los explosivos se inician o activan con los detonadores, pero pueden reaccionar y explotar por otros motivos como:

**Detonación fortuita por:**

 Golpe o impacto.



# Riesgo en el Manipuleo de Explosivos

Los explosivos se inician o activan con los detonadores, pero pueden reaccionar y explotar por otros motivos como:

**Detonación fortuita por:**

 **Compresión**



 **Fuego o llama abierta**

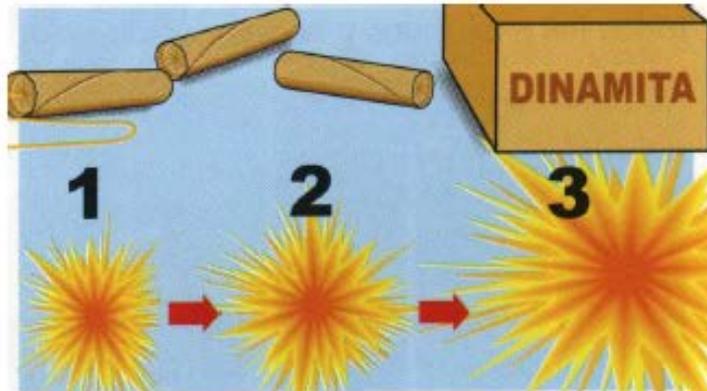


# Riesgo en el Manipuleo de Explosivos

Los explosivos se inician o activan con los detonadores, pero pueden reaccionar y explotar por otros motivos como:

**Detonación fortuita por:**

 Simpatía



 Inducción eléctrica



# Accidentes con Explosivos

- Los accidentes con explosivos son muy graves o fatales
- Las estadísticas indican que el 80 a 90% ocurren por factores personales
- Los accidentes pueden ser directos (por explosión) o indirectos (caída de piedras y gaseamiento).
- El mejor modo de evitar estos accidentes es tomar precauciones, lo que se logra con una política de prevención, con capacitación y entrenamiento adecuados.

# Accidentes con Explosivos

- ▣ Productos defectuosos o vencidos
- ▣ Fallas de iniciación o de conexiones
- ▣ Negligencia
- ▣ Diseños de voladuras defectuosos o pobres
- ▣ Gaseamiento
- ▣ Ingresos antes de despejar los humos
- ▣ Exposición a ambientes mal ventilados
- ▣ Vibraciones excesivas
- ▣ Rocas en vuelo
- ▣ Condiciones geológicas no identificadas

# Almacenaje de Explosivos

- ▣ Aislamiento del Polvorín para que en caso de una explosión “fortuita” no cause daño a personas o estructuras.
- ▣ Deben estar permanentemente custodiados
- ▣ Prohibir personas no autorizadas
- ▣ Protegidos de tormentas eléctricas.
- ▣ Almacenamiento de explosivos por tipo
- ▣ Controlar rotación y tiempo de almacenamiento
- ▣ Trazabilidad
- ▣ Señalización e identificación
- ▣ Seguridad Física y condición de instalaciones
- ▣ Control de ingresos y egresos

# Transporte de Explosivos

- ▣ Egresos con autorización y control de cantidades.
- ▣ Monitoreo de Tormentas
- ▣ Custodia permanente
- ▣ Rastreabilidad
- ▣ Transporte selectivo por tipo de explosivo
- ▣ Inspección y aprobación de previa de vehículos utilizados

# Prevención en el Área de la Voladura

- ▣ El área de la voladura comprende el sitio donde se encuentran los “barrenos” y las áreas susceptibles de daños personales y/o materiales.
- ▣ Se debe tomar en cuenta:
  - ✓ Características de explosivos (VOD, ABS, RBS...
  - ✓ Características geológicas ( $V_p$ , estructuras....
  - ✓ Malla y geometría de perforación
  - ✓ Características del entorno: edificios, estructuras, taludes, otras infraestructuras.

# Prevención en el Área de la Voladura

- ▣ Inspección previa/inicial del área de la voladuras
- ▣ Señalización y aviso
- ▣ Nomenclatura e identificación de barrenos
- ▣ Control de acceso
- ▣ Registro y evidencias

# Carga de Barrenos

- ▣ Nunca use herramientas o utensilios que puedan producir chispas o fricción.



- ▣ Monitoreo de to

# Carga de Barrenos

- ▣ Los explosivos se descargaran en lugares secos, alejados de fuentes de calor, aceite o combustible.
- ▣ Verificar condición del barreno
- ▣ Las cargas de los barrenos se realizaran con las cantidades de explosivos calculadas
- ▣ Evite golpear o tirar el explosivo
- ▣ Retaquear el explosivo con el material adecuado
- ▣ No mezclar accesorios de diferentes fabricantes
- ▣ Verificar conexiones

# Ejecución de la Voladura

- ▣ Protocolo de anuncio previo
- ▣ Sistema acústico de aviso
- ▣ No deben ingresar personas no autorizadas, vehículos o equipos durante la preparación del disparo.
- ▣ Mantener las operaciones dentro del rango de tiempo anunciado

# Riesgos Predominantes

- ▣ Detonación de explosivos fuera de los barrenos (impacto, aplastamiento por vehículos)
- ▣ Detonación prematura de un barreno cargado (golpe, maltrato de materiales, vibración por perforación cercana al área de carga)
- ▣ Detonación prematura de toda la voladura con el personal aún trabajando
- ▣ Manipuleo por personas no entrenadas
- ▣ Abandono de explosivos sobrantes

# La Voladura

- Asegurar silencio radial y comando único del disparo.
- Asegurar vía de escape.
- Verificar prohibición de accesos.
- Retirar personal y equipos a las distancias establecidas por las normas de seguridad propias
- Nunca disparar en superficie cuando haya tempestades o rayos.

# La Voladura – Riesgos

- Falla del encendido (tener que volver a hacerlo).
- Tiro prematuro,
- Protección inadecuada (en cobertura o en distancia).
- Excesivo nivel de vibraciones (sobrecarga).
- Proyección de fragmentos a distancia.
- Impacto a personas o equipos cercanos a la voladura.
- No abandonar a tiempo la zona de disparo (falla de vehículo, etc).

# Rocas en Vuelo

La proyección es y ha sido causa de muertes y destrucción de equipos o instalaciones, tanto en minas, obras civiles y trabajos secundarios

Las causas son: sobrecarga de explosivo, encendido instantáneo o con tiempos muy cortos entre taladros, fallas en el diseño y perforación de la malla, problemas geológicos (tipos de roca, fisuramientos, fallas no definidas con anterioridad, piedras grandes en el material)

# Retorno al Bloque de Voladura

- ▣ Tiros Retardados
- ▣ Tiros Cortados y Fallados: representan uno de los mayores problemas en voladuras pues deben ser eliminados antes de poder retirar el material volado.

Señalar el lugar donde se encuentren.

Retirar al personal no vinculado a este trabajo.

Eliminar los restos de explosivo no detonado con chorro de agua o colocarle un nuevo cebo y volverlo a disparar.

Buscar restos de explosivos y recogerlos para eliminarlos posteriormente (los muy peligrosos se plastearán in situ).

Cuando se sospeche la presencia de un tiro fallado, recomendar a los operadores de equipo observar el sector para evitar impactar los restos.

# Cuando Usar Explosivos

- Resistencia a compresión  
sin confinamiento
- ▣ Dureza
- ▣ Estructura
- ▣ Velocidad de propagación ondas

# Análisis de la Seguridad y de Riesgo

- ▣ Fases del proyecto (ciclos de producción)
  - Identificación de los riesgos en cada ciclo
  - Probabilidad de ocurrencia (análisis de falla y rutas críticas)
  - Oportunidades y alternativas
  - Puntos fuertes (Fortalezas)
  - Puntos vulnerables (Debilidades)
  - Control de los riesgos

# Control de Riesgos

Las medidas de seguridad en las voladuras y la precisión del disparo son de extrema importancia porque...

1. No hay segundas oportunidades en las voladuras y pueden causar una multitud de problemas innecesarios.
2. Si la fragmentación no es la adecuada la excavación también no va a ser ventajosa

# Control de Riesgos (cont...)

3. La protección de los edificios y estructuras cercanas mediante el control de amplitud de vibraciones y frecuencias resultantes de las voladuras.
4. Control exposición a los vecinos a gases tóxicos provenientes de las voladuras.

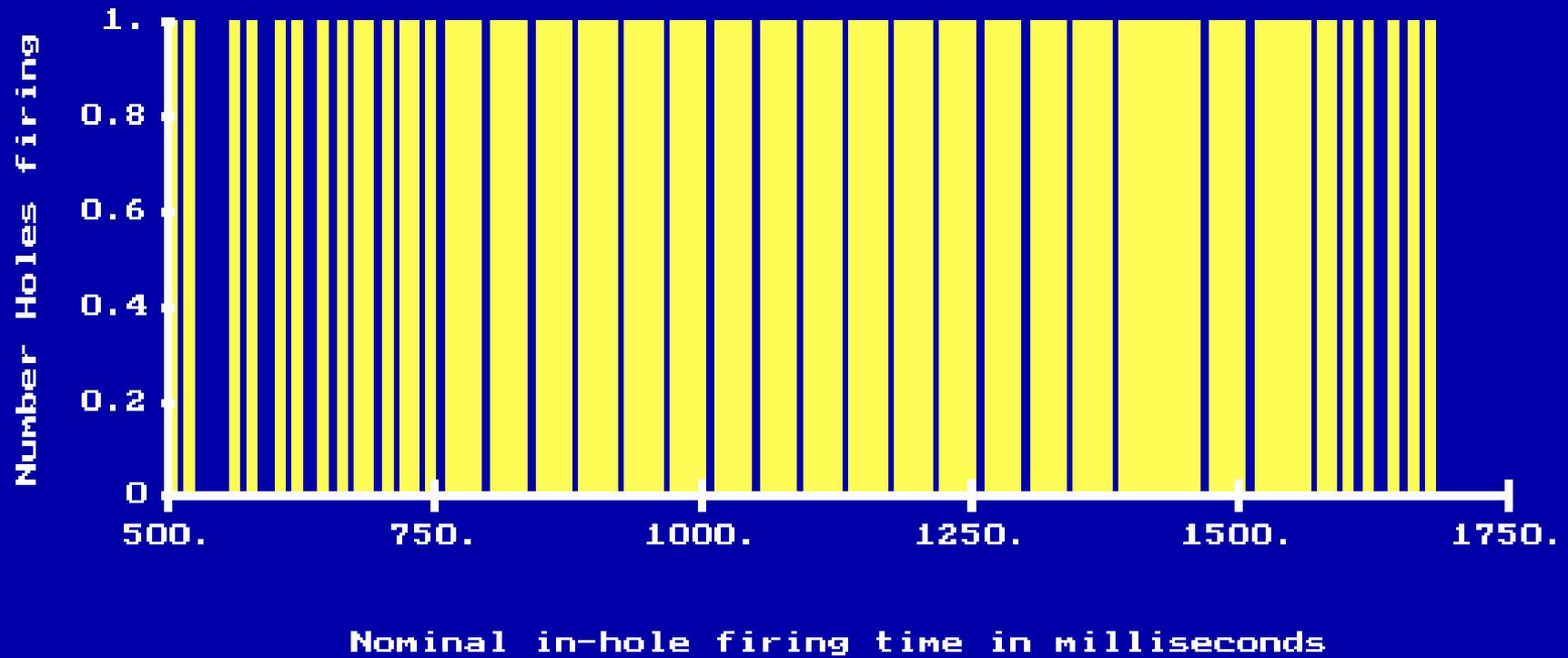
# Control de Riesgos

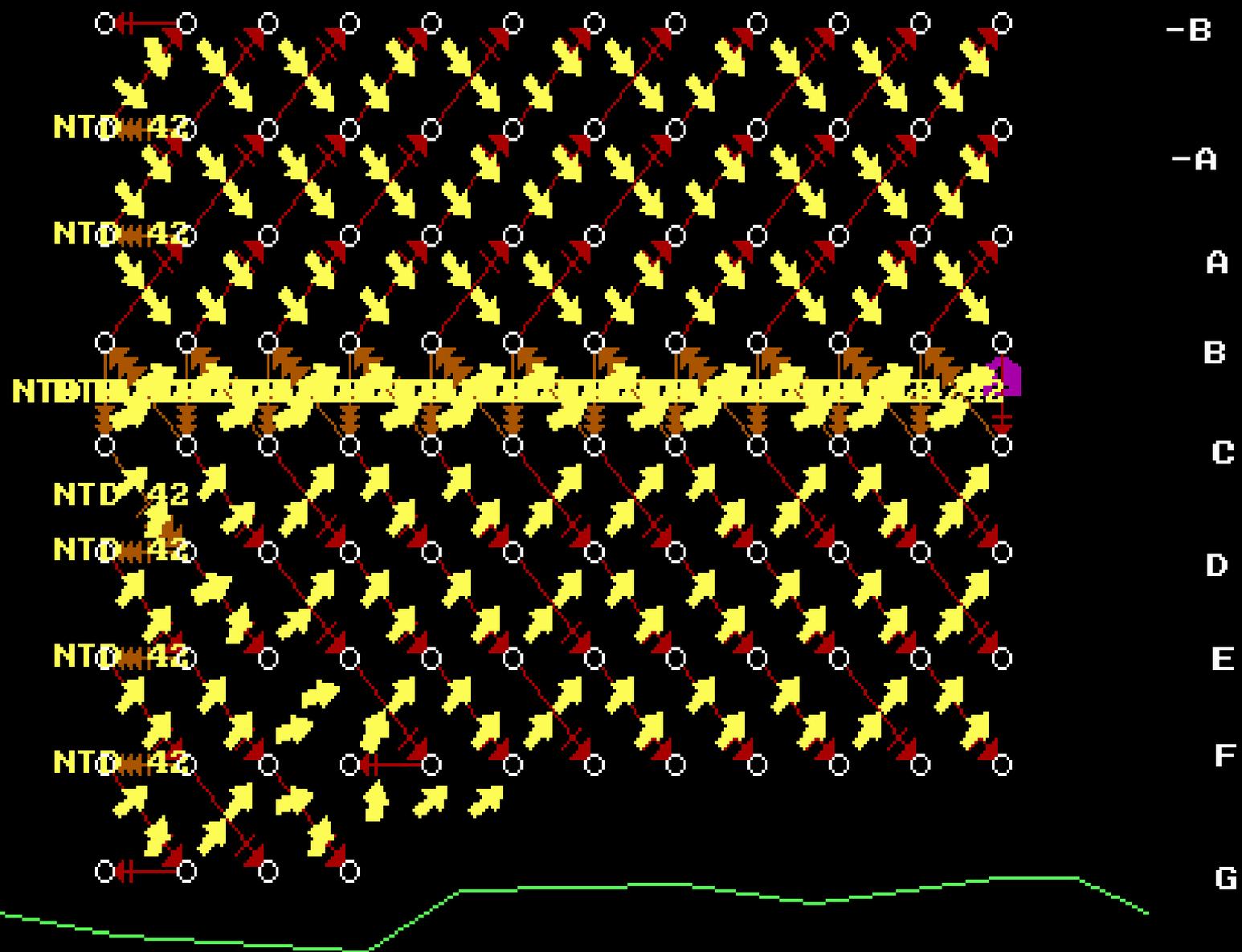
- Estructuras y taludes (ppv, F, Blasting Constrains, lbs/retardo)
- Formulación del explosivo (especificaciones técnicas) para la reducción de gases NO<sub>x</sub>, CO.
- Protocolo de coordinación; límite de vibraciones para protección , otras estructuras y taludes;
- Comunicación:
  - anuncio previo 2 días antes
  - coordinación de ventana en el tránsito
  - coordinación autoridades de seguridad

# Plan de Voladura

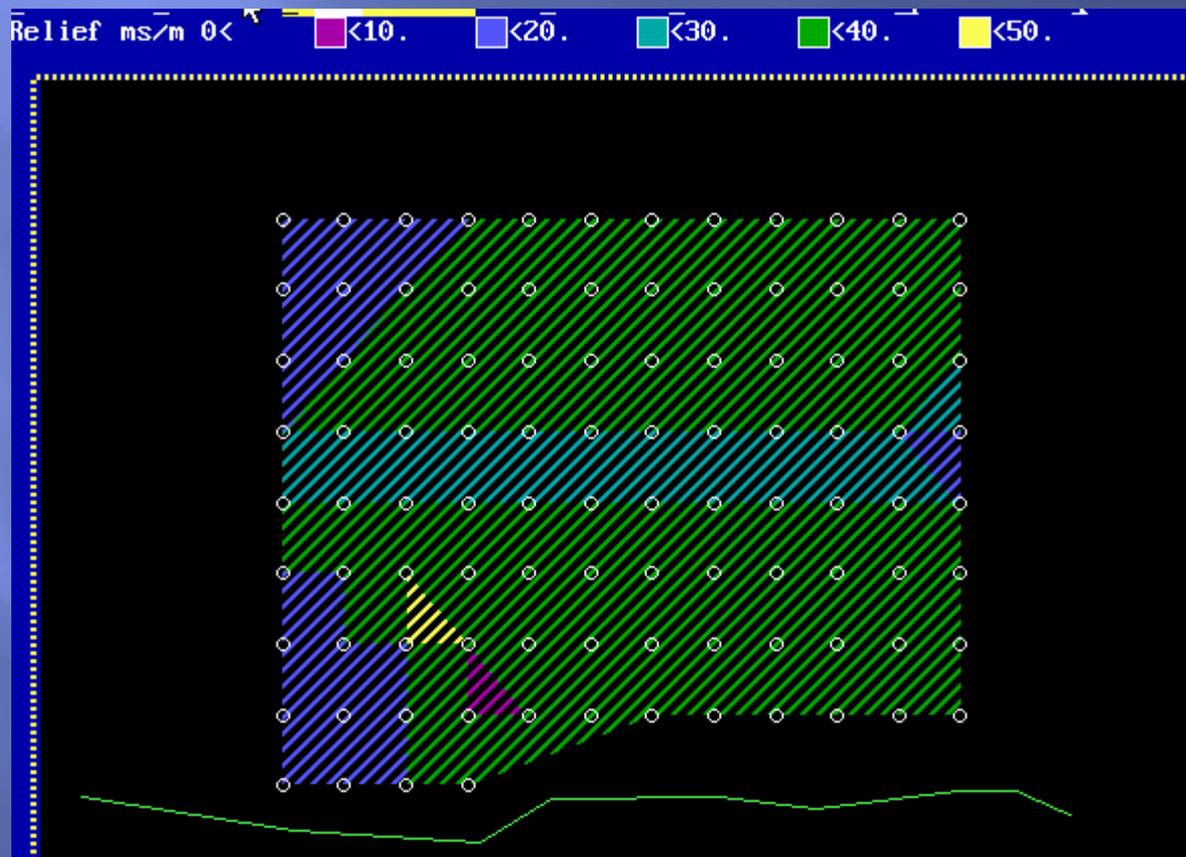
- ▣ Objetivo
- ▣ Tipo de explosivo
- ▣ Geometría de malla de perforación
- ▣ Detalles de la carga
- ▣ Modelo de propagación de vibración
- ▣ Rango de parámetros vibratorios
- ▣ Secuencia y Tiempos de detonación
- ▣ Vectores de movimiento de salida-direccionamiento
- ▣ Contornos

First hole fires at 500.0 ms  
Last hole fires at 1685.0 ms  
Blast duration 1185.0 ms





# impulso de salida



# Sitio de voladura



# Localización de los barrenos



# Voladura cerca de concreto



GRACIAS