

Máster Universitario  
en Túneles  
y Obras Subterráneas



ÁREA: A  
MÓDULO: TECNÓLOGA DE EXPLOSIVOS

VOLADURAS A CIELO ABIERTO  
VOLADURAS SUBTERRÁNEAS

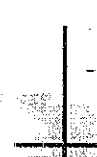
Ponente: C. López Jimeno  
Día: 24/01/07  
Hora: 18:15 a 20:15



# VOLADURAS A CIELO ABIERTO

---

Carlos López Jimeno  
Pilar García Bermúdez  
Dres. Ing. de Minas

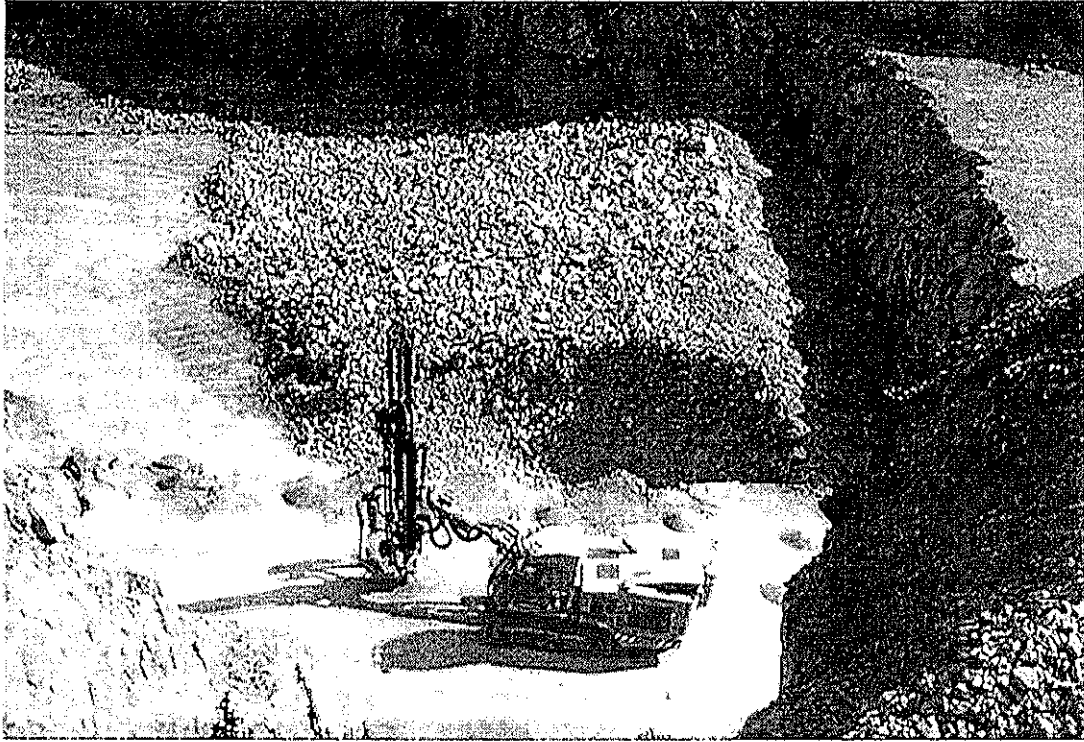


## Aplicaciones de las voladuras a cielo abierto

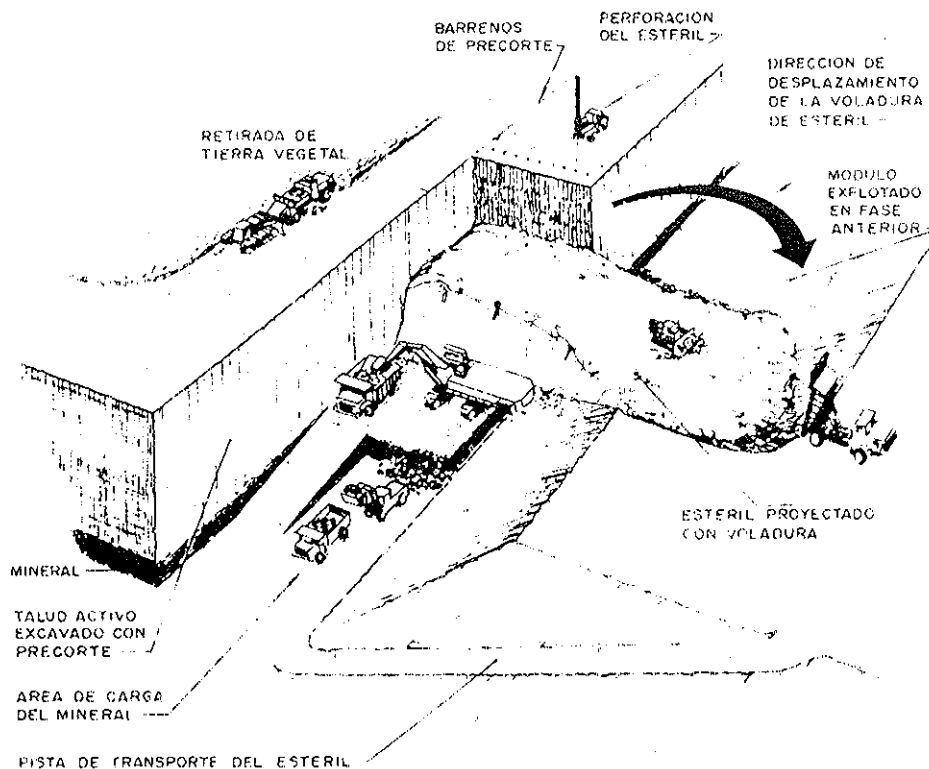
---

- Explotación de canteras de áridos y escollera
- Voladuras de máximo desplazamiento
- Excavación de carreteras y autopistas
- Excavación de zanjas y rampas
- Nivelaciones y cimentaciones
- Prevoladuras

# Explotación de canteras de áridos



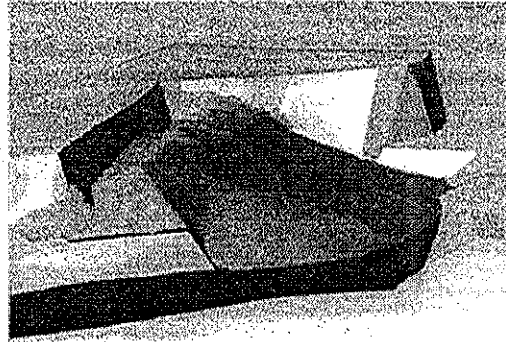
## Método de explotación con voladuras de máximo desplazamiento



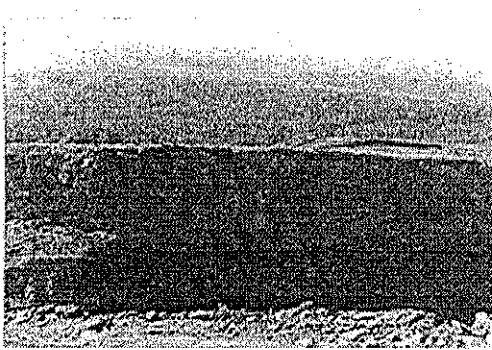
## Voladura de máximo desplazamiento



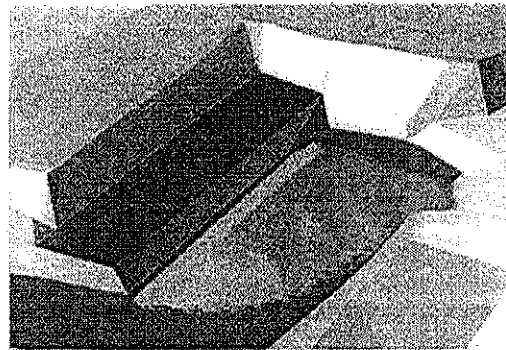
VIRADO DE LA VOLCANES



DEL VOLCANES



PLA DE ESCOMBRO EN LA VOLCANES

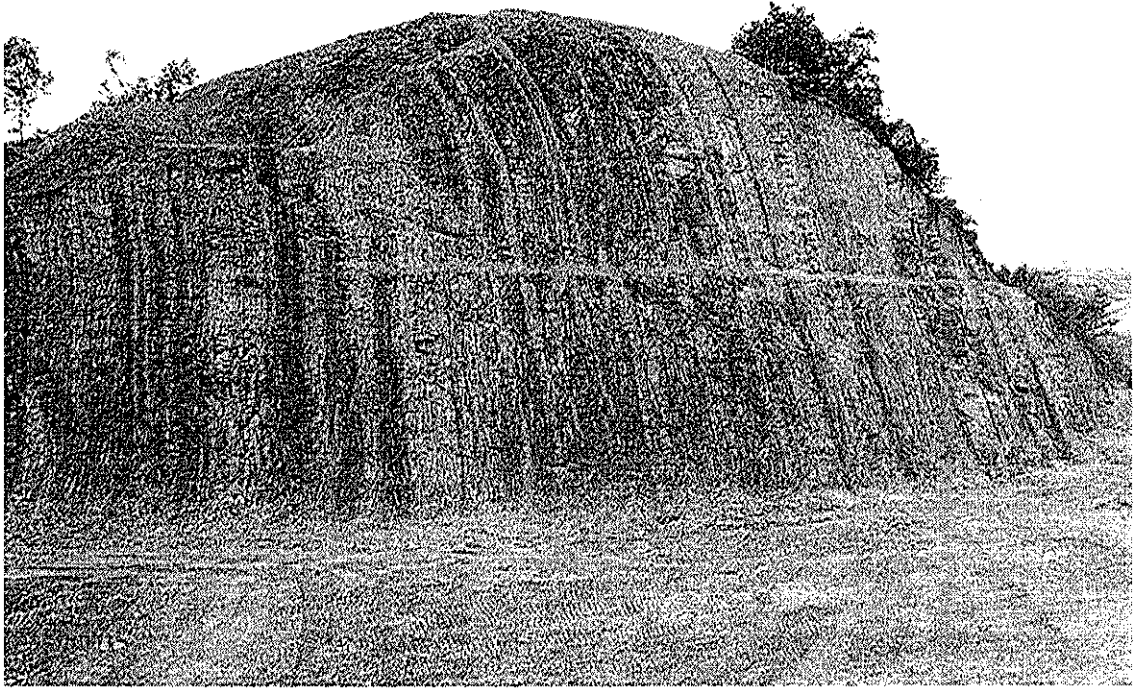


VOLCANES DE LA TIERRA DE MICHEN, ESTADOS

## Excavación de carreteras



## Excavación de carreteras

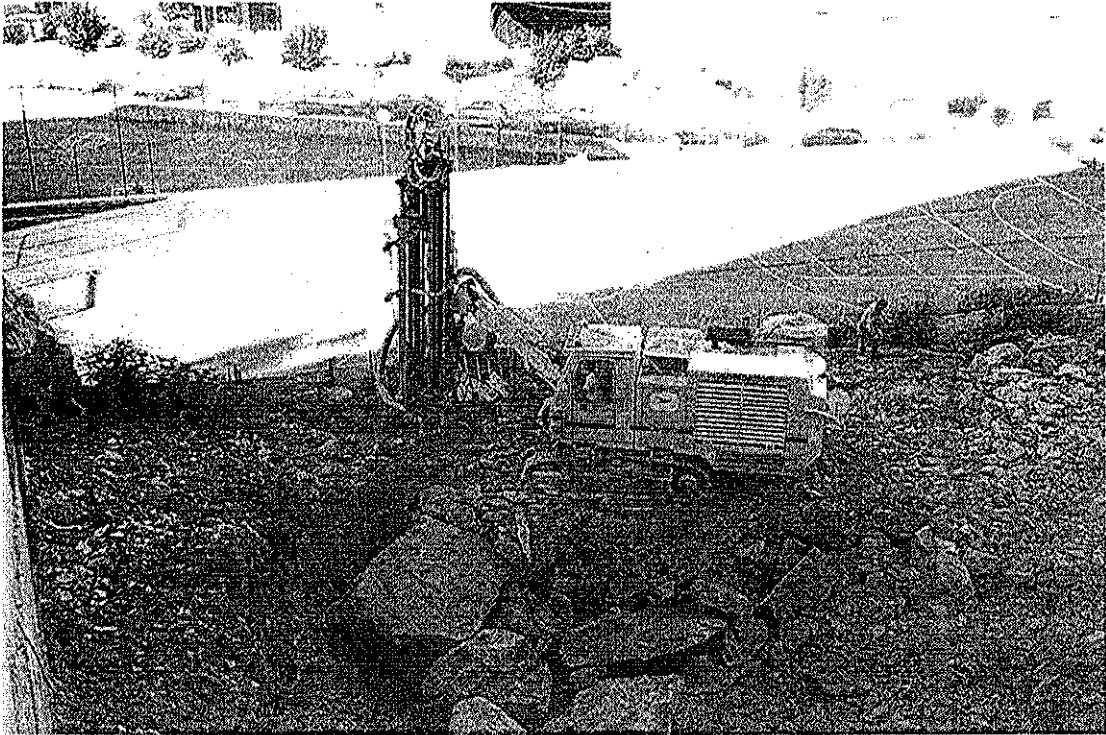


## Excavación de carreteras





# Nivelación



Incontrolables → Prop de las rocas, debemos intentar tener el control  
→ como controlamos a las rocas

## Grupos de variables que intervienen en las voladuras

Controlables {  
Geometría  
Explosivos o químicos  
Tiempo de retardo y secuencias de accionamiento

EXPLOSIVOS

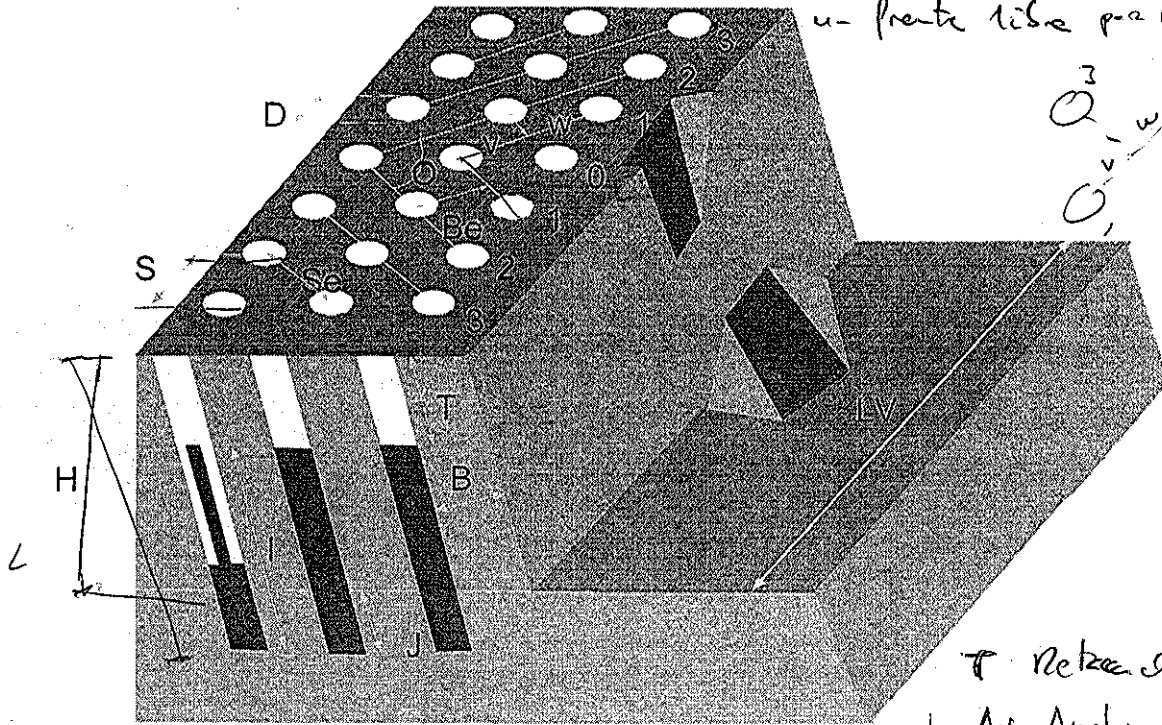
GEOMETRIA

ROCAS

TIEMPOS Y SECUENCIAS

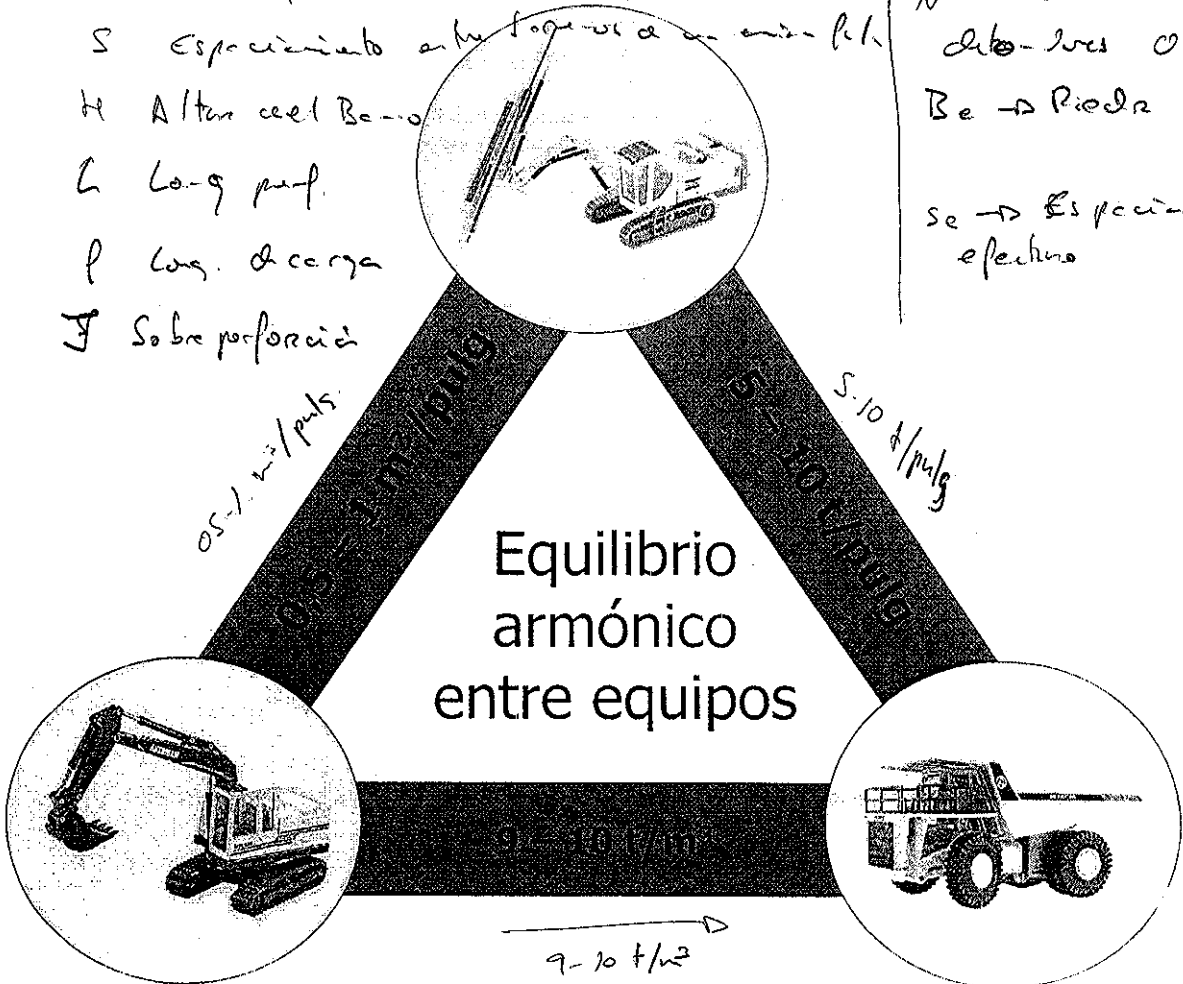
# Variables de diseño de las voladuras a cielo abierto

Cuando se introducen detonadores para iniciar la voladura se habla de  $B_e$  y  $S_e$ . P.ej. si AV ya se han volado los barrenos con 1 quele un frente libre para los 2



- D Diámetro perforación
- B Piedra
- S Espaciamiento entre topografía a un nivel
- H Altura del Berro
- L Long. perf.
- p Long. de carga
- J Sobre perforación

$T$  Retenido  
 $\Delta v$  Ancho voladura  
 $L_v$  Long. voladura  
 $N$  nº series de los detonadores  $\phi =$  constante  
 $B_e \rightarrow$  Piedra efectiva  
 $S_e \rightarrow$  Espaciamiento efectivo



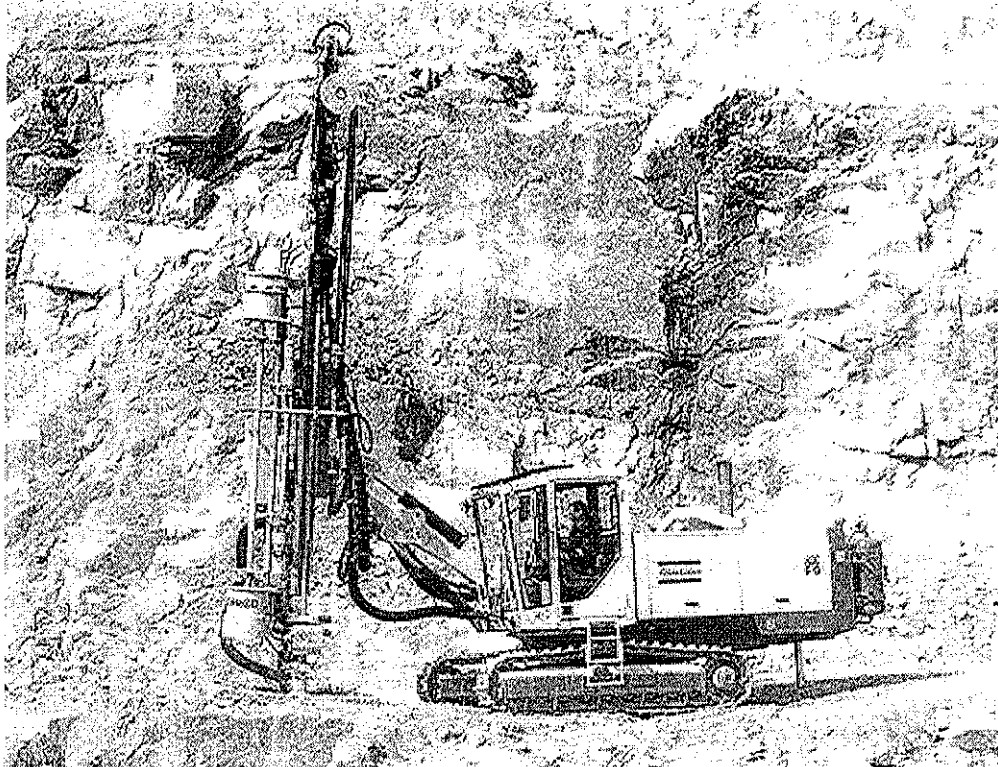
Equilibrio armónico entre equipos

0.5-1 m<sup>2</sup>/puls.

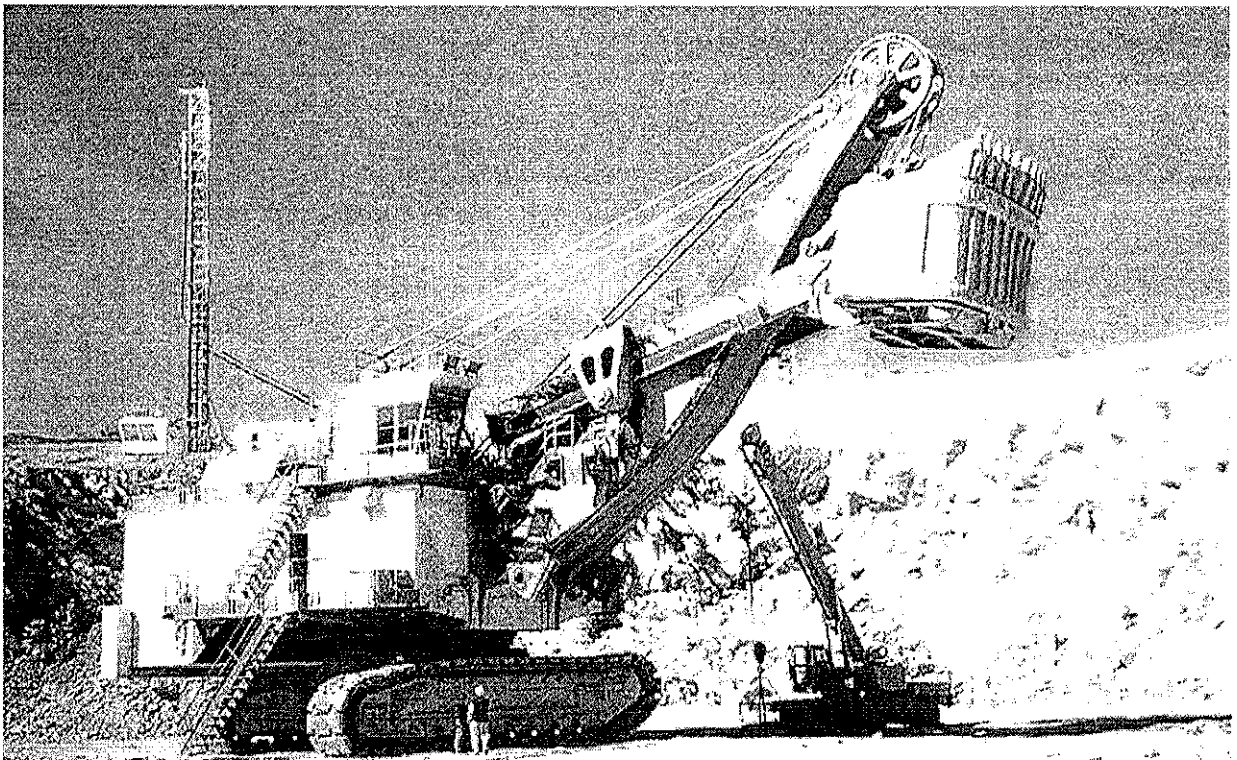
5-10 t/pulg

9-10 t/m<sup>2</sup>

## Carro hidráulico moderno

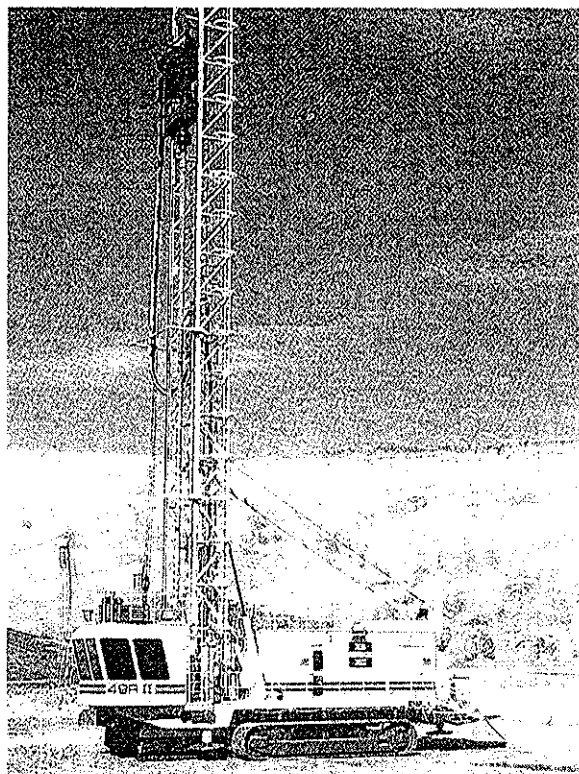


## Perforadora rotativa sobre orugas

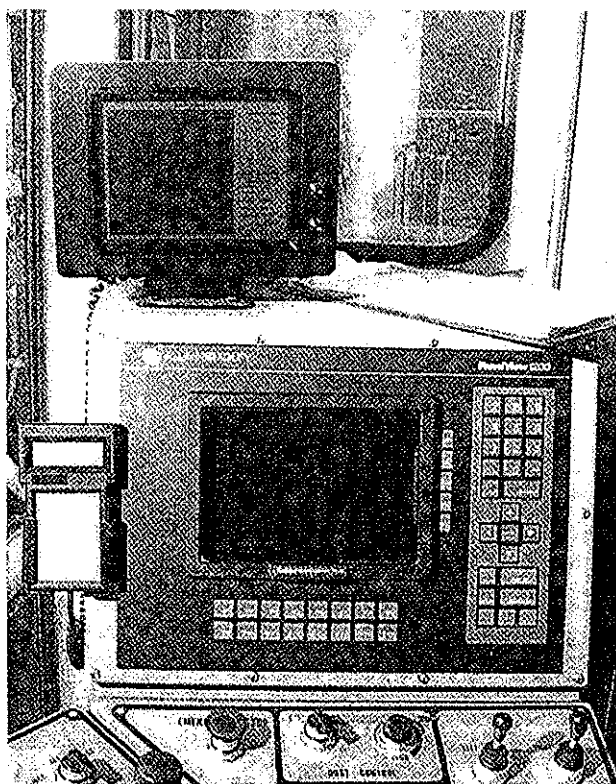




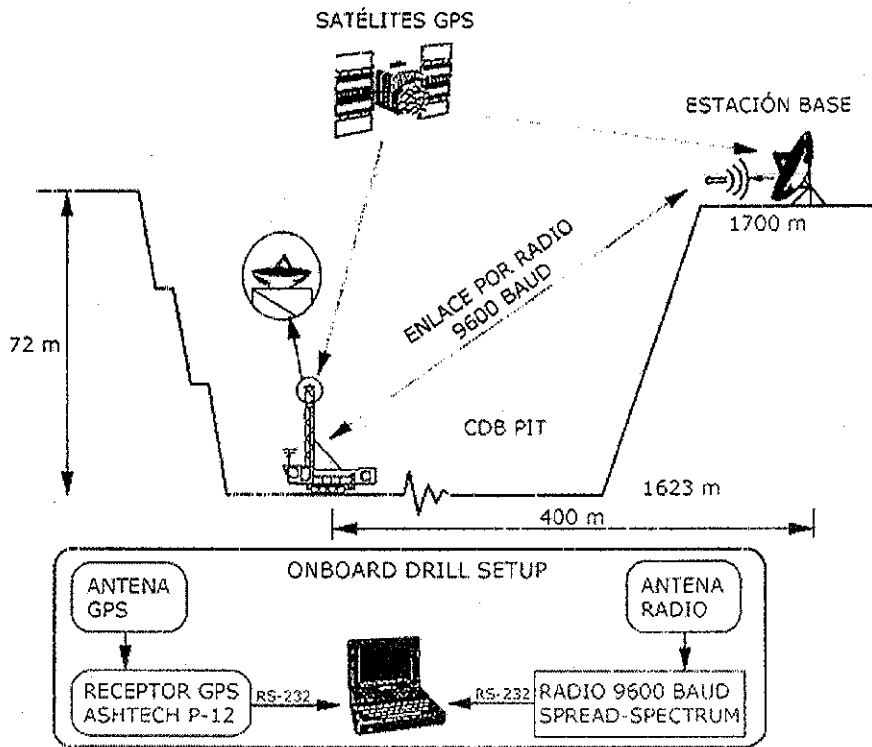
## Perforadora rotativa sobre orugas 49 R



## Interior de una cabina de mando



# Posicionamiento de una perforadora con GPS



## Voladuras en banco

en  $\phi$

- Pequeño diámetro (< 165 mm)
- Gran diámetro (> 165 mm)

6 1/2"

6 1/2"

## Voladuras en banco ( $D < 165$ mm)

DIÁMETRO DEL BARRENO (mm)	PRODUCCIÓN HORARIA MEDIA ( $m^3b/h$ )	
	ROCA MEDIA-BLANDA < 120 MPa	ROCA DURA-MUY DURA > 120 MPa
65	190	60
89	250	110
150	550	270

## Voladuras en banco ( $D < 165$ mm)

ALTURA DE BANCO (m)	DIÁMETRO DEL BARRENO D (mm)	EQUIPO DE CARGA RECOMENDADO
8 – 10	65 – 95	Pala de ruedas
10 – 15	100 – 150	Excavadora hidráulica o de cables

## Voladuras en banco ( $D < 165$ mm)

	R. Dura ←	→ R. Blanda
<b>Piedra</b>	30 D	40 D
<b>Espaciamiento</b>	40 D	50 D
<b>Retacado</b>	30 D	35 D
<b>Sobreperforación</b>	12 D	10 D
<b>Long. carga de fondo</b>	46 D	30 D

## Voladuras en banco ( $D > 165$ mm)

		R. Dura ←	→ R. Blanda
<b>Piedra</b>	ANFO	21 D	28 D
	Hidrogeles y emulsiones	30 D	38 D
<b>Espaciamiento</b>	ANFO	30 D	38 D
	Hidrogeles y emulsiones	34 D	45 D
<b>Retacado</b>		25 D	40 D
<b>Sobreperforación</b>		5 - 6 D	7 - 8 D

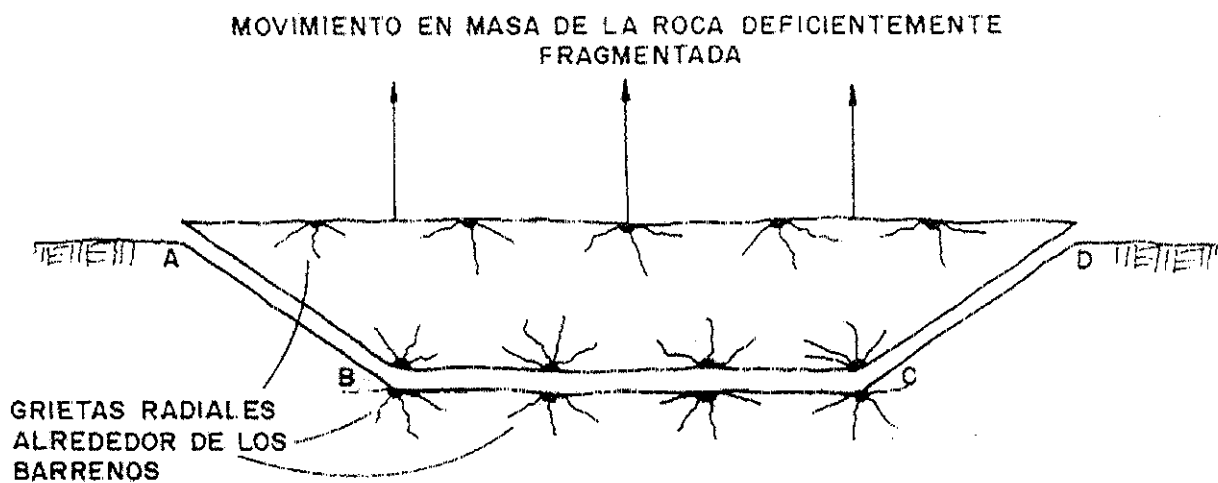
# Voladuras en banco

- Consumos específicos

D < 165 mm      250 - 550 g/m<sup>3</sup>

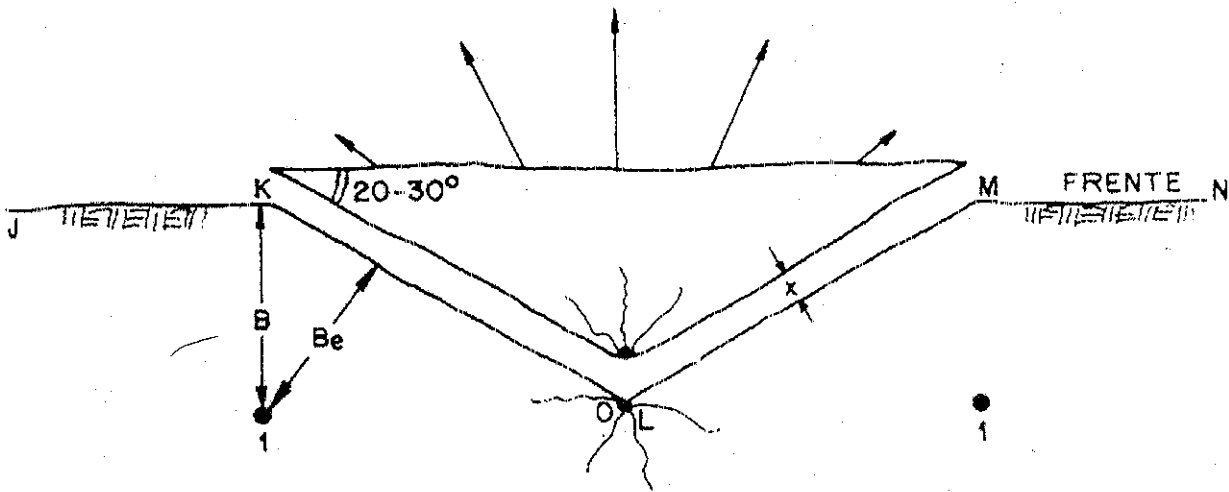
D > 165 mm      250 - 1200 g/m<sup>3</sup>

# Secuencia de encendido





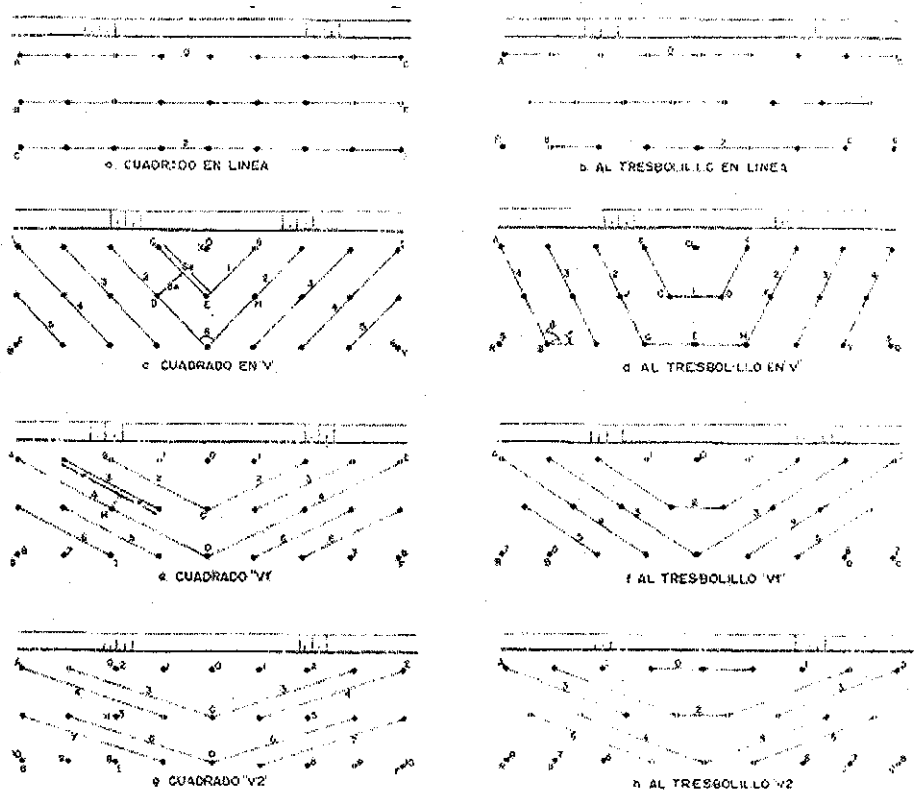
# Secuencia de encendido



- Por retirar los dispersos de laminas se va a producir una mayor fracturación
- Los rebeldes hacen disminuir las vibraciones.

## Secuencias de encendido

V+  
abierto

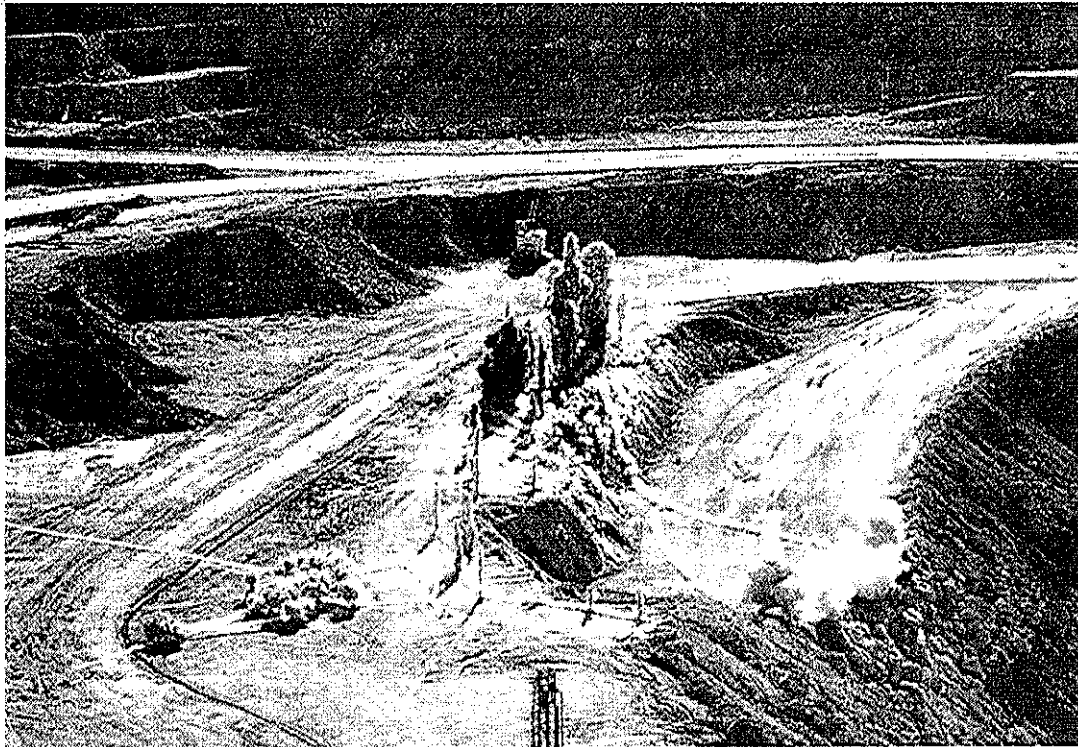


Sistemas cuadrados o rectangulares

Esquinas a tresbolillo

e los rebeldes

# Secuencia de encendido

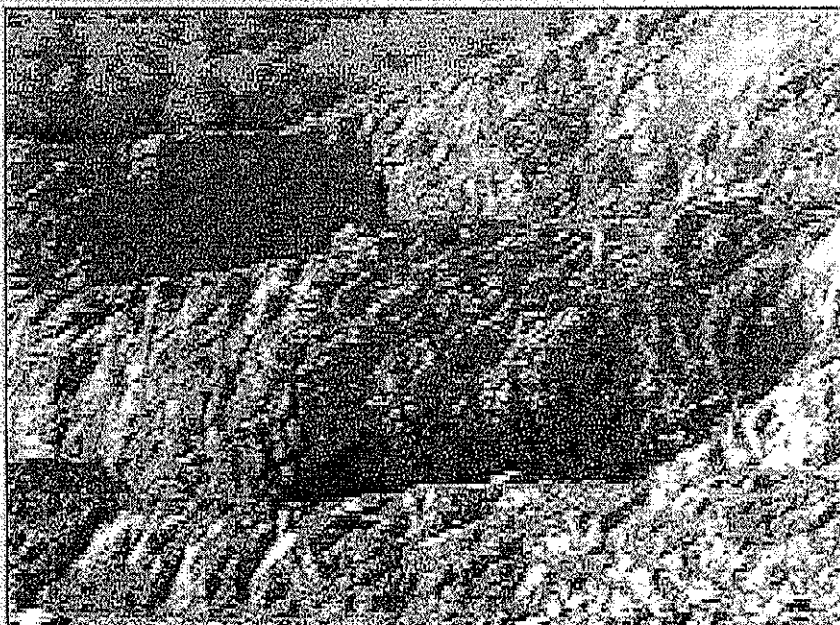


DISVOL

EPM, S.A.

## PROGRAMA DE DISEÑO DE VOLADURAS

DISVOL v1.0



## MENU PRINCIPAL







Archivo Opciones Acerca de

## DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

 Friable/Poco friable

 Disclasado en bloques

 Totalmente masivo

10

## ORIENTACIÓN DE LOS PLANOS DE JUNTAS

 Horizontal

 Buzamiento normal al frente

 Divergente con el frente

 Buzamiento coincidente con el frente

40

## ESPACIAMIENTO ENTRE PLANOS DE JUNTAS

 Pequeño (< 0,1 m)

 Intermedio (0,1 a 1 m)

 Grande (> 1 m)

10



2

100



32,5



### TIPOS DE ROCAS

Tipo

Clasificación de la roca

Densidad en banco  g/cm<sup>3</sup>

Densidad suelta  g/cm<sup>3</sup>

Velocidad sísmica  m/s

Resistencia a compresión  MPa

Clasificación de la roca en función de la resistencia

RESISTENCIA A COMPRESIÓN = 10 - 13 RESISTENCIA A TRACCIÓN

Archivo Opciones Acerca de

#### DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

- Friable/Poco friable
- Diaclasado en bloques
- Totalmente masivo

#### ORIENTACIÓN DE LOS PLANOS DE JUNTAS

- Horizontal
- Buzamiento normal al frente
- Dirección normal al frente
- Buzamiento coincidente con el frente

#### ESPACIAMIENTO ENTRE PLANOS DE JUNTAS

- Pequeño (< 0.1 m)
- Intermedio (0.1 a 1 m)
- Grande (> 1 m)

DENSIDAD (t/m<sup>3</sup>)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)

ÍNDICE DE VOLABILIDAD (BI) =

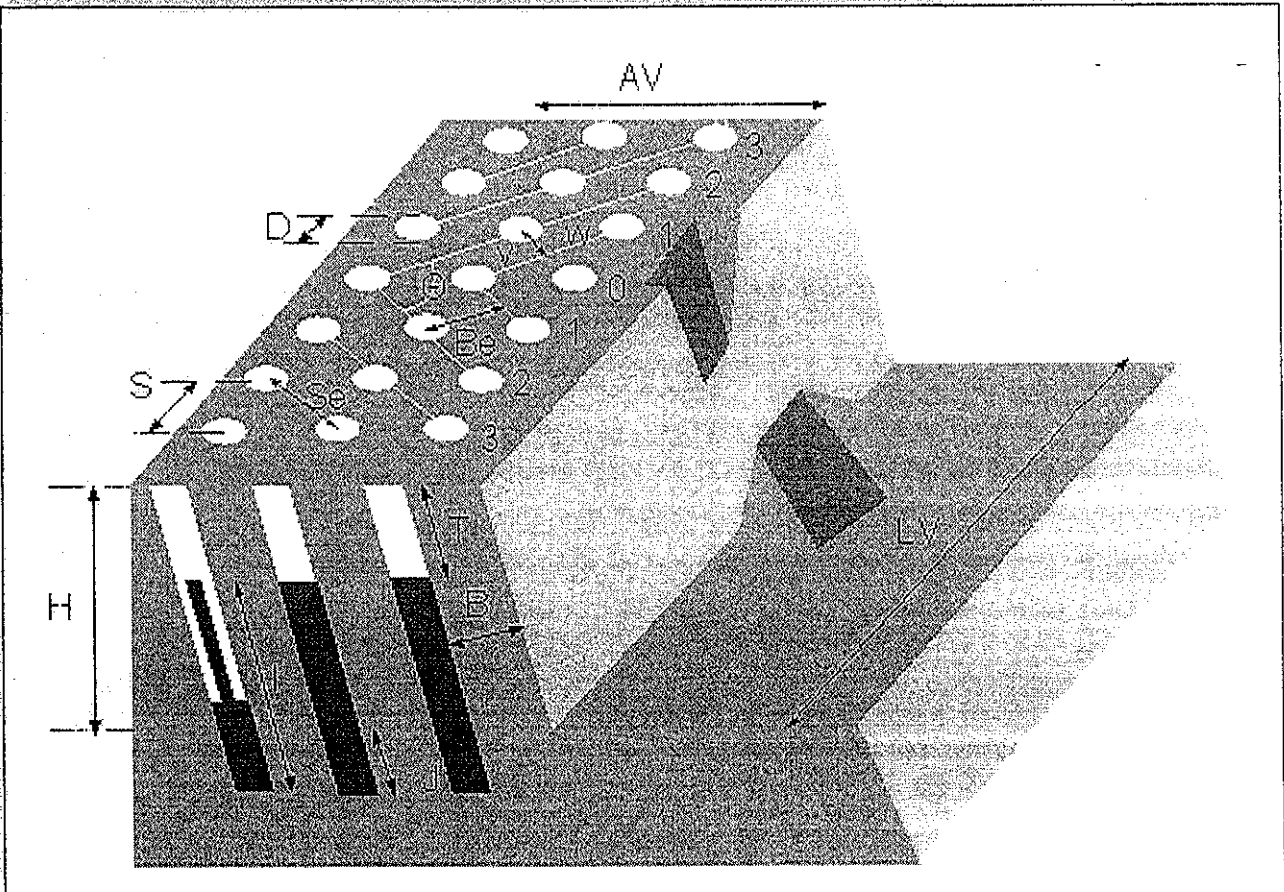


DISEÑO DE VOLADURAS

VOLADURAS EN BANCO

VOLADURAS DE CONTORNO

VOLVER AL MENÚ PRINCIPAL



Siguiente



**DISEÑO DE VOLADURAS EN BANCO**

PEQUEÑO DIÁMETRO (< 165 mm)

LANGEFORS

L JIMENO

GRAN DIÁMETRO (> 165 mm)

ASH

E L JIMENO

L JIMENO

Anterior



Archivo Herramientas Opciones Acerca de

Datos geométricos	Datos de la roca	Datos del explosivo
<b>DATOS GEOMÉTRICOS</b>		
Esquema	1	
Diámetro de perforación (mm)	89	
Inclinación de los barrenos (grados)	0	
Altura de banco (m)	10	
Anchura de la voladura (m)	10	
Longitud del frente (m)	100	
Error de perforación (m)	0.01	
		Siguiete
		Anterior
		Volver al menú principal



Datos geométricos	Datos de la roca	Datos del explosivo
<b>DATOS DE LA ROCA</b>		
Índice de volabilidad	32.5	
Insertar dato		
Calcular		
Resistencia a compresión simple (MPa)	2	
Bases de datos		
		Siguiente
		Anterior
		Volver al menú principal

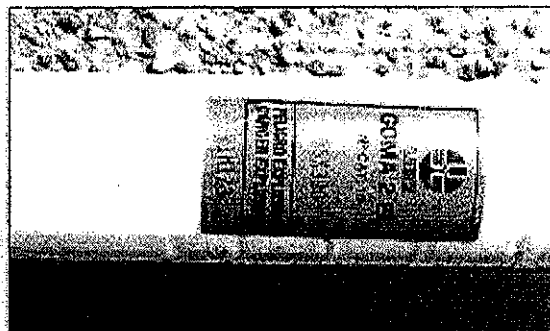


Datos geométricos	Datos de la roca	Datos del explosivo
<b>DATOS DEL EXPLOSIVO</b>		
EXPLOSIVO DE FONDO	Goma 2E	Bases de datos
Diámetro de la carga (mm)	65	
Densidad de la carga (g/cm <sup>3</sup> )	1.40	
Potencia relativa por unidad de peso	121	
EXPLOSIVO DE COLUMNA	Nagolita	
Diámetro de la carga (mm)	89	
Densidad de la carga (g/cm <sup>3</sup> )	0.80	
Potencia relativa por unidad de peso	100	
		Siguiente
		Anterior
		Volver al menú principal



CARGA DE FONDO

Tipo	Goma 2E-C	
Densidad de carga	1 40	g/cm3
PRP	121	
Velocidad de detonación	5200	m/s
Diámetro de la carga	65	mm



CARGA DE COLUMNA

Tipo	Nagolita a granel	
Densidad de carga	0 80	g/cm3
PRP	100	
Diámetro de la carga	89	mm



Cancelar

Aceptar

Archivo Opciones Acerca de

RESULTADOS

ESQUEMA DE LA VOLADURA	DISEÑO DE LAS CARGAS	FRAGMENTACIÓN	
Piedra (m)	3.29	Longitud total perforada (m)	790.49
Espaciamiento (m)	4.18	Número de filas	3
Longitud de barrenos (m)	10.98	Número de barrenos por fila	24
Sobreperforación (m)	0.98	Número total de barrenos	72
Retacado (m)	3.03	Anchura real arrancada (m)	9.88
Espaciamiento efectivo (m)	8.99	Volumen arrancado por barrenos (m3)	137.75
Piedra efectiva (m)	1.53	Volumen arrancado total (m3)	9917.73
Espaciamiento efec / Piedra efec	5.87	Consumo específico (kg/m3)	0.28
Grado de equilibrio en voladura multifila	0.76	Rendimiento de arranque (m3/m)	12.55

Menú principal

Anterior

Siguiente



## RESULTADOS

## ESQUEMA DE LA VOLADURA

## DISEÑO DE LAS CARGAS

## FRAGMENTACIÓN

Longitud carga de columna (m)	4.84	Carga de fondo (kg)	14.47
Carga de columna (kg)	24.08	Carga de fondo total (kg)	1041.92
Carga de columna total (kg)	1733.64	Conc carga de fondo (kg/m)	4.65
Conc carga de columna (kg/m)	4.98	Carga total barreno (kg)	38.55
Longitud carga de fondo (m)	3.11	Carga total voladura (kg)	2775.56

Menú principal

Anterior

Siguiete



## RESULTADOS

## ESQUEMA DE LA VOLADURA

## DISEÑO DE LAS CARGAS

## FRAGMENTACIÓN

Índice de uniformidad	1.27
K50 (cm)	20.67
K95 (cm)	65.66
Tamaño característico (cm)	27.61

Menú principal

Anterior

Siguiete



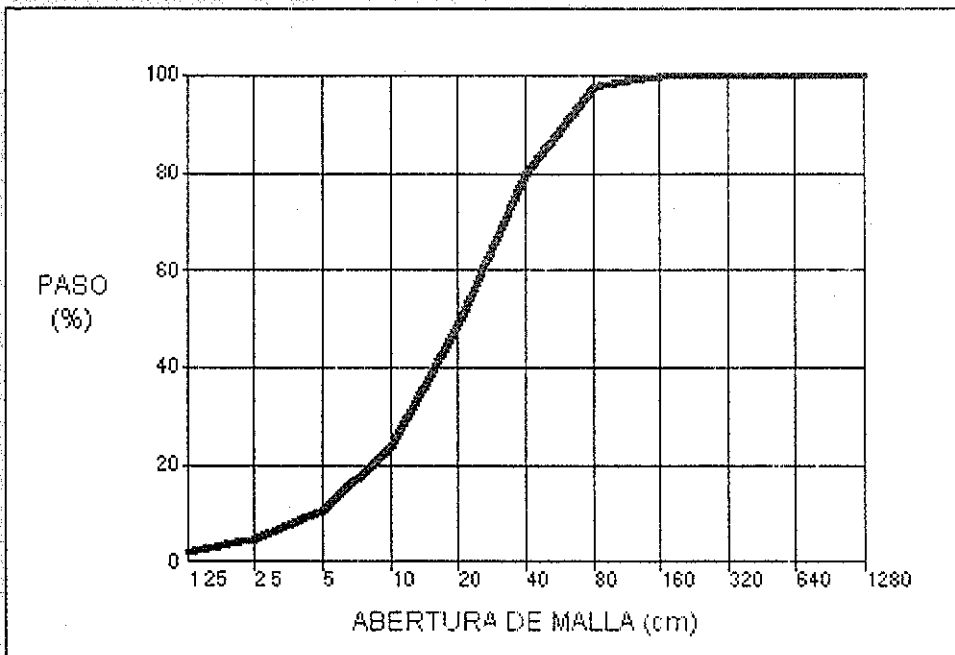
MENÚ DE GRÁFICAS

CURVAS GRANULOMÉTRICAS

VOLVER MENÚ PRINCIPAL



CURVAS GRANULOMÉTRICAS



Abertura (cm)	% teor
1.25	1.96
2.50	4.66
5	10.85
10	24.14
20	48.56
40	79.79
80	97.87
160	99.99
320	100.00
640	100.00
1280	100.00

K95 teórico (cm) = 65.66

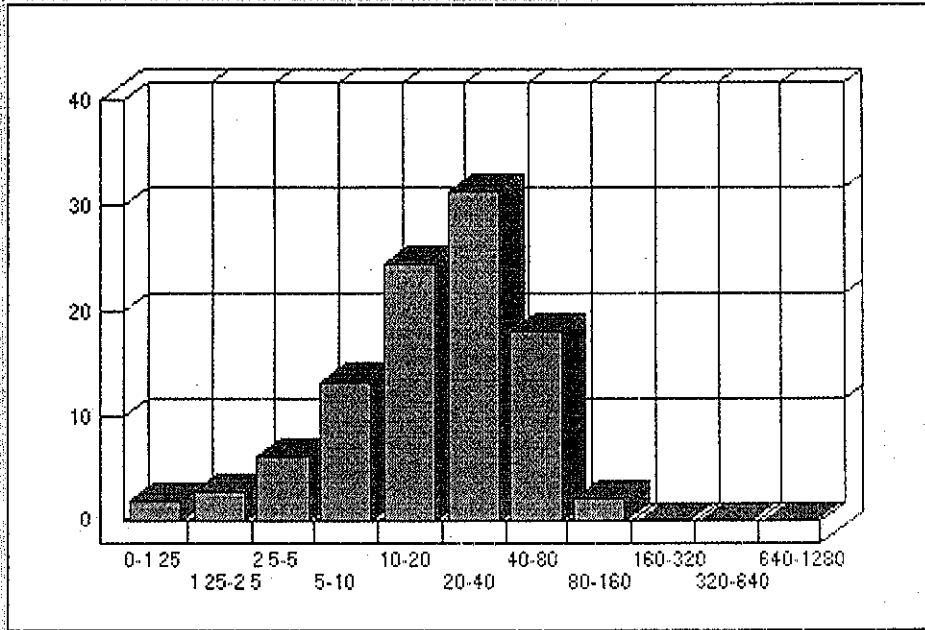
Siguiente





HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS

FRACCIÓN (%)



Rango (cm)	% teór
0 - 1.25	1.96
1.25 - 2.5	2.70
2.5 - 5	6.19
5 - 10	13.29
10 - 20	24.42
20 - 40	31.24
40 - 80	18.07
80 - 160	2.12
160 - 320	0.01
320 - 640	0.00
640 - 1280	0.00

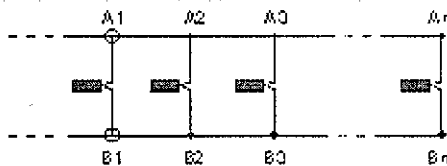
ABERTURA DE MALLA (cm)

Imprimir

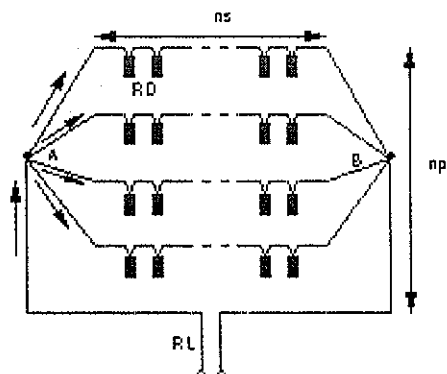
Menú



Serie



Paralelo



Serie - Paralelo definido

Serie - Paralelo calculado

Volver al menú principal



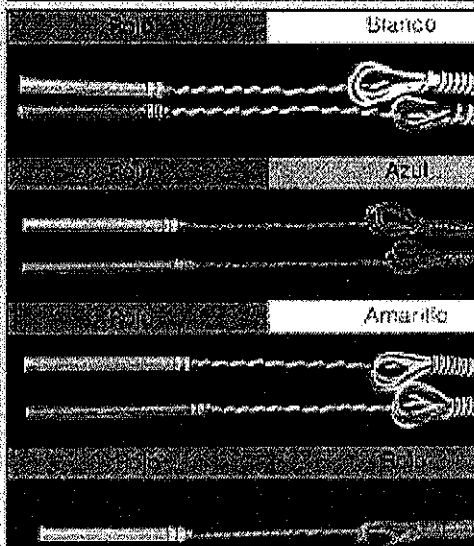
CIRCUITO SERIE

Detonadores

Circuito

Explosor

DETONADORES ELÉCTRICOS



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

TIPO DE DETONADOR

	RIODET S	RIODET I	RIODET AI
Resistencia de puente (Ohmios)	1.2 - 1.6	0.3 - 0.5	0.03 - 0.05
Sensibilidad eléctrica (mW s/Ohmio)	0.8 - 3	8 - 16	1100 - 2500
Corriente de seguridad (A)	0.18	0.45	4
Corriente recomendada de encendido en serie (A)	1.2	2.5	25

Anterior

Volver al menú principal



Detonadores

Circuito

Explosor

Tipo de detonador	Riodet AI
Resistencia de puente del detonador (Ohmios)	0.03
Resistencia del metro lineal de hilo (Ohmios/m)	0.065
Metraje del hilo del detonador (m)	5
Resistencia de la línea de tiro (Ohmios)	2
Nº de detonadores	20

Resistencia total del circuito (Ohmios)

15.60

Seleccionar impresora

Imprimir

Calcular

Anterior

Volver al menú principal



Base de datos Posición

Nombre del Explosor	CI-160 VA
Capacidad (microFaradios)	105
Tensión (V)	1950
Tiempo de descarga (ms)	5

⏪ ⏩ Explosores ⏪ ⏩

Aceptar

Cancelar

Archivo Herramientas Opciones Acerca de

Detonadores	Circuito	Explosor
<b>Datos</b>		<b>Resultados</b>
Bases de datos		
Capacidad (microFaradios)	105	
Tensión (V)	1950	
Tiempo de descarga (ms)	5	
Resistencia total del circuito (Ohmios)	15.6	
Sensibilidad eléctrica (mW s/Ohmio)	2500	
		Calcular
		Anterior
		Volver al menú principal



Detonadores      Circuito      Explorador

Datos	Resultados
Energía total disponible en el explorador (J)	199.63
Energía suministrada al circuito (J)	199.19
Intensidad efectiva (A)	50.53
Impulso de encendido (mW s/Ohmio)	12768.3
Factor de seguridad	5.11



Producto

Precio (PTA)

Riogel 2

404

Precios

Insertar explosivo fondo

Insertar explosivo columna

Insertar detonador

Cerrar

Archivo Opciones Acerca de

## EXPLOSIVOS

 Base de datos de precios

	Tipo	Cantidad	Precio Unitario
Explosivo de fondo	Goma 2E-C 65	1041.92 kg	450 PTA/kg
Explosivo de columna	Nagolita 89	1733.64 kg	161 PTA/kg
Cordón detonante	Riocord 12	862.49 m	60 PTA/m
Detonadores	Riodet Al 20	20 ud	130 PTA/ud

## PERFORACION

Metros Perforados 790,49 m Precio Unitario 600 PTA/m

## OTROS COSTES

150000 PTA

Siguiente

Volver al menú principal

Archivo Opciones Acerca de

## TOTAL COSTES

Total Explosivo de Fondo	468450	PTA
Total Explosivo de Columna	279013	PTA
Total Cordón Detonante	51720	PTA
Total Detonadores	2600	PTA
<b>TOTAL EXPLOSIVOS</b>	<b>801783</b>	<b>PTA</b>
<b>TOTAL PERFORACION</b>	<b>474000</b>	<b>PTA</b>
<b>TOTAL OTROS COSTES</b>	<b>150000</b>	<b>PTA</b>
<b>TOTAL MILES DÍGITA</b>	<b>1425783</b>	<b>PTA</b>
Coste explosivos por metro cúbico	80.84	PTA/m3
Coste perforación por metro cúbico	47.79	PTA/m3
Coste voladura por metro cúbico	143.76	PTA/m3

Anterior

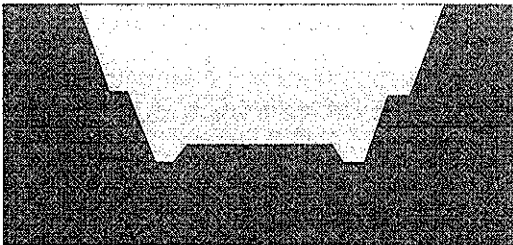
Volver al menú principal



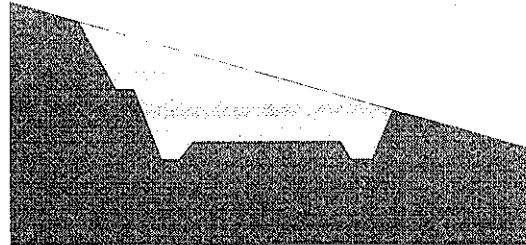
## Factores influyentes en las voladuras en proyectos de obras públicas

- Alturas de desmonte variables
- Propiedades cambiantes de las rocas a lo largo del trazado
- Necesidad de garantizar la integridad de los taludes finales
- Entornos sensibles

## Clases de desmontes en obra pública

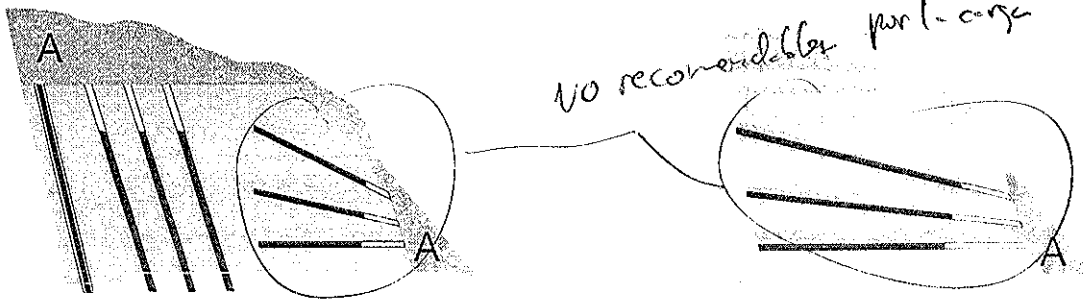
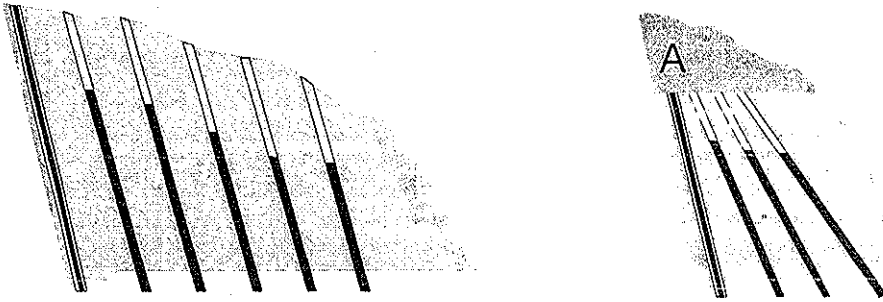


EN TRINCHERA

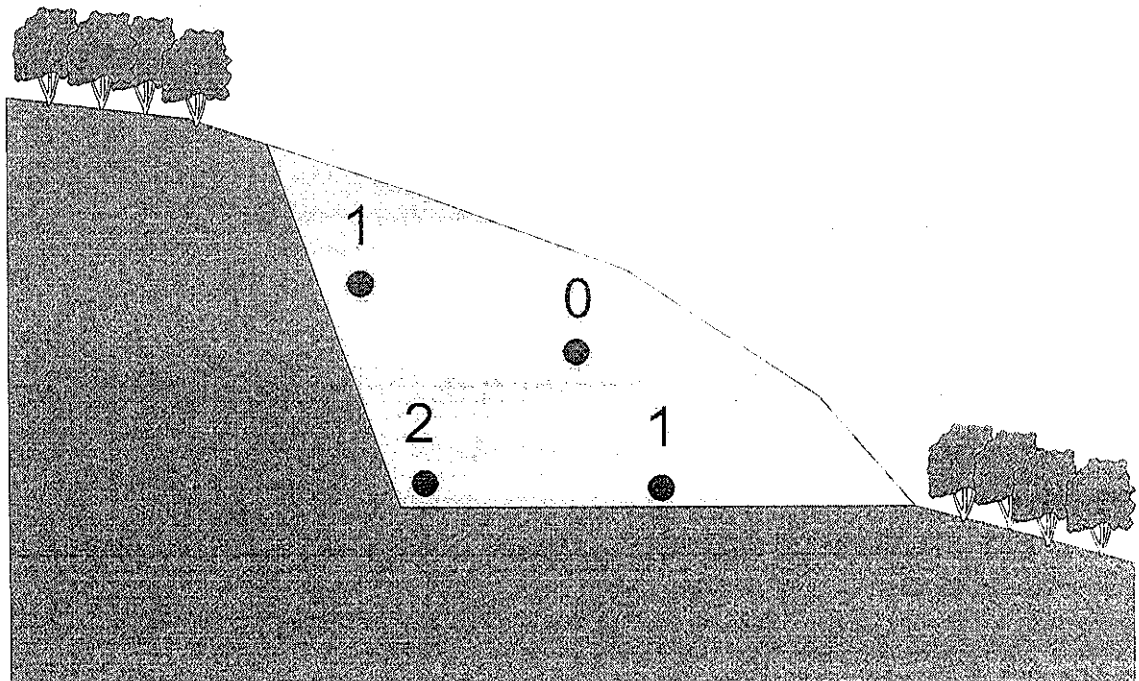


A MEDIA LADERA

## Tipos de excavaciones a media ladera



## Apertura de una pista de acceso o plataforma de trabajo

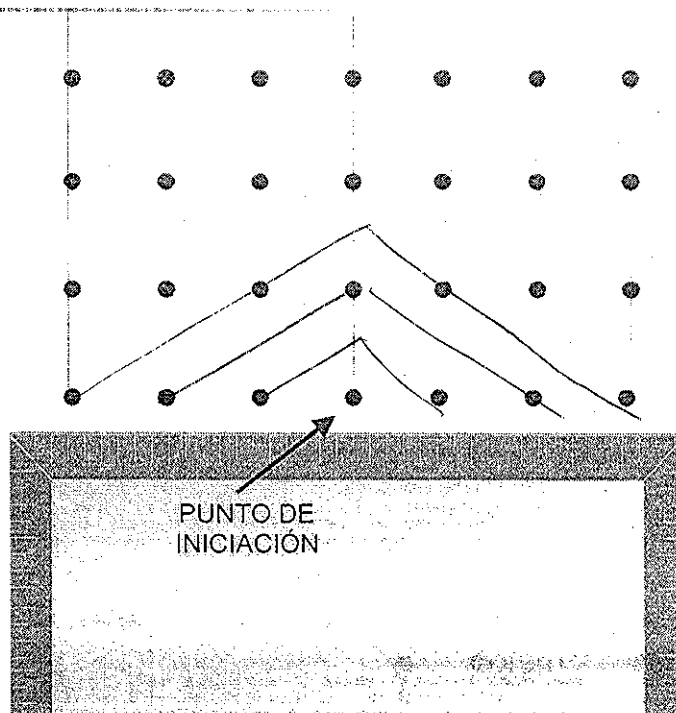


## Alturas mínimas de banco

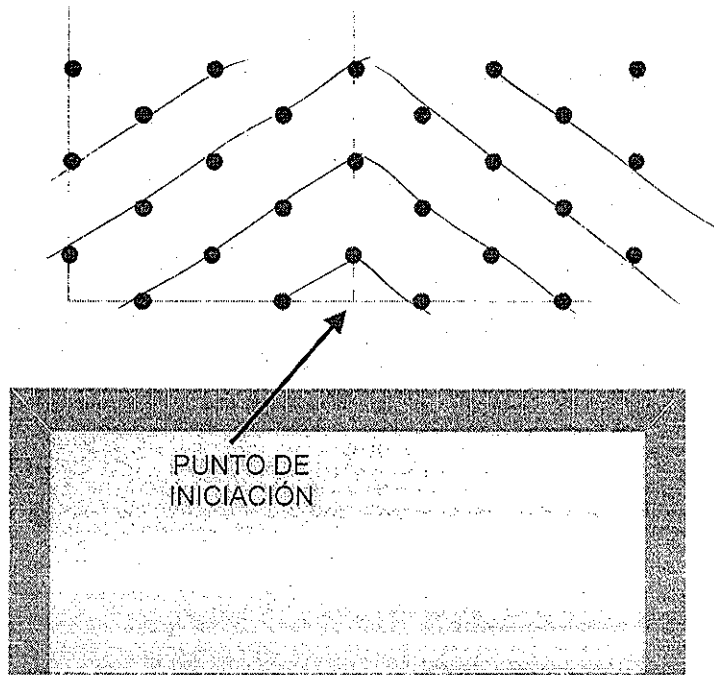
$$H/D > 75$$

- $D = 51 \text{ mm}$  ( $2 \frac{1}{2}$  pulg.)  $\Rightarrow$   $H_m = 4 \text{ m}$
- $D = 76 \text{ mm}$  (3 pulg.)  $\Rightarrow$   $H_m = 6 \text{ m}$

## Secuencia en V1



## Secuencia en V



## Secuencia en voladura mixta

