



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

CONSTRUCCION DE TUNELES

San José de Costa Rica

Ing. Jorge Huidobro Llabrés

20-31 octubre

1980

X 4.0.- MANO DE OBRA

< 4.1.- DETERMINACION DEL COSTO REAL.

Pro-forma que permite obtener el incremento que habrá de afectar a los Salarios Base, MÍNIMOS y No-MÍNIMOS de las diferentes categorías de trabajadores de acuerdo con los ordenamientos de las Legislaciones Laboral, del Instituto Mexicano del Seguro Social y Fiscal en vigor.

> 4.2.- CATALOGOS DE COSTO DE MANO DE OBRA POR ACTIVIDADES.

Se han diseñado pró-formas para cosiderar a todo el personal que habrá de tomar parte en las distintas operaciones que requiere la construcción de un túnel por el Procedimiento Convencional a base de explosivos.

Las tablas para el cálculo producen el costo de la unidad Cuadrilla/Turno: a tal costo de salarios habrá que agregar el costo de las herramientas de consumo y recuperables, el equipo de seguridad, y en su caso, las bonificaciones si su Empresa acostumbra hacerlo.

4.1.-DETERMINACION DEL COSTO REAL

1.-Incremento por prestaciones laborales:

Salario	=	365.00	días/año
Aguinaldo	=	15.00	" "
Otras: Prima Vac. 0.25 x 10	=	2.50	" "
Cuota sindical	=	7.65	" "
Baja por terminación	=	30.00	" "
		<u>420.15</u>	días/año

Días no laborados:	Domingos	52.00	días/año.
	Festivos	7.17	" "
	Vacaciones	10.00	" "
	Otros	16.00	" "
	S u m a	<u>85.17</u>	días/año

Tiempo laborado = 365 días - 85.17 días no laborados = 279.83 días/año

Incremento = $\frac{420.15 \text{ días percepción anual}}{279.83 \text{ días laborados/año}} - 1.0 = 0.50145$

2.-Incremento por Seguro Social:

a) Salario mínimo	=	$\frac{420.15 \text{ días percepción anual}}{279.83 \text{ días laborados/año}}$	x	0.196875	=	0.2956
a.1) Guardería	=	$\frac{365.00}{279.83}$	x	0.01	=	0.0130
b) Salarios no mínimos	=	$\frac{420.15}{279.83}$	x	0.159375	=	0.2393
b.1) Guardería	=	$\frac{365.00}{279.83}$	x	0.01	=	0.0130

R E S U M E N

	Salario mínimo	Salarios no mínimos
Salario base	1.00	1.00
Prestaciones	0.50145	0.50145
Seguro Social	0.3086	0.2523
Impuestos para educación	0.01	0.01
Impuesto Estatal y Municipal	0.0115	0.0115
INCREMENTO TOTAL =	<u>1.83155</u>	<u>1.77525</u>

4.2 .- CATALOGO DE COSTO DE MANO DE OBRA POR ACTIVIDADES

4.2.1 .- EXCAVACION DE TUNEL

a) FRENTE POR PORTAL

SALARIOS POR CUADRILLA

CATEGORIA .	N° DE PER - SONAS	SALARIO BASE	INCRE- MENTO	COSTO INDIVI- DUAL	COSTO TOTAL POR TURNO
Sobrestante General					
a) EN EL INTERIOR					
1.- Jefe de turno					
2.- Perforista					
3.- Rezagador					
4.- Maquinista					
5.- Electricista					
6.- Cabo de vía					
7.- Rielero					
8.- Tubero					
9.- Ayudante de perforista					
10.- " " rezagador					
11.- " " maquinista					
12.- " " electricista					
13.- " " tubero					
14.- Reportero/telefonista					
15.- Peón					
16.-					
17.-					
18.-					
19.-					
20.-					
b) EN EL EXTERIOR					
1.- Compresorista					
2.- Plantero					
3.- Sobrestante de maniobras					
4.- Maniobrista					
5.- Peón					
6.-					
7.-					
8.-					
9.-					
10.-					

SUMA = 5

(A)

NOTA: Los mecánicos y sus auxiliares se consideran cubiertos por las cuotas de mantenimiento y seguro de equipo.

EQUIPO DE SEGURIDAD/TURNO

Costo Costo equipo seguridad/cuadrilla \$ = \$ (B)
 Duración _____ turnos

HERRAMIENTA Y EQUIPO AUXILIAR/TURNO

a) Herramienta de consumo/cuadrilla \$ = " (C)
 Duración _____ turnos

b) Herramienta y equipo recuperable/cuadrilla \$ = " (D)
 _____ turnos

BONIFICACIONES/TURNO

(Algunos contratistas cargan al costo las Bonificaciones, no obstante que tales, son un estímulo para abatirlo: si usted acostumbra hacer éste cargo, fórmúlelo en el espacio que sigue:)

_____ (E)

COSTO TOTAL (A) + (B) + (C) + (D) + (E) = \$

4.2.1.- EXCAVACION DE TUNEL

b).- FRENTE POR LUMBRERA

SALARIOS POR CUADRILLA

CATEGORIA	N° DE PERSONAS	SALARIO BASE	INCREMENTO	COSTO INDIVIDUAL	COSTO TOTAL POR TURNO
Sobrestante General					
a) EN EL INTERIOR					
1.- Jefe de turno					
2.- Perforista					
3.- Rezagador					
4.- Maquinista					
5.- Electricista					
6.- Rielero					
7.- Tubero					
8.- Ayudante de perforista					
9.- " " rezagador					
10.- " " maquinista					
11.- " " electricista					
12.- " " tubero					
13.- Reportero/telefonista					
14.- Cabo de maniobras					
15.- Maniobrista					
16.- Peón					
17.-					
18.-					
19.-					
20.-					
b) EN EL EXTERIOR					
1.- Sobrestante de maniobras					
2.- Malacatero					
3.- Compresorista					
4.- Plantero					
5.- Maniobrista					
6.- Peón					
7.-					
8.-					
9.-					
10.-					

NOTA: Los mecánicos y sus auxiliares se consideran cubiertos por -- las cuotas de mantenimiento y seguro de equipo.

SUMA = \$

(A)

EQUIPO DE SEGURIDAD/TURNO

costo Costo equipo seguridad/cuadrilla \$ = \$ (B)
 Duración _____ turnos

HERRAMIENTA Y EQUIPO AUXILIAR/TURNO

a) Herramienta de consumo/cuadrilla \$ = (C)
 Duración _____ turnos

b) Herramientas y equipos recuperable/cuadrilla \$ = (D)
 _____ turnos

BONIFICACIONES/TURNO (Véase nota pág. 27)

_____ (E)

COSTO TOTAL (A) + (B) + (C) + (D) + (E) = \$

4.2.2.- ADEME

NOTA: Si su Empresa acostumbra ejecutar esta operación con el personal de excavación o con parte de él, cargue únicamente al supernumerario.

SALARIOS

CATEGORIA	Nº DE PERSONAS	SALARIO BASE	INCREMENTO	COSTO INDIVIDUAL	COSTO TOTAL POR TURNO
1.- Sobrestante de ademadores					
2.- Ademador					
3.- Lanzador de concreto					
4.- Operador					
5.- Soldador					
6.- Perforista					
7.- Ayudante de					
8.- Ayudante de					
9.- Ayudante de					
10.- Ayudante de					
11.-					
12.-					
13.-					
14.-					
15.-					
				SUMA = \$	(A)

EQUIPO DE SEGURIDAD/TURNO

costo $\frac{\text{Costo equipo de seguridad/cuadrilla } \$}{\text{Duración } \text{turnos}}$ (B)

HERRAMIENTA Y EQUIPO AUXILIAR

a) $\frac{\text{Herramienta de consumo/cuadrilla } \$}{\text{Duración } \text{turnos}}$ (C)

b) $\frac{\text{Herramientas y equipo recuperable } \$}{\text{turnos}}$ (D)

BONIFICACIONES/TURNO (Véase nota pág. 27)

COSTO TOTAL (A) + (B) + (C) + (D) + (E) = \$ (E)

4.2.3.- BOMBERO

NOTA: Se sugiere considerar al personal de bombeo (Sobrestante, electricista, tubero, bomberos, etc.) como a una cuadrilla autónoma cuya única misión es la de mantener seco al túnel; consiguientemente habrá ciertas personas como bomberos y electricistas que habrán de laborar Domingos y días festivos con el consiguiente pago de Tiempo Extra por lo que se tomaría como Salario Base el que resulte -- del Ordinario más la parte proporcional del Extra.

SALARIOS

CATEGORIA	N° DE PERSONAS	SALARIO BASE	INCREMENTO	COSTO INDIVIDUAL	COSTO TOTAL POR TURNO
1.- Sobrestante					
2.- Tubero					
3.- Electricista					
4.- Soldador					
5.- Bombero					
6.- Ayudante de					
7.- Ayudante de					
8.-					
9.-					
10.-					

SUMA = \$ (A)

EQUIPO DE SEGURIDAD POR TURNO

costo = $\frac{\text{Costo equipo de seguridad/cuadrilla \$}}{\text{Duración } \underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}}$ (B)

HERRAMIENTA Y EQUIPO AUXILIAR/TURNO

a) $\frac{\text{Herramienta de consumo/cuadrilla \$}}{\text{Duración } \underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}}$ (C)

b) $\frac{\text{Herramienta y equipo recuperable/cuadrilla \$}}{\underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}}$ (D)

HORIFICACIONES/TURNO (Véase nota pág. 27)

(E)

COSTO TOTAL (A) + (B) + (C) + (D) + (E) = \$

4.2.4.- REVESTIMIENTO DE CONCRETO

a).- FRENTE POR PORTAL

SALARIO POR CUADRILLA

CATEGORIA	N° DE PERSONAS	SALARIO BASE	INCRE- MENTO	COSTO INDIVI- DUAL	COSTO TOTAL POR TURNO
1.- Sobrestante General					
a) EN EL INTERIOR					
1.- Jefe de turno					
2.- Operador de bomba					
3.- Operador de					
4.- Operador de					
5.- Formero					
6.- Concretero					
7.- Maquinista					
8.- Electricista					
9.- Cabo de vía					
10.- Rielero					
11.- Tubero					
12.- Soldador					
13.- Ayudante de					
14.- " "					
15.- " "					
16.- " "					
17.- " "					
18.- Reportero/telefonista					
19.- Cabo de limpieza					
20.- Soldador					
21.- Peón					
22.-					
23.-					
b) EN EL EXTERIOR					
1.- Sobrestante de fabricación concreto					
2.- Operador planta de concreto					
3.- Operador de cargador					
4.- Operador de					
5.- Operador de					
6.- Laboratorista					
7.- Maniobrista					
8.- Peón					
9.-					
10.-					
11.-					

NOTA: Los mecánicos y sus auxiliares se consideran cubiertos por las cuotas de mantenimiento y seguro de equipo.

SUMA = \$

(A)

EQUIPO DE SEGURIDAD/TURNO

costo $\frac{\text{Costo equipo de Seguridad/cuadrilla \$}}{\text{Duración } \underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}} = \$ \quad (B)$

HERRAMIENTA Y EQUIPO AUXILIAR/TURNO

a) $\frac{\text{Herramienta de consumo/cuadrilla \$}}{\text{Duración } \underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}} = " \quad (C)$

b) $\frac{\text{Herramienta y equipo recuperable/cuadrilla \$}}{\underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}} = " \quad (D)$

BONIFICACIONES/TURNO (Véase nota pág. 27)

= " (E)

COSTO TOTAL (A) + (B) + (C) + (D) + (E) = \$ (F)

4.2.4.- REVESTIMIENTO DE CONCRETO

b).- FRENTE POR LUMBRERA

SALARIO POR CUADRILLA

CATEGORIA	N° DE PERSONAS	SALARIO BASE	INCREMENTO	COSTO INDIVIDUAL	COSTO TOTAL POR TURNO
1.- Sobrestante General					
a) EN EL INTERIOR					
1.- Jefe de turno					
2.- Operador de bomba					
3.- Operador de					
4.- Operador de					
5.- Formero					
6.- Concretero					
7.- Maquinista					
8.- Electricista					
9.- Cabo de vía					
10.- Rielero					
11.- Tubero					
12.- Soldador					
13.- Ayudante de					
14.- " "					
15.- " "					
16.- " "					
17.- " "					
18.- Reportero/telefonista					
19.- Cabo de limpieza					
20.- Soldador					
21.- Cabo de maniobras					
22.- Maniobrista					
23.- Peón					
24.-					
25.-					
b) EN EL EXTERIOR					
1.- Sobrestante de fabricación concreto					
2.- Malacatero					
3.- Operador planta de concreto					
4.- Operador de cargador					
5.- Operador de					
6.- Chofer					
7.- Laboratorista					
8.- Cabo de maniobras					
9.- Maniobrista					
10.- Peón					
11.-					
12.-					
13.-					

NOTA: Los mecánicos y sus auxiliares se consideran cubiertos por las cuotas de -- mantenimiento y seguro de equipo.

SUMA = \$

(A)

EQUIPO DE SEGURIDAD/TURNO

costo $\frac{\text{Costo Equipo de seguridad/cuadrilla } \$}{\text{Duración } \text{turnos}}$ = \$ (B)

HERRAMIENTA Y EQUIPO AUXILIAR/TURNO

a) $\frac{\text{Herramienta de consumo/cuadrilla } \$}{\text{Duración } \text{turnos}}$ = " (C)

b) $\frac{\text{Herramientas y equipo recuperable/cuadrilla } \$}{\text{turnos}}$ = " (D)

BONIFICACIONES/TURNO (Véase nota pág 27)

COSTO TOTAL (A) + (B) + (C) + (D) + (E) = \$ (E)

4.2.5.- INYECCIONES DE CONTACTO

SALARIO

CATEGORIA	Nº DE PERSONAS	SALARIO BASE	INCREMENTO	COSTO INDIVIDUAL	COSTO TOTAL POR TURNO
1.- Sobrestante de inyección					
2.- Perforista					
3.- Operador inyectora					
4.- Operador transporte					
5.- Ayudante de					
6.- Ayudante de					
7.- Peón					
8.-					
9.-					
10.-					

SUMA = \$ (A)

EQUIPO DE SEGURIDAD/TURNO

costo = $\frac{\text{Costo equipo de seguridad/cuadrilla \$}}{\text{Duración } \underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}}$ (B)

HERRAMIENTA Y EQUIPO AUXILIAR/TURNO

a) $\frac{\text{Herramienta de consumo/cuadrilla \$}}{\text{Duración } \underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}}$ (C)

b) $\frac{\text{Herramienta y equipo recuperable/cuadrilla \$}}{\text{ } \underline{\hspace{2cm}} \text{ turnos}}$ (D)

BONIFICACIONES/TURNO (Véase nota pág. 27)

(E)

COSTO TOTAL (A) + (B) + (C) + (D) + (E) = \$

X 5.0.- MAQUINARIA Y EQUIPO.

X 5.1.- DETERMINACION DEL COSTO HORARIO DE MAQUINARIA Y EQUIPO.

Pro-forma que deberá llenarse para cada tipo de máquina o equipo cuyo costo horario o diario, activa o en reserva, habrá de tener incidencia en la determinación del unitario.

5.2.- DETERMINACION DEL COSTO DE EQUIPO ELECTRICO.

Esta pro-forma se empleará para el objeto indicado en el anterior 3.1, para equipos tales como transformadores e interruptores de alta capacidad - cuyo elevado costo amerite un tratamiento particular.

5.3.- CATALOGO DE COSTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO.

En este Catálogo deberán aparecer los costos horarios en estado activo e - inactivo de todas las unidades de maquinaria y equipo que habrán de intervenir en la construcción: se ha formulado un pre-listado que pretende evitar omisiones, y se previó espacio para agregar otras.

5.1 DETERMINACION DEL COSTO HORARIO DE MAQUINARIA Y EQUIPO

MAQUINA _____ MARCA _____ MOD _____
 HP _____ ENERGIA _____ PESO _____ VALOR (Va) \$ _____
 VIDA ECONOMICA (Ve) _____ HRS _____ AÑOS RESCATE (Vr) _____
 TIEMPO ESTIMADO DE PERMANENCIA EN LA OBRA (Te) _____ AÑOS _____ HRS _____

CLAVE: D = Depreciación
 Ha = Horas trabajo/año
 i = Tasa de interés anual (%)
 S = Prima anual de Seguro (%)
 Dr = Duración del recurso (hrs)
 T = % horario de operación

Ka = Tasa de almacenaje (%)
 Q = Mantenimiento (%)
 F = Costo de fletes
 I = Costo de instalación y desmantelamiento
 C = Consumo

C A R G O	FORMULA	C A L C U L O	IMPORTE \$/ hora
C O S T O S M A Q U I N A O C I O S A	1.- Depreciación	$\frac{Va - Vr}{Ve}$	
	2.- Inversión	$\left(\frac{Va + Vr}{2Ha}\right) i$	
	3.- Seguros	$\left(\frac{Va + Vr}{2Ha}\right) S$	
	4.- Almacenaje	Ka D	
	5.- Mantenimiento	Q D	
	6.- Fletes y maniobras	$\frac{F}{Te}$	
	7.- Montaje y desmantelamiento	$\frac{I}{Te}$	
COSTO MAQUINA OCIOSA			
C O S T O S D E O P E R A C I O N	1.- Combustibles	$\frac{C}{Dr} S$	
	2.- Lubricantes	$\frac{C}{Dr} S$	
	3.- Filtros	$\frac{C}{Dr} S$	
	4.- Acumuladores	$\frac{C}{Dr} S$	
	5.- Cables	$\frac{C}{Dr} S$	
	6.- Dientes	$\frac{C}{Dr} S$	
	7.-	$\frac{C}{Dr} S$	
	8.-	$\frac{C}{Dr} S$	
	9.-	$\frac{C}{Dr} S$	
	10.-	$\frac{C}{Dr} S$	
NOTA: El personal de operación se carga en la cuadrilla correspondiente			
COSTO MAQUINA ACTIVA			

DETERMINACION DEL COSTO HORARIO DE EQUIPO ELECTRICO

TRANSFORMADOR DE _____ KVA de _____ V a _____ V, VALOR \$ _____
 INTERRUPTOR PARA _____ AMPS, a _____ V " " _____
 CAPACITOR _____ " " _____
 _____ " " _____
 _____ " " _____

VALOR TOTAL (Va) = \$ _____

VIDA ECONOMICA (Ve) _____ HRS _____ AÑOS, RESCATE (Vr) _____ \$
 TIEMPO ESTIMADO DE PERMANENCIA EN LA OBRA (Te) _____ HRS _____ AÑOS

- CLAVE: D = Depreciación
 Ha = Horas trabajo/año
 i = Tasa de interés anual (%)
 S = Prima anual de Seguro (%)
 Dr = Duración del recurso (hrs)
 T = % horario de operación
- Ka = Tasa de almacenaje (%)
 Q = Mantenimiento (%)
 F = Costo de fletes
 I = Costo de instalación y desmantelamiento
 C = Consumo

	CARGO	FORMULA	CALCULO	IMPORTE \$/hora
CARGOS FIJOS	1.- Depreciación	$\frac{Va-Vr}{Ve}$		
	2.- Inversión	$\left(\frac{Va+Vr}{2Ha}\right) i$		
	3.- Seguros	$\left(\frac{Va+Vr}{2Ha}\right) S$		
	4.- Almacenaje	Ka D		
	5.- Mantenimiento	Q D		
	6.- Fletes y maniobras	$\frac{F}{Te}$		
	7.- Montaje y desmantelamiento	$\frac{I}{Te}$		
COSTO DE EQUIPO OCIOSO				
CONSUMOS	1.- Aceite	$\frac{C}{Dr} S$		
	2.-	$\frac{C}{Dr} S$		
	3.-	$\frac{C}{Dr} S$		
	4.-	$\frac{C}{Dr} S$		
	5.-	$\frac{C}{Dr} S$		
	6.-	$\frac{C}{Dr} S$		
	7.-	$\frac{C}{Dr} S$		
COSTO DE EQUIPO ACTIVO				

5.3.- CATALOGO DE COSTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO

NOTA: Por cada máquina cotizada deberá presentarse el estudio correspondiente.

MAQUINA	COSTO HORARIO (\$)	
	OCIOSA	ACTIVA
1.0 .- EQUIPO FERROVIARIO		
1.1 .- Locomotora		
1.2 .- Locomotora		
1.3 .- Locomotora		
1.4 .- Vagoneta		
1.5 .- Vagoneta		
1.6 .- Plataforma plana		
1.7 .- Vagón para explosivos		
1.8 .- Vagón para pasajeros		
1.9 .- Cambio California		
1.10.-		
1.11.-		
1.12.-		
2.0 .- EQUIPO PARA EXCAVACION DE TUNEL		
2.1 .- Jumbo		
2.2 .- Jumbo		
2.3 .- Brazo		
2.4 .- Brazo		
2.5 .- Perforadora		
2.6 .- Perforadora		
2.7 .- Perforadora		
2.8 .- Perforadora		
2.9 .- Rompedora		
2.10.- Martillo		
2.11.- Rezagadora		
2.12.- Rezagadora		
2.13.- Rezagadora		
2.14.- Rezagadora		
2.15.- Piso extensible		
2.16.- "Cherry Picker"		
2.17.- "Car Passer"		
2.18.- Banda transportadora		
2.19.- Vagoneta de fondo móvil		
2.20.- Máquina perforadora de túneles		
2.21.- Máquina perforadora de túneles		
2.22.- Máquina perforadora de túneles		
2.23.- Máquina cargadora de explosivos		
2.24.- Malacate		
2.25.- Malacate		
2.26.-		
2.27.-		
2.28.-		
2.29.-		
2.30.-		

MAQUINA	COSTO HORARIO (\$)	
	OCIOSA	ACTIVA
3.0 .- EQUIPO PARA VENTILACION DE TUNEL		
3.1 .- Ventilador		
3.2 .- Ventilador		
3.3 .- Ventilador		
3.4 .- Válvula		
3.5 .- Válvula		
3.6 .- Filtro		
3.7 .- Filtro		
3.8 .-		
3.9 .-		
3.10.-		
4.0 .- EQUIPO PARA ADEMADO		
4.1 .- Lanzadora de concreto		
4.2 .- Lanzadora de concreto		
4.3 .- Perforadora		
4.4 .- Perforadora		
4.5 .-		
5.0 .- EQUIPO PARA GENERAR AIRE COMPRIMIDO		
5.1 .- Compresor		
5.2 .- Compresor		
5.3 .- Compresor		
5.4 .- Recipiente		
5.5 .- Recipiente		
6.0 .- EQUIPO PARA BOMBEO		
6.1 .- Bomba de Sumidero		
6.2 .- Bomba de Sumidero		
6.3 .- Bomba de Sumidero		
6.4 .- Bomba centrífuga		
6.5 .- Bomba centrífuga		
6.6 .- Bomba centrífuga		
6.7 .- Bomba centrífuga		
6.8 .- Bomba centrífuga		
6.9 .- Bomba centrífuga		
6.10.- Bomba centrífuga		
6.11.- Bomba de pozo profundo		
6.12.- Bomba de pozo profundo		
6.13.-		
6.14.-		
6.15.-		
7.0 .- EQUIPO PARA REVESTIMIENTO DE TUNEL		
7.1 .- Formas		
7.2 .- Formas		
7.3 .- Bomba		

MAQUINA	COSTO HORARIO (\$)	
	OCIOSA	ACTIVA
7.4 .- Bomba		
7.5 .- Colocador neumático		
7.6 .- Colocador neumático		
7.7 .- Banda transportadora		
7.8 .- vibrador		
7.9 .- vibrador		
7.10.- Carro agitador		
7.11.- Carro agitador		
7.12.- planta de concreto		
7.13.- planta de concreto		
7.14.- Cargador frontal		
7.15.-		
7.16.-		
7.17.-		
7.18.-		
7.19		
7.20.-		
8.0 .- EQUIPO PARA MANIOBRAS		
8.1 .- Grúa		
8.2 .- Grúa		
8.3 .- Grúa		
8.4 .- Monta cargas		
8.5 .- Monta cargas		
8.6 .-		
8.7 .-		
8.8 .-		
8.9 .-		
8.10.-		
9.0 .- EQUIPO PARA TRANSPORTES		
9.1 .- Camión		
9.2 .- Camión		
9.3 .- Camión		
9.4 .- Camión		
9.5 .- Camión		
9.6 .- Auto-tanque		
9.7 .- Auto-tanque		
9.8 .-		
9.9 .-		
9.10.-		
10.0 .- EQUIPO ELECTRICO		
10.1 .- Grupo electrógeno		
10.2 .- Grupo electrógeno		
10.3 .- Sub-estación		
10.4 .- Sub-estación		
10.5 .- Sub-estación		
10.6 .- Transformador		
10.7 .- Transformador		
10.8 .- Transformador		

MAQUINA	COSTO HORARIO (\$)	
	OIOSA	ACTIVA
10.9 .- Transformador		
10.10.- Transformador		
10.11.-		
10.12.-		
10.13.-		
10.14.-		
10.15.-		
11.0 .- EQUIPO DIVERSO		
11.1 .-		
11.2 .-		
11.3 .-		
11.4 .-		
11.5 .-		
11.6 .-		
11.7 .-		
11.8 .-		
11.9 .-		
11.10.-		
11.11.-		
11.12.-		
11.13.-		
11.14.-		
11.15.-		
11.16.-		
11.17.-		
11.18.-		
11.19.-		
11.20.-		

X 6.0.- DETERMINACION DEL COSTO DE CONDUCCIONES Y SERVICIOS.

Se han definido como Conducciones y Servicios a los que se detallarán a continuación, y cuya determinación de costo requerirá del previo establecimiento del programa en que se basará la Obra, y en algunos casos de proyectos específicos.

X 6.1.- VIAS FERREAS.

Requieren de los proyectos para los patios en los Portales y al pié de los Tiros Verticales, así como del Programa para poder prorratear el costo entre diferentes actividades.

X 6.2.- RED DE ALUMBRADO.

Las pro-formas permiten obtener su costo unitario por metro de túnel, mismo que deberá prorratearse entre las distintas actividades en función de la duración que determine el programa.

En el concepto "lámparas" se ha previsto para el avance el empleo de lámparas potentes, mismas que al irse consumiendo podrán sustituirse si se desea por otras de menor capacidad para mantener el alumbrado permanente a lo largo del túnel.

X 6.3.- RED TELEFONICA.

Requerirá también de un proyecto previo y del conocimiento del programa para los efectos de prorrateo.

X 6.4.- LINEAS PARA AGUA DE BARRENACION Y OTROS USOS DENTRO DEL TUNEL.

Igual que para el 6.3.

X 6.5.- AIRE COMPRIMIDO.

6.5.1.- DETERMINACION DE LA DEMANDA MAXIMA INSTANTANEA.

N° DE MAQUINAS (Col.1): Cantidad de máquinas del mismo tipo capaces de trabajar simultáneamente.

UTILIZACION (Col.2): % del turno que trabajarían

DIVERSIDAD (Col.3): % de diversificación de trabajo simultaneo según estadísticas o propia experiencia.

6.5.2.- DETERMINACION DEL COSTO DE PLANTAS COMPRESORAS DE AIRE.

Esta Tabla deberá llenarse para cada Frente tanto para la actividad de Excavación como para la de Revestimiento de Concreto que son las principales:

La DEMANDA DE AIRE PCN, se habrá obtenido previamente de 6.5.1

MAQUINA COMPRESORA:

CANTIDAD (Col.1): Número de máquinas iguales en operación o en reserva.

ACTIVA ó RESERVA: Anotar número de máquinas ó fracción decimal en tal situación.

PERMANENCIA:

HORAS: Multiplicar días hábiles por el número de horas

diarias que se pretenda operar la máquina

CONSUMO ENERGIA:

% PLENA CARGA (Col.5): % del tiempo de operación en que el motor estaría desarrollando su máxima potencia.

6.5.3.-TUBERIAS PARA AIRE COMPRIMIDO.

De acuerdo con la demanda máxima establecida para cada frente, y de acuerdo también con la longitud, aplicar, si se desea, la fórmula que se anota. La prorrata de cargos será también en función del programa.

X 6.6 .-VENTILACION.

Definir el plan de ventilación que se propone y proseguir de acuerdo.

6.6.1.- Determinar necesidades de aire fresco por frente

6.6.2.- Si se desea puede emplearse la fórmula que se incluye; pero podrán también los diámetros de las tuberías ser determinados mediante tablas o gráficas de los fabricantes.

6.6.3.- Mismo caso que 6.6.2.

6.6.4.- Para la obtención del costo resumir información.

X 6.7 .-SISTEMA ELECTRICO.

Habrá que proyectar el sistema para poder cubrir la información necesaria para el Plan General.

6.7.1.- DETERMINACION DE LA CARGA ELECTRICA MAXIMA POR FRENTE.

Emplear una forma por Frente y por actividad principal: la máxima proporcionará la información necesaria para determinar capacidades de transformadores y calibre de conductores principales para ese frente en particular

6.7.2.- TRANSFORMADORES PARA SUB-ESTACIONES ELECTRICAS.

Se determinarán con base en 6.7.1, para la sub-estación de cada frente.

6.7.3.- Llenando la Tabla con los datos de consumo previamente determinados, se obtendrá la carga en Amperes, y a partir de ésta, el calibre del conductor.

6.7.4.- RESUMEN DE COSTO.

Obtener costo y prorratearlo en función del programa.

6.1.- VIAS FERREAS

I.- PLAN GENERAL.

1.- La vía será de _____ cm. de escantillón construída con riel de _____ apoyada sobre durmiente de _____ con curvas de _____ metros de radio mínimo.

2.- Se instalarán cambios fijos del N° _____ a cada _____ m aproximadamente.

3.- El patio en el Portal de Entrada tendrá un desarrollo aproximado de _____ m y constará de _____ laderos y _____ espuelas equipados con cambios del N° _____.

4.- En cada cruceo de Lumbra se construirá un desarrollo de vía de _____ m con cambios del N° _____.

5.- El patio en el Portal de Salida tendrá un desarrollo aproximado de _____ m y constará de _____ laderos y _____ espuelas equipados con cambios del N° _____.

6.- _____

II.- COSTO

A.- MATERIALES PARA VIA SENCILLA:

1.- Riel	a \$ _____	= \$ _____/m
	_____ m vía	
2.- Durmientes	a \$ _____	= \$ _____/m
	_____ m vía	
3.- Clavo de vía	a \$ _____	= \$ _____/m
	_____ m vía	
4.- Planchuelas	a \$ _____	= \$ _____/m
	_____ m vía	
5.- Tornillería	a \$ _____	= \$ _____/m
	_____ m vía	
6.- _____	a \$ _____	= \$ _____/m
	_____ m vía	
7.- _____	a \$ _____	= \$ _____/m
	_____ m vía	

COSTO DE MATERIALES PARA VIA SENCILLA = \$ _____

B.- MATERIALES PARA CAMBIOS

1.- Cambio N° _____ completo	= \$ _____/jgo.
Durmientes para cambio N° _____	= \$ _____/jgo.
COSTO CAMBIO N° _____	= \$ _____/jgo.

2.- Cambio N° _____ completo = \$ _____ /lgo.
 Durmientes para cambio N° _____ = " _____ "
 COSTO CAMBIO = " _____ "

3.- Cambio N° _____ completo = " _____ "
 Durmientes para cambio N° _____ = " _____ "
 COSTO CAMBIO = " _____ "

C.- COSTO DE MATERIALES POR METRO DE TUNEL

Longitud total de vía:

Longitud neta del túnel = _____ m
 Patio de entrada = _____ "
 Cruceros en lumbreras = _____ "
 Patio de salida = _____ "
 Laderos en cambios fijos = _____ "
 SUMA = _____ "

COSTO VIA SENCILLA = _____ m a \$ _____ /m = \$ _____

COSTO CAMBIOS

Cambios N° _____ Pza a \$ _____ /lgo. = \$ _____
 Cambios N° _____ " " " _____ " = " _____
 Cambios N° _____ " " " _____ " = " _____

COSTO TOTAL DE CAMBIOS = \$ _____ = \$ _____

COSTO TOTAL: = \$ _____

COSTO UNITARIO: \$ _____ total materiales = \$ _____ /m
n.de long. neta

D.- MANO DE OBRA Y EQUIPO (incluida en la cuadrilla correspondiente)

E.- COSTO UNITARIO DE VIAS = \$ _____ /m

F.- PRORRATA DEL COSTO UNITARIO

Duración de la excavación = _____ días/frente = _____ %
 " del revestimiento = _____ " = _____ "
 " de _____ = _____ " = _____ "
 SUMAS = _____ días/frente = 100.00 %

CARGO A EXCAVACION = \$ _____ /m X _____ % = \$ _____ /m

CARGO A REVESTIMIENTO = \$ _____ /m X _____ % = \$ _____ /m

CARGO A _____ = \$ _____ /m X _____ % = \$ _____ /m

6.2.- RED DE ALUMBRADO

PLAN GENERAL

El alumbrado en el interior del túnel y lumbreras será a base de lámparas _____ instaladas a _____ m de separación promedio.

Se estimará la duración media de cada lámpara en _____ hrs. ó _____ días de calendario, incluyendo las que se rompan.

En el frente de perforación se instalarán lámparas de _____ watts, las que al consumirse se sustituirán por lámparas de _____ watts.

Se empleará una tensión de _____ Volts y la línea conductora será de _____ hilos en calibre _____ soportada por _____ a cada _____ m.

Los transformadores reductores de _____ KVA se instalarán a cada _____ m promedio

COSTO

I.- MATERIALES

1.- Longitud de la línea conductora para alumbrado:

horizontal = _____ m
vertical = _____ m
SUMA = _____ m a \$ _____ /m = \$ _____

2.- Soportes = _____ m long. total _____ pza a \$ _____ = \$ _____
_____ m separación

3.- Pantallas = _____ m long. total x _____ pza.
_____ m entre lámpa.
Costo: _____ pza. a \$ _____ /pza. = \$ _____

4.- Materiales aislantes _____ m línea a \$ _____ /m línea = \$ _____

5.- Lámpara de _____ watts en el frente
\$ _____ /lámpara x _____ m long. túnel = \$ _____
_____ m separación/lámpara

Reposiciones con lámparas de _____ watts
_____ días duración obra x N° lámparas _____ pza
_____ días duración lámparas x _____ 2 = _____ pza
Costo: _____ pza. a \$ _____ /pza. = \$ _____

II.- MANO DE OBRA (Incluida en cuadrilla correspondiente)

III.- EQUIPO

Transformador reductor
_____ m long. línea x \$ _____ cargo/transformador = \$ _____
_____ m sep. entre transformadores x 2
COSTO TOTAL = \$ _____

$$\text{COSTO UNITARIO} = \$ \frac{\text{costo total}}{\text{m de túnel}} = \$ \text{_____}^{\text{m}}$$

6.3.- RED TELEFONICA

PLAN GENERAL

- 1.- Estaciones en el interior del túnel: _____
- 2.- Estaciones exteriores: _____
- 3.- Intercomunicación exterior entre: _____
- 4.- Tipo de comunicación: _____

COSTO

I.- MATERIALES

- 1.- Cable conductor de _____ pares: _____ m a \$ _____ = \$ _____
- 2.- Cable conductor de _____ pares: _____ m a \$ _____ = \$ _____
- 3.- Cable conductor de _____ pares: _____ m a \$ _____ = \$ _____
- 4.- Cable conductor de _____ pares: _____ m a \$ _____ = \$ _____
- 5.- Alambre _____ m a \$ _____ = \$ _____
- 6.- Soportes de línea _____ pza a \$ _____ = \$ _____
- 7.- Postes completos _____ pza a \$ _____ = \$ _____
- 8.- Material aislante y diversos _____ lote a \$ _____ = \$ _____
- 9.- _____ = \$ _____
- 10.- _____ = \$ _____

II.- MANO DE OBRA (Considerada en cuadrilla correspondiente)

III.- EQUIPO

- 1.- Aparatos telefónicos = _____ pza.
 Más reserva = _____ pza.
 SUMA = _____ pza. a \$ _____ = \$ _____
- 2.- Conmutador _____ a \$ _____ = \$ _____
- COSTO TOTAL = \$ _____
- COSTO UNITARIO: \$ $\frac{\text{costo total}}{\text{m de túnel}}$ = \$ _____ /m

IV.- CARGO PRORRATEADO

1.- Excavación	_____ días	_____ %	= \$ _____ /m.
2.- Revestimiento	_____ "	_____ "	= " _____ "
3.- _____	_____ "	_____ "	= " _____ "
SUMAS	días	100.00 %	

6.4.- LINEAS DE AGUA PARA BARRENACION Y OTROS USOS DENTRO DEL TUNEL

PLAN GENERAL:

- 1.- Para el frente del Portal de Entrada el agua se obtendrá _____

- 2.- Para el frente de la Lumbrera N°1 el agua se obtendrá _____

- 3.- Para el frente de la Lumbrera N°2 el agua se obtendrá _____

- 4.- Para el frente del Portal de Salida del agua se obtendrá _____

- 5.- Cada frente requerirá un gasto de agua de _____ a una presión mínima de -
 _____ Kg/cm², que se conducirá con tubería _____
 con juntas _____ y válvulas de seccionamiento tipo _____
 _____ instaladas a cada _____ m.
- 6.- Las longitudes de tubería previstas para cada frente son:

Frente N°1:	_____	m
" N°2:	_____	"
" N°3:	_____	"
" N°4:	_____	"
" N°5:	_____	"
" N°6:	_____	"
SUMA	=	_____ m

- 7.- Los soportes para la tubería serán _____
 instalados a cada _____ m.
- 8.- El agua se suministrará empleando: _____ Equipos Hidroneumáticos
 _____ " de flotador interruptor
 _____ " de acción manual
 _____ Acción de la gravedad

9.- _____

COSTO:

A.- MATERIALES

1.- Tubería	=	_____ m a \$ _____	= \$ _____
2.- Tubería	=	_____ " " " _____	= " _____
3.- Juntas		$\frac{\text{m tubería}}{\text{m entre juntas}}$ pza " "	= " _____
4.- Juntas		$\frac{\text{m tubería}}{\text{m entre juntas}}$ " " "	= " _____
5.- Válvulas de seccionamiento		$\frac{\text{m tubería}}{\text{m entre válv.}}$ " " "	= " _____
6.- Válvulas de seccionamiento		$\frac{\text{m tubería}}{\text{m entre válv.}}$ " " "	= " _____
7.- Soportes		$\frac{\text{m long. de línea}}{\text{m de separación}}$ " " "	= " _____
8.-		_____	_____
9.-		_____	_____

SUMA = \$ _____

B.- MANO DE OBRA: (Incluida en la cuadrilla correspondiente)

C.- EQUIPO:

1.- Equipo de bombeo	=	_____ días-frente X _____ % operación X _____ unids. X \$ _____ /día	= \$ _____
2.- Equipo de bombeo	=	_____ días-frente X _____ % operación X _____ unids. X \$ _____ /día	= \$ _____
3.- Equipo de bombeo	=	_____ días-frente X _____ % operación X _____ unids. X \$ _____ /día	= \$ _____
4.- Transformador reductor con accesorios de reserva	=	_____ días-frente X _____ unids. X \$ _____ /día	= \$ _____
5.-		_____	_____

SUMA = \$ _____

D.- CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA:

El consumo de energía eléctrica lo da la fórmula:

$$\text{Kw-hr} = \frac{Q(l./\text{seg}) \times h(\text{metros}) \times 0.009803 \times \text{hrs.}}{D. \text{ eficiencia}}$$

Consumos:

Frete N°1	_____	lts/seg X	m. X 0.009803 X	días X 24 hrs	_____	KW-hr
			0. _____	ef.		
Frete N°2	_____	lts/seg X	m. X 0.009803 X	días X 24 hrs	_____	"
			0. _____	ef.		
Frete N°3	_____	lts/seg X	m. X 0.009803 X	días X 24 hrs	_____	"
			0. _____	ef.		
Frete N°4	_____	lts/seg X	m. X 0.009803 X	días X 24 hrs	_____	"
			0. _____	ef.		
Frete N°5	_____	lts/seg X	m. X 0.009803 X	días X 24 hrs	_____	"
			0. _____	ef.		
Frete N°6	_____	lts/seg X	m. X 0.009803 X	días X 24 hrs	_____	"
			0. _____	ef.		
				SUMA	_____	KW-hr

CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA: _____ KW-hr
 _____ m de túnel Kw-hr/m

RESUMEN DE COSTO

MATERIALES = \$ _____
 EQUIPO = \$ _____
 SUMA = \$ _____

COSTO UNITARIO \$ _____ costo total = \$ _____ /m
 _____ m de túnel

Más _____ KW-hr/m

V.- CARGO PRORRATEADO

1.- Excavación	=	_____ días	=	_____	=	\$ _____ /m	mês	_____ KW-hr/m
2.- Revestimiento	=	_____ "	=	_____ "	=	_____ "	"	_____ "
3.- _____	=	_____ "	=	_____ "	=	_____ "	"	_____ "
SUMAS	=	_____ días	=	100.00%	=	\$ _____ /m	mês	_____ KW-hr/m

6.5 .- AIRE COMPRIMIDO

PLAN GENERAL: Se instalarán plantas compresoras sencillas para los frentes N°s _____ y planta(s) doble(s) para el (los) Frente(s) N°(s) _____

6.5.1.- DETERMINACION DE LA DEMANDA MAXIMA INSTANTANEA DE AIRE COMPRIMIDO

APLICACION	FRETE SENCILLO					FRETE DOBLE				
	N° DE MAQUINAS	UTILIZACION	DIVERSIDAD	CONSUMO S/FABRICANTE	CONSUMO REAL PCM	N° DE MAQUINAS	UTILIZACION	DIVERSIDAD	CONSUMO S/FABRICANTE	CONSUMO REAL PCM
	①	②	③	④	①x②x③x④	①	②	③	④	①x②x③x④
I.- DURANTE EXCAVACION:										
1.- Perforadoras										
2.- Perforadoras										
3.- Martillos										
4.- Lanzadora de concreto										
5.- Bomba de lodos										
6.- Generador										
7.-										
8.-										
9.-										
10.-										
SUMAS										
MAS FUGAS										
DEMANDA (PCM)										
II.- DURANTE EL REVESTIMIENTO										
1.- Colocador neumático de concreto										
2.- Vibradores										
3.- Martillos										
4.- Perforadoras										
5.- Bomba de lodos										
6.- Sopleteado										
7.- Inyectora de lechada										
8.-										
9.-										
10.-										
SUMAS										
MAS FUGAS										
DEMANDA (PCM)										

6.5.2.- DETERMINACION DEL COSTO DE PLANTAS COMPRESORAS DE AIRE

EXCAVACION
 REVESTIMIENTO

F R E N T E	DEMANDA AIRE PCM	MAQUINA COMPRESORA				PERMANENCIA		CONSUMO ENERGIA			COSTO (\$)	
		CANTI- DAD ①	CAPACIDAD PCM	ACTIVA O RESERVA	H P. MOTOR ②	DIAS HABILES ③	HORAS ③ X = ④	PLENA CARGA ⑤	KW-HORA= = ① X ② X ④ X ⑤ X 0.746		HORA ⑥	TOTAL= ④ X ⑥

RESUMEN DE COSTO DE PLANTAS COMPRESORAS DE AIRE

1.- PARA EXCAVACION

	COSTO	CONSUMO ENERGIA
Portal de entrada	\$	KW-hr
Lumbrera N°1	"	"
Lumbrera N°2	"	"
Portal de salida	"	"
SUMAS	\$	KW-hr

2.- PARA REVESTIMIENTO

	COSTO	CONSUMO ENERGIA
Portal de entrada	\$	KW-hr
Lumbrera N°1	"	"
Lumbrera N°2	"	"
Portal de salida	"	"
SUMAS	\$	KW-hr

6.5.3.- TUBERIAS PARA AIRE COMPRIMIDO

1.- Determinación de diámetros de tubería

Empleando la Fórmula (Paq.10-23) del Tomo III del Manual Sobre el cálculo de Precios Unitarios de la SARH.

$$f = \frac{C L Q^2}{rd^5}$$

- donde: f = Pérdida admisible de presión manométrica en psi
- L = Longitud de la tubería de conducción en piés
- Q = Caudal de aire libre expresado en piés cúbicos por SEGUNDO
- r = Relación de compresión
- d = Diámetro interior de la tubería en pulgadas
- C = Coeficiente experimental para tubería de acero = $\frac{0.1025}{d^{0.31}}$

de donde

$$d = \sqrt[5]{\frac{5.31 \cdot 0.1025 \cdot L \cdot Q^2}{f \cdot r}}$$

a) Para frente portal de entrada:

- L = _____ m = _____ piés
- Q = _____ PCM = _____ PCS
- f = _____ psi
- r = $\frac{14.7 \text{ psi} + \text{_____ psi}}{14.7 \text{ psi}}$

$$d = \sqrt[5]{\frac{5.31 \cdot 0.1025 \cdot \text{_____ psi} \cdot \text{_____ X}}{\text{_____ psi} \cdot \text{_____}}} = \text{_____ "Ø: práctico"}$$

b) Para Frente Lumbreira N°1 a L-2

L vertical = m = piés
 L horizontal = m = piés
 Q = PCM = PCS
 f y r determinados para caso anterior

$$\therefore d = \sqrt[5.31]{\frac{0.1025 \times X \times X}{\text{psi} \times X}} = \text{---} \text{ " } \phi : \text{ práctico } = \text{---} \text{ " } \phi$$

c) Para Frente (s) Lumbreira N°2

L horizontal de Lumbreira N°2 a Lumbreira N°1 = m = piés
 L horizontal de Lumbreira N°2 a Portal de salida = m = piés
 L vertical = m = piés

Frente L-2 a L-1:

L = piés
 Q₁ = PCM = PCS
 f y r determinados para caso anterior

$$\therefore d = \sqrt[5.31]{\frac{0.1025 \times X \times X}{\text{psi} \times X}} = \text{---} \text{ " } \phi : \text{ práctico } = \text{---} \text{ " } \phi$$

Frente L-2 - Portal de Salida

L = piés
 Q₂ = PCM = PCS
 f y r determinado para caso anterior

$$\therefore d = \sqrt[5.31]{\frac{0.1025 \times X \times X}{\text{psi} \times X}} = \text{---} \text{ " } \phi : \text{ práctico } = \text{---} \text{ " } \phi$$

Columna vertical para frente(s)

L = piés
 Q = (Q₁ + Q₂) X = PCM = PCS
 f = psi
 r = $\frac{14.7 \text{ psi} + \text{psi}}{14.7 \text{ psi}}$

$$\therefore d = \sqrt[5.31]{\frac{0.1025 \times X \times X}{\text{psi} \times X}} = \text{---} \text{ " } \phi : \text{ práctico } = \text{---} \text{ " } \phi$$

d) Frente Portal de Salida - L2

L = m = piés
 Q = PCM = PCS
 f y r determinados para caso anterior

$$\therefore d = \sqrt[5.31]{\frac{0.1025 \times X \times X}{\text{psi} \times X}} = \text{---} \text{ " } \phi : \text{ práctico } = \text{---} \text{ " } \phi$$

2.- Costo de tubería y accesorios

a) Materiales

Tubo de acero céd.	_____ de _____	" ϕ = _____ m a \$ _____/m	= \$ _____
" " " "	_____ " _____	" ϕ = _____ " " "	" _____
" " " "	_____ " _____	" ϕ = _____ " " "	" _____
Juntas	_____ de _____	" ϕ : _____ m.tubería	Pza a \$ _____ = "
		_____ /m. sep.	
Juntas	_____ de _____	" ϕ : _____ m tubería	" " " _____ = "
		_____ /m. sep.	
Juntas	_____ de _____	" ϕ : _____ m tubería	" " " _____ = "
		_____ /m. sep.	
Válvula de Seccionamiento	_____ " ϕ : _____	m.tubería	Pza a \$ _____ = "
		_____ /m. sep.	
" " "	_____ " ϕ : _____	m.tubería	" " " _____ = "
		_____ /m. sep.	
" " "	_____ " ϕ : _____	m tubería	" " " _____ = "
		_____ /m. sep.	
Piezas especiales para tubería de	_____ " ϕ : 1 lote a \$ _____		" "
" " " " " "	_____ " ϕ : 1 " " "		" "
" " " " " "	_____ " ϕ : 1 " " "		" "
Soporte para tubería:	_____ m.tubería.	Pza " "	" "
	_____ /m. sep.		" "

Otros materiales

SUMA

= \$ _____

PRORRATEO:

Cargos a excavación:	\$ _____	X _____ días	= \$ _____
		_____ días	
Cargo a revestimiento:	\$ _____	X _____ días	= \$ _____
		_____ días	
Cargo a _____:	\$ _____	X _____ días	= \$ _____
		_____ días	

6.5.4.- COSTO DE AIRE COMPRIMIDO

1.- Para Excavación de túnel

a) Compresoras = \$ _____ más _____ KW - hr

b) Tuberías = \$ _____

COSTO TOTAL = \$ _____ más _____ Kw - hr

COSTO UNITARIO = \$ $\frac{\text{costo total}}{\text{m. de túnel}}$ = \$ _____ m.

más $\frac{\text{Kw - hr}}{\text{m. de túnel}}$ = _____ Kw - hr/m.

2.- Para revestimiento de túnel:

a) Compresoras = \$ _____ más _____ Kw - hr

b) Tuberías = \$ _____

COSTO TOTAL = \$ _____ más _____ Kw - hr

COSTO UNITARIO = \$ $\frac{\text{costo total}}{\text{m. de túnel}}$ = \$ _____ m.

más $\frac{\text{Kw - hr}}{\text{m. de túnel}}$ = _____ Kw - hr/m

6.6 - VENTILACION

PLAN QUE SE PROPONE: Inyección
 Succión
 Ambas alternadas
 Ventiladores en el exterior
 Ventiladores sobre la línea

Tipo de tubería _____
 en tramos de _____ m.

Tipo de juntas _____

6.6.1.- NECESIDADES DE AIRE POR FRENTE: (según Especificaciones)-

Por cada persona = 50 PCM
 Por cada motor de combustión interna = 50 PCM/HP

DEMANDAS POR FRENTE

1.- Por frente de Portal: _____ personas X 50 PCM/persona = _____ PCM
 _____ locomotoras X _____ HP = _____ HP
 _____ locomotoras X _____ HP = _____ HP
 _____ locomotoras X _____ HP = _____ HP
 SUMA = _____ HP X 50 PCM = _____ PCM
 SUMA = _____ PCM

Más _____ % de fugas en tubería = _____ PCM
 Demanda total de aire fresco = _____ PCM

2.- Por frente de lumbrera: _____ personas X 50 PCM/persona = _____ PCM
 _____ locomotoras X _____ HP = _____ HP
 _____ locomotoras X _____ HP = _____ HP
 _____ locomotoras X _____ HP = _____ HP
 SUMA = _____ HP X 50 PCM = _____ PCM
 SUMA = _____ PCM

Más _____ % de fugas en tubería = _____ PCM
 Demanda total de aire fresco = _____ PCM

6.6.2.- DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA PARA VENTILACION

Existen diagramas y tablas para el efecto, pero si se desea puede emplearse la siguiente fórmula aproximada de uso general:

$$h = \frac{0.0017 Q^2 l}{D^5}$$

donde: h = carga estática en pulgadas de agua (wg)
 Q = gasto de aire libre en PCM
 l = longitud de tubería entre ventiladores en metros
 D = diámetro de la tubería en pulgadas

Se determinará el diámetro para Q y l máximos.

$$D = \sqrt[5]{\frac{0.0017 \times Q^2 \times l}{h}} \quad , \text{ y sustituyendo por valores}$$

$$D = \sqrt[5]{\frac{0.0017 \times \text{PCM} \times \text{m}}{\text{wg}}} = \text{_____ pulgadas}$$

D práctico = _____ pulgadas

COSTO DE LA TUBERIA

Tubo de _____ de _____ pulgadas de diámetro

Longitud horizontal = _____ m.

Longitud vertical = _____ m.

Longitud total = _____ m.

Costo: _____ m. a \$ _____ /m. = \$

Costo piezas especiales 1 Lote a \$ _____ = \$

Juntas: _____ m. tubería _____ Pza a \$ _____ = \$
 _____ m. sep.

Anclajes: _____ m. tubería _____ Pza a \$ _____ = \$
 _____ m. sep.

COSTO TOTAL = \$

COSTO UNITARIO = \$ _____ costo total = \$ _____ /m. de túnel
 _____ m. túnel

6.6.3.- VENTILADORES

La carga total contra la que trabaja un ventilador es la carga estática (h_s) más la carga de velocidad (h_v) ambas en pulgadas de agua (wg) y puede obtenerse de fórmulas y graficas de los fabricantes o de la siguiente expresión:

$$H = h_s + h_v = \frac{0.0017 Q^2 l}{D^5} + \left(\frac{Q}{21.84 D^2} \right)^2$$

y la potencia necesaria de la fórmula:

$$BHP = \frac{Q \times H}{6350 \times \eta \text{ ef. total}}$$

En donde: H = carga total en pulgadas de agua (wg)

Q = gasto de aire en PCM

l = longitud de la tubería entre ventiladores en metros

D = diámetro de la tubería en pulgadas

A.- Ventiladores sobre la línea de ventilación

Separación que se propone = _____ m. entre ventiladores

1.- Portal de entrada: l = _____ m.

Q = _____ PCM

D = _____ pulgadas

programa = _____ días háb.

$$H = \frac{0.0017 \left(\frac{\text{PCM}}{\text{in}} \right)^2 \times \text{m}}{(\text{in})^5} + \left(\frac{\text{PCM}}{21.84 (\text{in})^2} \right)^2 = \text{w.g.}$$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{PCM} \times \text{wg}}{6350 \times 0. \text{ef. total}} = \text{bHP; práctico} \text{ HP}$$

Cargo por ventiladores y accesorios eléctricos:

$$\text{Unidades necesarias} = \frac{\text{m long}}{\text{m sep}} = \text{U.} = \text{unidades}$$

$$\text{Más reserva} = \text{unidades}$$

$$\text{SUMA} = \text{unidades}$$

$$\text{Costo} = \frac{\text{U.}}{2} \times \text{bHP} \times 0.746 \text{ KW} \times \text{días háb} \times \text{hrs/día} = \text{KW-hr}$$

2.- Lumbreira N°1: $l = \text{m.}$
 $Q = \text{PCM}$
 $D = \text{pulgadas}$
 Programa = días háb.

$$H = \frac{0.0017 \left(\frac{\text{PCM}^2 \times \text{m}}{(\text{in})^5} \right) + \left(\frac{\text{PCM}}{21.84 (\text{in})^2} \right)^2}{\text{wg}}$$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{PCM} \times \text{wg}}{6350 \times 0. \text{ef. total}} = \text{bHP; práctico} \text{ HP}$$

Cargo por ventiladores y accesorios eléctricos:

$$\text{Unidades necesarias} = \frac{\text{m long}}{\text{m sep}} = \text{U.} = \text{unidades}$$

$$\text{Más reserva} = \text{unidades}$$

$$\text{SUMA} = \text{unidades}$$

$$\text{Costo} = \frac{\text{U.}}{2} \times \text{días háb} \times \text{hrs/día} \times \$ \text{ /hora} = \$$$

Consumo de energía:

$$= \frac{\text{U.}}{2} \times \text{bHP} \times 0.746 \text{ KW} \times \text{días háb} \times \text{hrs/día} = \text{KW-hr}$$

3.- Lumbreira N°2

a) L2-L1 $l = \text{m.}$
 $Q = \text{PCM}$
 $D = \text{pulgadas}$
 Programa = días háb.

$$H = \frac{0.0017 \left(\frac{\text{PCM}^2 \times \text{m}}{(\text{in})^5} \right) + \left(\frac{\text{PCM}}{21.84 (\text{in})^2} \right)^2}{\text{wg}}$$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{PCM} \times \text{wg}}{6350 \times 0. \text{ef. total}} = \text{bHP; práctico} \text{ HP}$$

Cargo por ventiladores y accesorios eléctricos:

$$\text{Unidades necesarias} = \frac{\text{m long}}{\text{m sep}} = \text{U.} = \text{unidades}$$

$$\text{Más reserva} = \text{unidades}$$

$$\text{SUMA} = \text{unidades}$$

Costo = $\frac{U}{2}$ x días háb. x hrs./día x \$ /hora = \$
 Consumo de energía:

= $\frac{U}{2}$ x BHP x 0.746 KW x días háb. x hrs./día = KW-hr

b) L2 - PS l = _____ m
 Q = _____ PCM
 D = _____ pulgadas
 Programa = _____ días háb.

H = $\frac{0.0017 \left(\frac{\text{PCM}^2}{(\text{in})^5} \times \text{m} \right) + \left(\frac{\text{PCM}}{21.84 (\text{in})^2} \right)^2}$ = _____ wg

Potencia = $\frac{\text{PCM} \times \text{wg}}{6350 \times 0. \text{ef. total}}$ = _____ bHP; práctico _____ HP

Cargo por ventiladores y accesorios eléctricos:

Unidades necesarias = $\frac{\text{m. long.}}{\text{m. sep.}}$ = _____ U. = _____ unidades

Más reserva _____

SUMA = _____

Costo = $\frac{U}{2}$ x días háb. x hrs./día x \$ /hora = \$

Consumo de energía:

= $\frac{U}{2}$ x BHP x 0.746 KW x días háb. x hrs./día = KW-hr

4.- PORTAL DE SALIDA: l = _____ m
 Q = _____ PCM
 D = _____ pulgadas
 Programa = _____ días háb.

H = $\frac{0.0017 \left(\frac{\text{PCM}^2}{(\text{in})^5} \times \text{m} \right) + \left(\frac{\text{PCM}}{21.84 (\text{in})^2} \right)^2}$ = _____ wg

Potencia = $\frac{\text{PCM} \times \text{wg}}{6350 \times 0. \text{ef. total}}$ = _____ bHP; práctico : _____ HP

Cargo por ventiladores y accesorios eléctricos:

Unidades necesarias = $\frac{\text{m long.}}{\text{m sep.}}$ = _____ U. = _____ unidades

Más reserva _____

SUMA = _____

Costo = $\frac{U}{2}$ x días háb. x hrs./día x \$ /hora = \$

Consumo de energía:

= $\frac{U}{2}$ x BHP x 0.746 KW x días háb. x hr/día = KW-hr

6.6.4.-COSTO UNITARIO DE VENTILACION:

1.- Ventiladores:			
Portal de Entrada	= \$	más	KW-hr
Lumbrera N°1	= "	"	"
Lumbrera N°2	= "	"	"
Lumbrera N°2	= "	"	"
Portal de Salida	= "	"	"
SUMAS	= \$		KW-hr
Costo unitario por ventiladores	= \$	_____	\$ /m
		m túnel	
Costo unitario por tubería	= \$	_____	\$ /m
		m túnel	
COSTO UNITARIO TOTAL		= \$	/m
Más _____ KW-hr	=	KW-hr / m	
		m túnel	

VENTILADORES EN EL EXTERIOR:

Para este caso procedase por separado de manera similar.

6.7 .- SISTEMA ELECTRICO.

PLAN GENERAL:

La Energía Eléctrica se recibirá en el exterior a _____ KV y se distribuirá a _____ V.

La distribución se hará con cables tipo _____

con aislamiento _____
de _____ V de prueba.

La unión de tramos será mediante _____
a cada _____ m aproximadamente.

El soporte de la línea de alta tensión será _____

En cada frente habrá interruptores para alta tensión Tipo _____
en _____

Las derivaciones para alumbrado, ventilación, bombeo y otros se harán _____

6.7.1.- DETERMINACION DE LA CARGA ELECTRICA MAXIMA POR FRENTE

FRENTE _____ Longitud prevista _____ m.
 Actividad _____

1.- Alumbrado = $\frac{m. \times W}{m. \text{ sep.}}$ = KW

2.- Ventilación = Ventiladores \times HP \times 0.746 KW = "

3.- Compresoras = HP \times 0.746 KW = "

4.- Perforadoras hidráulicas = HP \times 0.746 KW = "

5.- Bombeo: Motores de HP = HP
 " " " " = "
 " " " " = "
 " " " " = "
 " " " " = "
 " " " " = "
 " " " " = "

SUMA = HP

Carga = Σ HP \times 0.746 KW = KW

6.- Cargador de acumuladores para locomotoras eléctricas:
 (Determinar según características y demandas)

 _____ = KW

7.- Malacates = Σ HP \times 0.746 KW = "

8.- Planta de concreto = Σ HP \times 0.746 KW = "

9.- Bomba de concreto = Σ HP \times 0.746 KW = "

10.- Talleres y campamento 1 Lote = "

11.- Otros: _____

CARGA MAXIMA = KW

6.7.2.- TRANSFORMADORES PARA SUB-ESTACIONES ELECTRICAS

CAPACIDAD = $\frac{\text{(KW) Carga máxima}}{\text{(f.p) factor de potencia}} \times \text{(f.d) factor de diversificación} \times$

$\times \text{(f.a) factor de arranque} = \text{KVA}$

UBICACION: _____

ACTIVIDAD: _____

DURACION: _____ días calendario

DEMANDA MAXIMA = _____ KW

CAPACIDAD = $\frac{\text{KW} \times \text{(f.d)} \times \text{(f.a)}}{\text{O. (f.p)}} = \text{KVA}$

COSTO:

_____ Transformadores de _____ KVA	X _____ días	a \$ _____ /día	= \$ _____
_____ " " " " " "	X _____ " "	" " " "	" " "
_____ " " " " " "	X _____ " "	" " " "	" " "
_____ Tablero	X _____	" " " "	" " "
_____ Interruptor			" "
Capacitores			" "
Diversos			" "
Instalación			" "

COSTO DE LOS TRANSFORMADORES = \$ _____

NOTA: Para la elección de estos transformadores véase especificación A.16 (Energía Eléctrica).

6.7.4.- RESUMEN DE COSTO

A.- TRANSFORMADORES REDUCTORES EN LAS SUB-ESTACIONES

1.- Para Excavación

Portal de Entrada	= \$
Podrera N°1	= \$
Podrera N°2	= \$
Portal de salida	= \$
SUMA	= \$

2.- Para revestimiento de concreto:

Portal de entrada	= \$
Podrera N°1	= \$
Podrera N°2	= \$
Portal de salida	= \$
SUMA	= \$

B.- CONDUCTORES TRONCALES

1.- Cable	cal.	m.	a \$	/m	= \$
2.- "	"	"	"	"	"
3.- "	"	"	"	"	"
4.- "	"	"	"	"	"
5.- "	"	"	"	"	"
6.- Cajas de conexión			Pza	Pza	= "
7.- Soportes:	m.		"	"	"
	m. sep.		"	"	"
8.- Soportes:	m.		"	"	"
	m. sep.		"	"	"
9.- Otros:					

COSTO TOTAL = \$

PROBATEO:

A excavación	= \$	(conductores) x días excav.	= \$
		días duración obra	
A revestimiento	= \$	(conductores) x días revest.	= \$
		días duración obra	

C.- RESUMEN DE CARGOS:

1.- EXCAVACION:	Transformadores reductores	= \$	
	Conductores	= \$	
	SUMA	= \$	
Costo unitario	= \$		/m.
	m. túnel	= \$	

2.- REVESTIMIENTO: Transformadores reductores = \$ _____
Conductores = \$ _____
SUMA = \$ _____
Costo Unitario = \$ _____ / m.
_____ m. túnel

✓ 7.0.- COSTO DE EXCAVACION DE TUNEL.

7.1.- INSTALACIONES Y SERVICIOS.

Suma de los costos unitarios obtenidos para estos conceptos.

7.2.- MATERIALES.

Estimar o determinar consumos y obtener costo.

7.3.- MANO DE OBRA.

Obtener costo por Frente multiplicando la duración de éste por el número de turnos y por el costo de la cuadrilla/turno; el costo unitario lo dará el costo total entre la longitud del Túnel

7.4.- EQUIPO.

Igual que para 7.3, sustituyendo turnos por horas.

7.5.- CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA.

Deberá determinarse como se indica.

7.6.- COSTO UNITARIO DE LA EXCAVACION.

Sumar el importe de los conceptos del 7.1 al 7.4, y determinar el % que representa cada uno dentro del costo total; indicar por separado el consumo de Energía Eléctrica que se determinó.

7.1 .- INSTALACIONES Y SERVICIOS

1.- Vías	\$ _____ m.
2.- Aire comprimido	" _____ "
3.- Ventilación	" _____ "
4.- Agua	" _____ "
5.- Red para alumbrado	" _____ "
6.- Red telefónica	" _____ "
7.- Líneas eléctricas	" _____ "
SUMA	\$ _____ m.

7.2 .- MATERIALES (Según cálculos, recomendaciones técnicas de fabricantes o propia experiencia)
Para procedimiento convencional:

1.- Acero de barrenación	_____ Kg/m ³	a \$ _____	= \$ _____ /m ³
2.- Acero de barrenación	_____ "	" "	" "
3.- Acero de barrenación	_____ "	" "	" "
4.- Broca	_____ Pza/n ³	" "	" "
5.- Broca	_____ "	" "	" "
6.- Broca	_____ "	" "	" "
7.- Zanco	_____ "	" "	" "
8.- Zanco	_____ "	" "	" "
9.- Cople	_____ "	" "	" "
10.- Cople	_____ "	" "	" "
11.- Explosivo	_____ Kg/m ³	" "	" "
12.- Explosivo	_____ "	" "	" "
13.- Agente explosivo	_____ "	" "	" "
14.- Agente explosivo	_____ "	" "	" "
15.- Estopín	_____ Pza/n ³	" "	" "
16.- Estopín	_____ "	" "	" "
17.- Estopín	_____ "	" "	" "

18.- Fulminante	<u> </u> Pza/m ³	a \$ <u> </u>	= \$ <u> </u> /m ³
19.- Primacord	<u> </u> m/m ³	a " <u> </u>	= " <u> </u> "
20.- Mecha para minas	<u> </u> "	" <u> </u>	= " <u> </u> "
21.- Guía para disparo	<u> </u> "	" <u> </u>	= " <u> </u> "
22.-			
23.-			
24.-			
25.-			

COSTO MATERIALES

 /m³COSTO UNITARIO = \$ /m³ X m³/m = \$ /m

7.3.- MANO DE OBRA.

FRENTE	PE- L1:	_____ días	X	_____ turnos	a \$ _____	/turno = \$
"	L1- PE:	_____ "	X	_____ "	" " _____	" = "
"	L1- L2:	_____ "	X	_____ "	" " _____	" = "
"	L2- L1:	_____ "	X	_____ "	" " _____	" = "
"	L2- PS:	_____ "	X	_____ "	" " _____	" = "
"	PS- L2:	_____ "	X	_____ "	" " _____	" = "
					SUMA	= \$ _____

COSTO UNITARIO = \$ _____ /m
 _____ m. túnel

7.4.- EQUIPO.

Se dividirá en dos clases: el constante de principio a fin de la excavación como Jumbos, Rezagadoras, etc., y el que se incrementa con el avance, v. gr. el de bombeo y en algunos casos el de transporte ferroviario.

PERMANENCIA MEDIA DEL EQUIPO FERROVIARIO.

PLAN GENERAL:

El movimiento de vagonetas en el frente se hará con;

misma locomotora
 locomotora extra
 la rezagadora
 malacate

Cada tren constará de _____ vagonetas de _____ m³ de capacidad, por lo que la rezaga de un ciclo se moverá en _____ tren(es).

CICLO DE UN TREN:

Tiempo fijo en Frente de Portal:

Carga y maniobras en el frente = _____ minutos.
 Movimientos en el patio = _____ "
 SUMA = _____ "

Tiempos fijos en Frente de Lumbrera:

Carga y maniobras en el frente = _____ minutos.
 Movimientos en la Lumbrera = _____ "
 SUMA = _____ "

Si la rezaga se transporta en más de dos trenes, el tercero deberá agregarse a la distancia

$$L = \frac{T_{11} - T_f}{60 \text{ min/hr}} \times \frac{(V_1 + V_2)}{4} = \text{_____ Km.}$$

Donde: T_{11} = Tiempo de llenado del segundo tren.

T_f = Tiempo fijo del primer tren (minutos)
 V_1 = Velocidad del tren cargado (Km/hr)
 V_2 = " " " " vacio "

PERMANENCIA DEL EQUIPO FERROVIARIO POR FRENTE.

Frente _____ :	_____ trenes	X _____ días	= _____ días-tren.
	_____ "	X _____ "	" _____ "
	_____ "	X _____ "	" _____ "
		SUMA	" _____ "
Frente _____ :	_____ trenes	X _____ días	= _____ días-tren.
	_____ "	X _____ "	" _____ "
	_____ "	X _____ "	" _____ "
		SUMA	" _____ "
Frente _____ :	_____ trenes	X _____ días	= _____ días-tren.
	_____ "	X _____ "	" _____ "
	_____ "	X _____ "	" _____ "
		SUMA	" _____ "
Frente _____ :	_____ trenes	X _____ días	= _____ días-tren.
	_____ "	X _____ "	" _____ "
	_____ "	X _____ "	" _____ "
		SUMA	" _____ "
Frente _____ :	_____ trenes	X _____ días	= _____ días-tren.
	_____ "	X _____ "	" _____ "
	_____ "	X _____ "	" _____ "
		SUMA	" _____ "

CLAVE:

_____	Locomotora de	_____ Tons. y	_____ HP.
_____	"	"	"
_____	"	"	"
_____	Vagoneta de	_____ m3 de capacidad.	
_____	"	"	"
_____	"	"	"
_____	Plataforma de	_____	
_____	"	"	
_____	Vagón para	_____	
_____	"	"	
_____	"	"	
_____	"	"	

PERMANENCIA DE EQUIPO FERROVIARIO. (Días hábiles)

FRETE	LOCOMOTORAS				VAGONES			
	CLAVE	CANT.	PERMANENCIA		CLAVE	CANT.	PERMANENCIA	
			ACTIVA	RESERVA			ACTIVA	RESERVA

RESUMEN:

Locomotoras

Vagones

	CLAVE	CANT.	PERMANENCIA	
			ACTIVA	RESERVA
Locomotoras				
Vagones				

COSTO DEL EQUIPO PARA EXCAVACION, POR FRENTE

FRENTE _____ LONGITUD _____ m; DURACION _____ días

M A Q U I N A	A C T I V A					R E S E R V A					C O S T O T O T A L
	CANT.	DIAS	HORAS	CUOTA /HR.	COSTO	CANT.	DIAS	HORAS	CUOTA /HR.	COSTO	
Perforadora											
Perforadora											
Perforadora											
Martillo											
Junco											
Rezagadora											
Rezagadora											
Locomotora											
Locomotora											
Locomotora											
Vagoneta											
Vagoneta											
Vagoneta											
Plataforma											
Carro para personal											
Carro para explosivos											
Cambio California											
"Cherry Picker"											
"Car Passer"											
Piso extensible											
Banda transportadora											
Camión											
Cargador frontal											
Tractor											
Grúa											
S U M A S											

7.5.- CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA PARA EXCAVACION

a) ALUMBRADO

Consumo por frente

$$\text{Energía} = \left(\text{N}^\circ \text{ de lámparas potentes} \times \text{Kw/lámpara} \times \text{días exc.} \times \text{hrs/día.} + \frac{\text{long.}}{\text{sep.}} \right. \\ \left. \frac{\text{del tramo-long. lámp. potentes} \times \text{Kw/lámpara débil} \times \text{días exc.} \times \text{entre lámparas} \times 2}{\text{Hrs./día}} \right) \times 1. \text{ pérdidas} = \text{Kw-hr.}$$

FRENTE PE - L1 (Long. ___ m; duración ___ días)

$$\text{Energía} = \left(\text{Pza} \times \text{Kw} \times \text{d.} \times \text{hr} + \frac{\text{m-}}{\text{m} \times 2} \frac{\text{m}}{\text{m}} \times \text{Kw} \right. \\ \left. \times \text{días} \times \text{hrs/día} \right) \times 1. = \text{Kw - hr}$$

FRENTE L1 - PE (Long. ___ m; duración ___ días)

$$\text{Energía} = \left(\text{Pza} \times \text{Kw} \times \text{d.} \times \text{hr} + \frac{\text{m-}}{\text{m} \times 2} \frac{\text{m}}{\text{m}} \times \text{Kw} \right. \\ \left. \times \text{días} \times \text{hrs/día} \right) \times 1. = \text{Kw - hr}$$

FRENTE L1 - L2 (Long. ___ m; duración ___ días)

$$\text{Energía} = \left(\text{Pza} \times \text{Kw} \times \text{d.} \times \text{hr} + \frac{\text{m-}}{\text{m} \times 2} \frac{\text{m}}{\text{m}} \times \text{Kw} \right. \\ \left. \times \text{días} \times \text{hr.} \right) \times 1. = \text{Kw - hr}$$

FRENTE L2 - L1 (Long. ___ m; duración ___ días)

$$\text{Energía} = \left(\text{Pza} \times \text{Kw} \times \text{d.} \times \text{hr} + \frac{\text{m-}}{\text{m} \times 2} \frac{\text{m}}{\text{m}} \times \text{Kw} \right. \\ \left. \times \text{días} \times \text{hr} \right) \times 1. = \text{Kw - hr}$$

FRENTE L2 - PS (Long. ___ m; duración ___ días)

$$\text{Energía} = \left(\text{Pza} \times \text{Kw} \times \text{d.} \times \text{hr} + \frac{\text{m-}}{\text{m} \times 2} \frac{\text{m}}{\text{m}} \times \text{Kw} \right. \\ \left. \times \text{días} \times \text{hr.} \right) \times 1. = \text{Kw - hr}$$

FRENTE PS - L2 (Long. ___ m; duración ___ días)

$$\text{Energía} = \left(\text{Pza} \times \text{Kw} \times \text{d.} \times \text{hr} + \frac{\text{m-}}{\text{m} \times 2} \frac{\text{m}}{\text{m}} \times \text{Kw} \right. \\ \left. \times \text{días} \times \text{hr.} \right) \times 1. = \text{Kw - hr}$$

RESUMEN CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA PARA ALUMBRADO

FRENTE PE - L1 = Kw - hr

FRENTE L1 - PE = Kw - hr

" L1 - L2 = " "

" L2 - L1 = " "

" L2 - Ps = " "

" PS - L2 = " "

SUMA =

CONSUMO UNITARIO = $\frac{\text{Kw - hr}}{\text{m. túnel}}$ = $\frac{\text{Kw - hr/m.}}{\text{m. túnel}}$

7.5.b.- ENERGIA ELECTRICA PARA USOS DIVERSOS

V. gr.: Perforadoras hidráulicas
Rezagadoras eléctricas
Bandas transportadoras
Locomotoras (cargador de acumuladores)
Soldadoras
Malacate, etc. etc.

Aplicar por frente y por tipo de máquina la siguiente fórmula

CONSUMO DE ENERGIA = N° Máqs. X HP X 0.746 Kw X días X hrs/día X

% utilización = Kw - hr.

7.5.c.- RESUMEN DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA PARA EXCAVACION

1.- Aire comprimido	=	_____	Kw-hr/m
2.- Ventilación	=	_____	" "
3.- Alumbrado	=	_____	" "
4.- Agua Barrenación	=	_____	" "
5.- Usos diversos	=	_____	" "

SUMA	=	_____	Kw-hr/m túnel

7.6 .- COSTO UNITARIO TOTAL PARA EXCAVACION

(7.1) .- CONDUCCIONES Y SERVICIOS	= \$	/m. túnel =	_____ %
(7.2) .- MATERIALES	= \$	/m. túnel =	_____ %
(7.3) .- MANO DE OBRA	= \$	/m. túnel =	_____ %
(7.4.d) .- EQUIPO	= \$	/m. túnel =	_____ %
<hr/>			
COSTO UNITARIO	= \$	/m. túnel =	100.0 %

Más

(7.5.c) .- ENERGIA ELECTRICA = _____ Kw-hr/m. túnel

X 8.0.- ADEME.

X 8.1.- ADEME CON MARCOS METALICOS.

La evaluación de este concepto no toma en cuenta el programa.

X 8.2.- ADEME CON CONCRETO LANZADO.

Misma aclaración que para B.1.

X 8.3.- ADEME CON ANCLAS Y MALLA METALICA.

Misma aclaración que para B.1.

8.1.- POEME CON MARCOS METALICOS

NOTA: Anexar dibujo con la geometría del marco según la sección de excavación propuesta por su Empresa.

A.- MATERIALES

Marco de acero:	1 Pza a \$ _____	/pza = \$ _____	/pza
Tornillería	" " " _____	" " " _____	"
Separadores (prom.)	" " " _____	" " " _____	"
Soldadura	Kg " " _____	/Kg = " _____	"
Madera para retoque	P.T " " _____	/P.T = " _____	"
		" " " _____	"
		" " " _____	"
COSTO MATERIALES		= \$ _____	/pza

B.- MANO DE OBRA
(Evaluar:)

= \$ _____ /pza

C.- EQUIPO
(Evaluar:)

= \$ _____ /pza

8.2.- ADEME CON CONCRETO LANZADO

A.- MATERIALES

Concreto especial:

Cemento	<u> </u> Kg/m ³	a \$	<u> </u> /Kg	= \$	<u> </u> /m ³
Grava	<u> </u> m ³ /m ³	" "	<u> </u> /m ³	= "	<u> </u> "
Arena	<u> </u> " "	" "	<u> </u> "	= "	<u> </u> "
Aditivo	<u> </u> lt/m ³	" "	<u> </u> /lt	= "	<u> </u> "
SUMA				= \$	<u> </u> /m ³
Más desperdicios	<u> </u>	" "		= "	<u> </u> "
COSTO				= \$	<u> </u> /m ³ = \$
Manguera:	<u> </u> m.manguera X \$		<u> </u> /m	= "	<u> </u> "
	<u> </u> m ³ duración				
Manguera:	<u> </u> m.manguera X \$		<u> </u> /m	= "	<u> </u> "
	<u> </u> m ³ duración				
Discos de lanzadora:	\$ <u> </u> /disco		<u> </u> /m ³ duración	= "	<u> </u> "
Otros:	<u> </u>			= "	<u> </u> "
COSTO MATERIALES				= \$	<u> </u> /m ³

B.- MANO DE OBRA
(Evaluar)

= \$ /m³

C.- EQUIPO

Máquina lanzadora: \$ /hora = \$ /m³
 m³/hora

SUMA = \$ /m³

Desperdicios por "rebote" = %

COSTO UNITARIO = \$ /m³ = \$ /m³
 1.0 - 0. "rebote"

B.3.- ADEME CON ANCLAS Y MALLA METALICA

A.- MATERIALES

Acero de barrenación Kg/m² a \$ /Kg = \$ /m²
Brocas Pza/m² " " /pza = " " "
Ancla que se propone
 Pza/m² a \$ /pza = "
Malla metálica que se propone:
 m²/m² a \$ /m² = "

Otros:

COSTO MATERIALES = \$ /m²

B.- MANO DE OBRA
(Evaluar)

COSTO MANO DE OBRA = \$ /m²

C.- EQUIPO
(Evaluar)

COSTO EQUIPO

= \$ /m²

COSTO UNITARIO

= \$ /m²

X 9.0.- BOMBEO.

9.1.-PLAN GENERAL.

X a) BOMBEO HORIZONTAL.

Para formular el Plan General, determine los escurrimientos probables en función de la información de que disponga y haga el cálculo empleando las seis primeras columnas de la Tabla 9.1.d.

X b) BOMBEO VERTICAL.

Se deducirá de los datos obtenidos para el horizontal.

X c) BOMBEO PARA AVANCE.

Será diferente el de excavación de el de revestimiento: deberá determinarse para ambos casos.

La CAVM sugiere:

9.1.- PLAN GENERAL

9.1.a) BOMBEO HORIZONTAL:

- 1.- Instalar los cárcavos principales para bombeo a cada 1,000 m., y los secundarios a cada 200 ó 250 m.
- 2.- El empleo de tuberías de pared delgada en vista de que se operaría con baja carga hidrostática.
- 3.- Las siguientes fórmulas derivadas de la Manning para la obtención de diámetros de tuberías y consumos de energía eléctrica.
 - a) Para la determinación de los diámetros de tubería partir del máximo hacia atrás basándose en el gasto y en una carga máxima prefijada de acuerdo con la potencia que por conveniencia se desee dar a los motores de las bombas, empleando la fórmula

$$D = \sqrt[5]{\frac{5.333}{10.273 n^2 L Q^2} h}$$

donde: D = diámetro interior de la tubería en metros
 n = coeficiente de rugosidad
 L = longitud de la tubería en metros (incluyendo la de accesorios)
 Q = gasto en m³/seg
 h = carga total en metros

ó en función de un determinado diámetro de tubería

$$h = \frac{10.273 n^2 L Q^2}{D^{5.333}}$$

La energía que se consumirá está dada por la expresión

$$Kw - hr = \frac{h Q \times hrs \times 9.803}{0. \text{ef.}} \quad \delta$$

$$Kw - hr = \frac{HP \times hrs \times 0.7457 Kw}{0. \text{ef.}}$$

9.1.b) BOMBEO VERTICAL

- a) Para el bombeo consultar a fabricantes de bombas
- b) Para la determinación de los consumos de energía eléctrica emplear la misma fórmula que para el horizontal.

EXCAVACION

9.3.c.- BOMBEO PARA AVANCE EN

REVESTIMIENTO

1.- Equipo para 5 lts/seg y _____ m. de línea de descarga

Bomba neumática de _____ "φ = \$
 Bomba eléctrica de _____ "φ y _____ HP = "
 Tubería _____ de _____ "φ : _____ m a \$ _____ /m = "
 Manguera de _____ " " " _____ " = "
 Manguera _____ " " " _____ " = "
 _____ = "
 _____ = "

COSTO = \$ _____

Consumo nominal de energía eléctrica: _____ HP X 0.7457 KW = _____ KW
 0. _____ ef.

2.- Equipo para _____ lts/seg y _____ m. de línea de descarga

Bomba = \$
 Bomba = \$
 Tubería _____ de _____ "φ _____ m a \$ _____ /m = \$
 Manguera _____ " " " _____ " = \$
 Manguera _____ " " " _____ " = \$
 _____ = \$
 _____ = \$

COSTO = \$ _____

Consumo nominal de energía eléctrica: _____ HP X 0.7457 KW = _____ KW
 0. _____ ef.

3.- Equipo para _____ lts/seg y _____ m. de línea de descarga

Bomba = \$
 Bomba = "
 Tubería = "
 Tubería = "
 Manguera = "
 Manguera = "
 _____ = "
 _____ = "

COSTO = \$ _____

Consumo nominal de energía eléctrica: _____ HP X 0.7457 KW = _____ KW
 0. _____ ef.

COSTO DEL BOMBEO PARA AVANCE EN:

EXCAVACION

REVESTIMIENTO

FRENTE	DURACION		EQUIPO lts/seg.	COSTO TOTAL	ENERGIA	
	DIAS	HORAS			NOMINAL	TOTAL
1						
2						
3						
4						
5						
6						
SUMAS						

FRENTE _____ de Est. _____ a Est. _____

Excavación
 Revestimiento

TRAMO		ESCURRIMIENTOS				CARCAMO			BOMBAS					TUBERIAS				COSTO TOT (3 + 18)	
de Est. (1)	a Est. (2)	GASTO		BOMBEO		Tipo (7)	en Est. (8)	Q lts/seg (9)	CANTI- DAD (10)	CAPACI- DAD lts/seg (11)	Carga h (m) (12)	ENERGIA (Kw-hr) (3) x (2) x (9) x 0.235 a. _____ af. (13)	COSTO ²		Diámetro p" (16)	Longitud m. (17)	COSTO \$/m (18)		COSTO INCL. ACCESORIOS (14 + 15)
		Instantáneo lts/seg (3)	Acum. lts/seg (4)	Duración días coland. (5)	Vol. total m ³ (6) = (3) x (5) x 86.4								Per día (14)	Total (13) x (14) (15)					
SUMAS																			

² Incluye equipo eléctrico y bomba de reserva

9.1.e.- BOMBEO VERTICAL

PARA EXCAVACION PARA REVESTIMIENTO

LUMBRERA N°1:

1.- Frente _____ Duración _____ días calendario

Gasto medio = $\frac{\text{lbs/seg(mín)} + \text{lbs/seg(máx)}}{2}$ = _____ lbs/seg

Costo bombas: _____ bombas X _____ día X \$ _____ /día = \$
 _____ bombas X _____ día X \$ _____ /día = \$
 _____ bombas X _____ día X \$ _____ /día = \$

SUMA = \$ _____

Energía: $\frac{\text{lbs/seg(medio)} \times \text{m} \times \text{hrs}}{0. \text{ ef.}}$ X 0.0098 KW = _____ KW-hr

2.- Frente _____ Duración _____ días calendario

Gasto medio = $\frac{\text{lbs/seg(mín)} + \text{lbs/seg(máx)}}{2}$ = _____ lbs/seg

Costo bombas: _____ bombas X _____ días X \$ _____ /día = \$
 _____ bombas X _____ días X \$ _____ /día = \$
 _____ bombas X _____ días X \$ _____ /día = \$

SUMA = \$ _____

Energía: $\frac{\text{lbs/seg(medio)} \times \text{m} \times \text{hrs}}{0. \text{ ef.}}$ X 0.0098 KW = _____ KW-hr

LUMBRERA N°2

1.- Frente _____ Duración _____ días calendario

Gasto medio = $\frac{\text{lbs/seg(mín)} + \text{lbs/seg(máx)}}{2}$ = _____ lbs/seg

Costo bombas : _____ bombas X _____ días X \$ _____ /día = \$
 _____ bombas X _____ días X \$ _____ /día = \$
 _____ bombas X _____ días X \$ _____ /día = \$

SUMA = \$ _____

Energía: $\frac{\text{lbs/seg(medio)} \times \text{m} \times \text{hrs}}{0. \text{ ef.}}$ X 0.0098 KW = _____ KW-hr

2.- Frente _____ Duración _____ días calendario.

Gasto medio = $\frac{\text{lbs/seg (mín)} + \text{lbs/seg (máx)}}{2}$ lbs/seg

Costo bombas: _____ bombas _____ X _____ días X \$ _____ /día = \$
 " " _____ X " " X " _____ " = "
 " " _____ X " " X " _____ " = "

SUMA = \$ _____

Energía: $\frac{\text{lbs/seg (medio)} \times \text{m} \times \text{hrs} \times 0.0098 \text{ KW}}{0. \text{ ef.}}$ KW-hr

9.1.f.- RESUMEN DE BOMBEO PARA

EXCAVACION

REVESTIMIENTO

COSTO DE LA MANO DE OBRA:

Frente _____ = _____ días X _____ turnos X \$ _____ /turno = \$
 " " _____ " X " " X " _____ " = "
 " " _____ " X " " X " _____ " = "
 " " _____ " X " " X " _____ " = "
 " " _____ " X " " X " _____ " = "

SUMA = \$ _____

COSTO DE EQUIPO Y CONSUMO DE ENERGIA:

F R E N T E	A.- PARA AVANCE		B.- HORIZONTAL		C.- VERTICAL	
	COSTO	KW-hr	COSTO	KW-hr	COSTO	KW-hr
Lumbrera N°1						
Lumbrera N°2						
S U M A S						

RESUMEN DE COSTOS:

MANO DE OBRA: \$ _____

EQUIPO Y ENERGIA

A. Bombeo para avance \$ _____ más _____ KW-hr
 B. " horizontal \$ _____ " _____ "
 C. " vertical \$ _____ " _____ "

SUMAS = \$ _____ más _____ KW-hr

VOLUMEN TOTAL DE BOMBEO:

PRENTE	_____	=	_____	m ³
"	_____	=	_____	"
"	_____	=	_____	"
"	_____	=	_____	"
"	_____	=	_____	"
"	_____	=	_____	"
SUMA		=	_____	m ³

COSTO UNITARIO \$ _____ \$ _____ / m³

Más:

CONSUMO DE ENERGIA _____ KW-hr / m³
m³

10.0.- REVESTIMIENTO DE CONCRETO.

X 10.1.- INSTALACIONES Y SERVICIOS.

Suma de los costos unitarios obtenidos para estos conceptos

X 10.2.- MATERIALES.

Estimar o determinar consumos y obtener costo.

X 10.3.- MANO DE OBRA.

Obtener costo por Frente multiplicando la duración de éste por el número de turnos y por el costo de la cuadrilla/turno; el costo unitario lo dará el costo total entre la longitud del Túnel.

X 10.4.- EQUIPO.

Igual que para 10.3, sustituyendo turnos por horas.

X 10.5.- CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA.

Deberá determinarse como se indica.

X 10.6.- INYECCIONES DE CONTACTO.

Determinar costo como se indica.

X 10.7.- RESUMEN DE COSTO.

Sumar todos los elementos de costo y determinar el % de incidencia; indicar por separado el consumo de Energía Eléctrica que se determinó.

10.1.- INSTALACIONES Y SERVICIOS:

1.- Vías	\$	/m.
2.- Aire comprimido	"	"
3.- Agua	"	"
4.- Red para alumbrado	"	"
5.- Red telefónica	"	"
6.- Líneas eléctricas	"	"
SUMA	\$	/m.

10.2.- MATERIALES:

1.- Concreto Simple $f'c =$ _____ Kg/cm^2

Cemento tipo _____	Kg/m^3	a \$ _____	= \$ _____	$/m^3$
Grava _____	m^3/m^3	" " _____	= " _____	"
Grava _____	"	" " _____	= " _____	"
Arena _____	"	" " _____	= " _____	"
Arena _____	"	" " _____	= " _____	"
Aditivo _____	Kg/m^3	" " _____	= " _____	"
	SUMA	=	"	"
Más desperdicios _____		=	"	"
Costo del concreto simple		= \$	_____	"

COSTO UNITARIO:

Vol. de concreto/m _____	=	m^3
Más sobre-excavaciones _____	=	"
Consumo de concreto/m túnel _____	=	m^3
Costo = _____ m^3/m a \$ _____	$/m^3$	= \$ _____ m túnel

2.- Soportes para la cimbra

Soporte _____	Pza/m.	a \$ _____	= \$ _____	/m
Soporte _____	"	" " _____	= " _____	"
Soporte _____	"	" " _____	= " _____	"
Ancla _____	"	" " _____	= " _____	"
Ancla _____	"	" " _____	= " _____	"
	SUMA	= \$	_____	/m

3.- Tapones

COSTO UNITARIO = \$ _____ costo tapón _____ \$ _____ /m
 m. entre tapones

4.- Gajos = \$ $\frac{\text{gajos} \times \text{gajos}}{\text{m. túnel}}$ \$ /m.

5.- Otros

RESUMEN MATERIALES

Concreto simple	\$	/m.
Soportes	"	"
Tapones	"	"
Gajos	"	"
Otros	"	"
SUMA	= \$	/m.

10.3.- MANO DE OBRA

FRENTE _____ : _____ días X _____ turno a \$ _____/turno = \$

FRENTE _____ : _____ días X _____ turno " " _____/turno = "

FRENTE _____ : _____ días X _____ turno " " _____/turno = "

FRENTE _____ : _____ días X _____ turno " " _____/turno = "

SUMA = \$ _____

COSTO UNITARIO = \$ _____ = \$ _____/m
 _____ m túnel

10.4.- EQUIPO

10.4.a) DE PERMANENCIA VARIABLE

EQUIPO FERROVIARIO

El tren para extraer la rezaña de plantilla, vía, tuberías, etc., consta de:

Locomotora _____
 Vagonetas _____
 Plataformas _____

El Tren para transporte de concreto consta de:

Locomotora _____
 Carros agitadores _____

1.- FRENTE _____ (long. _____ m; _____ días)

N° máximo trenes de limpieza = _____

" Mínimo " " " = _____

Permanencia = $\frac{\text{máx.} + \text{mín.}}{2} \times \text{días} = \text{días} - \text{tren}$

N° máximo trenes para concreto = _____

" mínimo " " " = _____

Permanencia = $\frac{\text{máx.} + \text{mín.}}{2} \times \text{días} = \text{días} - \text{tren}$

2.- FRENTE _____ (long. _____ m; _____ días)

N° máximo trenes para limpieza = _____

N° mínimo " " " = _____

Permanencia = $\frac{\text{máx.} + \text{mín.}}{2} \times \text{días} = \text{días} - \text{tren}$

N° máximo trenes para concreto = _____

" mínimo " " " = _____

$$\text{Permanencia} = \frac{\text{máx.} + \text{mín.}}{2} \times \text{días} = \text{días} - \text{tren}$$

3.- FRENTE _____ (long. _____ m; _____ días)

Nº máximo trenes para limpieza = _____

Nº mínimo " " " = _____

$$\text{Permanencia} = \frac{\text{máx.} + \text{mín.}}{2} \times \text{días} = \text{días} - \text{tren}$$

Nº máximo trenes para concreto = _____

" mínimo " " " = _____

$$\text{Permanencia} = \frac{\text{máx.} + \text{mín.}}{2} \times \text{días} = \text{días} - \text{tren}$$

4.- FRENTE _____ (Long. _____ m; _____ días)

Nº máximo trenes para limpieza = _____

" mínimo " " " = _____

$$\text{Permanencia} = \frac{\text{máx.} + \text{mín.}}{2} \times \text{días} = \text{días} - \text{tren}$$

Nº máximo trenes para concreto = _____

" mínimo " " " = _____

$$\text{Permanencia} = \frac{\text{máx.} + \text{mín.}}{2} \times \text{días} = \text{días} - \text{tren}$$

NOTA: Anotar resumen en la forma de la pág. 76 y anexar como pág.100-bis.

10.4.b) COSTO POR FRENTE DEL EQUIPO PARA REVESTIMIENTO DE CONCRETO

FRENTE _____ LONGITUD _____ m; DURACION _____ días

M A Q U I N A	A C T I V A					R E S E R V A					COSTO TOTAL
	CANT.	DIAS.	HORAS	CUOTA /Hr.	COSTO.	CANT.	DIAS	HORAS	CUOTA /Hr.	COSTO	
Compa											
Colocador neumático											
Banca transportadora											
Carro agitador											
Forma											
Vibrador											
Vibrador											
Locomotora											
Locomotora											
Vagoneta											
Vagoneta											
Plataforma											
Carro para personal											
Cambio California											
Cambio											
Perforadora											
Martillo											
Planta de concreto											
Planta para agregados											
Cargador frontal											
Camión											
SUMAS											

10.4.c) RESUMEN DE EQUIPO

FRENTE	_____	\$
"	_____	"
"	_____	"
"	_____	"
	SUMA	\$ _____

COSTO UNITARIO = \$ _____ = \$ _____ /m. túnel
 m. túnel

10.5.- CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA

1.- ALUMBRADO

a) FRENTE _____ (Long. _____ m; _____ días)

$$\text{Energía} = \frac{\text{lámparas} \times \text{Kw/lámp.} \times \text{hrs} \times 1. \text{pérd.}}{2} = \text{Kw - hr}$$

b) FRENTE _____ (Long. _____ m; _____ días)

$$\text{Energía} = \frac{\text{lámparas} \times \text{Kw/lámp.} \times \text{hrs} \times 1. \text{pérd.}}{2} = \text{Kw - hr}$$

c) FRENTE _____ (Long. _____ m; _____ días)

$$\text{Energía} = \frac{\text{lámparas} \times \text{Kw/lámp.} \times \text{hrs} \times 1. \text{pérd.}}{2} = \text{Kw - hr}$$

d) FRENTE _____ (Long. _____ m; _____ días)

$$\text{Energía} = \frac{\text{lámparas} \times \text{Kw/lámp.} \times \text{hrs} \times 1. \text{pérd.}}{2} = \text{Kw - hr}$$

Consumo Total = _____ Kw - hr

CONSUMO UNITARIO = $\frac{\text{Kw-hr}}{\text{m. túnel}}$ = _____ Kw - hr/m.

2.- Para usos diversos

V.gr.: Bomba de concreto
 Planta de concreto
 planta de agregados
 Vibradores
 Locomotoras (cargador de acumuladores)
 Bandas transportadoras
 Malacate, etc. etc.

Aplicar por frente y por tipo de máquina la siguiente fórmula:

CONSUMO DE ENERGIA = N° de máquinas x HP x 0.746 Kw x días x hrs/día x

% utilización = Kw - hr.

RESUMEN DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA PARA REVESTIMIENTO.

1.- Aire comprimido	=	_____	Kw-hr / m
2.- Alumbrado	=	_____	" "
3.- Usos diversos	=	_____	" "
SUMA	=		Kw-hr / m. de túnel

10.6.- INYECCIONES DE CONTACTO

PLAN GENERAL

La inyección de contacto se hará de acuerdo con estudio del laboratorio de la CAVM.

El abastecimiento de materiales se hará _____

La energía que se empleará será _____ y se abastecerá _____

El transporte de materiales y del equipo para inyectado se hará _____

COSTO:

A.- CONDUCCIONES

1.- Aire comprimido

a) Tubería de _____ "ø	_____ m. a \$	_____ /m.	= \$	_____
b) Conexiones	_____ pza a \$	_____ /pza	= \$	_____
c) Válvulas	_____ pza a \$	_____ /pza	= \$	_____
d) Mangueras	_____ m. a \$	_____ /m.	= \$	_____
e)			= \$	_____
f)			= \$	_____
		SUMA	= \$	_____

2.- Conductores eléctricos

a) Cable _____	_____ m. a \$	_____ /m.	= \$	_____
b) Cable _____	_____ m. a \$	_____ /m.	= \$	_____
c) Soportes	_____ pza a \$	_____ /pza	= \$	_____
d) Interruptores	_____ pza a \$	_____ /pza	= \$	_____
e)			= \$	_____
f)			= \$	_____
		SUMA	= \$	_____

3.- Otros

COSTO UNITARIO	= \$	COSTO DE CONDUCCIONES	= \$	_____
		_____	= \$	_____ /m
		m. túnel		

B.- MATERIALES.

1.- Para barrenación:

a) Barrenas	_____ kg./m. túnel a \$ _____ /kg. = \$ _____ /m
b) Brocas	_____ Pza/m. " " " _____ /Pza = " _____ "
c)	" " " _____ " _____ "
d)	" " " _____ " _____ "
	SUMA = _____ /m = \$ _____ /m

2.- Para inyección:

a) Cemento	_____ kg./m ³ a \$ _____ /kg. = \$ _____ /m ³
b) Arena	_____ m ³ /m ³ " " " _____ /m ³ = " _____ "
c) Aditivo	_____ lt./m ³ " " " _____ /lt = " _____ "
d)	" " " _____ " _____ "
e)	" " " _____ " _____ "
	Costo mortero = \$ _____ /m ³

Volumen de mortero que se estima por 1.0 m de túnel = _____ m³ / m
 Costo del mortero _____ m³ a \$ _____ /m³ = " _____ /m

3.- Otros materiales:

" _____ /m
 SUMA = \$ _____ /m

C.- MANO DE OBRA:

Costo unitario = \$ _____ / turno = \$ _____ /m
 m. avance/turno

D.- EQUIPO:

a) Bomba inyectora	= \$ _____ / hora
b) Tanques agitadores	" " _____ "
c) Perforadora	" " _____ "
d)	" " _____ "
e)	" " _____ "
f)	" " _____ "
	SUMA = \$ _____ / hora

Costo unitario = \$ _____ / hora = \$ _____ /m
 m. túnel/hora

COSTO DE INYECCIONES:

A) CONDUCCIONES	\$	/m
B) MATERIALES	"	/m
C) MANO DE OBRA	"	/m
D) EQUIPO	"	/m
<hr/>		
COSTO UNITARIO	= \$	/m

10.7.- RESUMEN COSTO DE REVESTIMIENTO DE CONCRETO:

(10.1)	.- Instalaciones y servicios	\$	_____ /m = _____
(10.2)	.- Materiales	"	_____ /" = _____
(10.3)	.- Mano de obra	"	_____ /" = _____
(10.4.C)	.- Equipo	"	_____ /" = _____
(10.6)	.- Inyecciones de contacto	"	_____ /" = _____
		<hr/>	

COSTO UNITARIO = \$ _____ /m = 100.00

MÁS:

(10.5)	.- ENERGIA ELECTRICA	"	_____ Kw-hr./m. de túnel
----------	----------------------	---	--------------------------

1.9.- SOBRECARRERO DE REZAGA

11.1.- VOLUMEN DE REZAGA POR METRO DE TUNEL

Multiplicar el área estimada de excavación por 1.0 m. de longitud de túnel, y dividir entre la unidad menos el porcentaje de abundamiento que se estime.

11.2.- VELOCIDAD MEDIA DEL VEHICULO

De acuerdo con los caminos que vayan a recorrerse por el vehículo que se haya considerado, determinar sus velocidades medias para condiciones de cargado y vacío: el promedio de ambos dará la velocidad media de utilización.

11.3.- COSTO DEL VEHICULO POR KILOMETRO RECORRIDO

Dividir el costo horario del vehículo activo entre el producto de la velocidad media por el % horario de utilización.

11.4.- COSTO DEL SOBRECARRERO

Dividir el producto del volumen medio de rezaga por metro, por el costo del vehículo por kilómetro, entre la capacidad del vehículo.

1.0.- SOBRECARREOS DE REZAGA

1.1.- VOLUMEN DE REZAGA POR METRO DE TUNEL

$$\frac{\text{m}^2 \text{ \u00c1rea media secci\u00f3n} \times 1.0 \text{ m}}{1.0 - 0. \text{ Factor de carga}} = \text{m}^3/\text{m.l. t\u00fanel}$$

1.2.- VELOCIDAD MEDIA DEL VEHICULO

$$V_m = \frac{\text{Km/h (Cargado)} + \text{Km/h (vacio)}}{2} = \text{Km/h}$$

1.3.- COSTO DEL VEHICULO POR KILOMETRO RECORRIDO

$$C_v = \frac{\$ \text{ /Hora}}{\text{Km/h} \times \% \text{ utilizaci\u00f3n}} = \$ \text{ Km}$$

1.4.- COSTO DEL SOBRECARRERO CON VEHICULO DE m^3 cap.

$$\text{Costo} = \frac{\text{m}^3/\text{m t\u00fanel} \times \$}{\text{m}^3 \text{ capacidad}} / \text{Km} = \$ \text{ m.l.t-Km}$$

12.0.- EXCAVACIONES PARA ENCAPILLADO EN ZONA DE LAMPITERAS.

Determinar costo.

12.1.- COSTO DE EXCAVACIONES PARA ENCAPILLADO EN ZONA DE LUMBRERAS

NOTA.- Favor de adjuntar croquis acotado de sus planes para galerías, vías y crucero o cruceros de conexión entre cada lumbrera y el oje del túnel.

A.- MATERIALES

Acero para barrenación	Kg/m ³	a \$	/kg.	= \$	/m ³
Broca	Pza/m ³	" "	/pza	" "	" "
Broca	" "	" "	" "	" "	" "
Dinamita	Kg/m ³	" "	/Kg.	" "	" "
Agente explosivo	" "	" "	" "	" "	" "
Agente explosivo	" "	" "	" "	" "	" "
Estopín eléctrico	Pza/m ³	" "	/pza	" "	" "
Estopín eléctrico	" "	" "	" "	" "	" "
Estopín eléctrico	" "	" "	" "	" "	" "
Fulminante	" "	" "	" "	" "	" "
Mecha para minas	m/m ³	" "	/m	" "	" "
Primacord	" "	" "	" "	" "	" "
Otros: _____					

COSTO MATERIALES

= \$ _____ /m³

B.- MANO DE OBRA
(Evaluar)

COSTO MANO DE OBRA

= \$ _____ /m³

C.- EQUIPO
(Evaluar)

COSTO EQUIPO

----- \$ /m³

12.1.- COSTO UNITARIO

Materiales	= \$	/m ³
Mano de obra	= "	"
Equipo	= "	"

COSTO UNITARIO	= \$	/m ³
----------------	------	-----------------

13.0 - DETERMINACION DEL COSTO INDIRECTO.

Se han previsto seis columnas:

CANT.: Número de personas, objetos diversos o conceptos.

NºMESES: Meses de permanencia en la obra.

COSTO POR MES: Honorarios, salarios, rentas, etc., por mes.

COSTO TOTAL: Costo total del concepto durante la construcción.

SUB-TOTALES: Suma de cada grupo de Conceptos.

%: Porcentaje que representa cada grupo de conceptos dentro del Costo Indirecto.

13.1.- DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE INDIRECTOS.

PRESUPUESTO DE COSTO DIRECTO.

Formular el presupuesto multiplicando cada una de las cantidades de obra que aparecen en el Catálogo por su costo unitario.

CARGO POR INDIRECTOS.

Se obtiene dividiendo el Costo Indirecto entre el Costo Directo de la Obra.

13 0.- DETERMINACION DEL COSTO INDIRECTO

CONCEPTO	CANT.	N° MESSES	COSTO POR MES	COSTO TOTAL	SUB-TO- TALES	%
I.- INDIRECTOS DE CAMPO						
1.- PERSONAL TECNICO						
Gerente de proyecto						
Superintendente general						
Superintendente						
Superintendente						
Superintendente						
Residente						
Ingeniero						
Ingeniero						
Ingeniero						
Asesor						
Asesor						
Dibujante						
Dibujante						
Laboratorista						
Laboratorista						
Inspector						
Inspector						
Empleado técnico "A"						
" " "B"						
SUMA						
2.- PERSONAL ADMINISTRATIVO						
Administrador general						
Jefe de Oficina						
Almacenista General						
Almacenista						
Cajero Pagador						
Jefe de Personal						
Jefe de Compras						
Jefe de Costos						
Tomador de Tiempo						
Bodeguero						
Gestor						
Asesor Jurídico						
Empleado "A"						
Empleado "B"						
Empleado "C"						
Checador de materiales						

CONCEPTO	CANT.	Nº MENSSES	COSTO POR MES	COSTO TOTAL	SUB-TOTAL VALOR	%
Polvorinero Gasolinero						
SUMA						
3.- PERSONAL SERVICIOS GENERALES						
Chofer "A"						
Chofer "B"						
Mensajero						
Carpintero						
Cocinero						
Mesero						
Machetero						
Mozo						
Peón						
SUMA						
4.- PERSONAL DE VIGILANCIA						
Jefe de vigilancia						
Vigilante						
Policia auxiliar						
Destacamento militar						
SUMA						
5.- PERSONAL DE MANTENIMIENTO						
Albañil						
Carpintero						
Electricista						
Plomero						
Mecánico						
Jardinero						

CONCEPTO	CANT.	1º MES	COSTO POR MES	COSTO TOTAL	SUB-TOTAL	
Polvorinero Gasolinero						
SUMA						
3.- PERSONAL SERVICIOS GENERALES						
Chofer "A"						
Chofer "B"						
Mensajero						
Carpintero						
Cocinero						
Mesero						
Machetero						
Mozo						
Peón						
SUMA						
4.- PERSONAL DE VIGILANCIA						
Jefe de vigilancia						
Vigilante						
Policía auxiliar						
Destacamento militar						
SUMA						
5.- PERSONAL DE MANTENIMIENTO						
Albañil						
Carpintero						
Electricista						
Plomero						
Mecánico						
Jardinero						

CONCEPTO	CANT.	Nº MESSES	COSTO POR MES	COSTO TOTAL	SUB-TOTA- LES	
Pintor						
SUMA						
6.- SERVICIO MEDICO						
Médico						
Enfermero						
Afanador						
SUMA						
7.- INSTALACIONES						
Campamentos						
Oficinas						
Bodegas						
Polvorines						
Gasolineras						
Cercados						
Cobertizos						
Talleres						
Caminos auxiliares						
Campos deportivos						
SUMA						
8.- MOBILIARIO Y EQUIPO DE OFICINAS						
9.- MOBILIARIO Y EQUIPO CAMPAMENTOS						
10.- TALLERES MECANICOS						
11.- TALLER CARPINTERIA						
12.- TALLER ELECTRICO						
13.- ENFERMERIA						
14.- TRANSPORTES						

CONCEPTO	CANT.	Nº MESES	COSTO POR MES	COSTO TOTAL	SUB-TOTALES	
15.- EQUIPOS DIVERSOS						
16.- CONSUMOS OFICINAS						
17.- CONSUMOS CAMPAMENTOS						
18.- CONSUMOS TALLERES						
19.- CONSUMOS ENFERMERIA						
20.- PASAJES Y VIATICOS						
21.- FLETES Y MANIOBRAS						
22.- SERVICIO DE RADIOCOMUNICACION						
23.- GASTOS SUPERINTENDENCIA						
Representación						
Presentes						
Gratificaciones						
Indemnizaciones						
Festejos						
Colaboraciones						
SUMA						
24.- PRIMAS						
Fianzas						
Seguros						
SUMA						
25.- INTERESES						
Sobre capital de trabajo						
SUMA						
26.- LIMPIEZA DE OBRA						
Cuadrillas permanentes						
Limpieza final						

CARGOS	CANT.	12 ^{os} MESES	COSTO DIRECTO	COSTO TOTAL	SUB-TOTAL	
Demante Jantiles						
SUMA						

SUMA TOTAL \$

III. - CARGOS DE LA OFICINA CENTRAL

mes a \$ /mes = \$

SUMAN LOS INDIRECTOS = \$

13.1.- DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE INDIRECTOS
PRESUPUESTO DEL COSTO DIRECTO

7.0.- EXCAVACION DE TUNEL	_____ m	a	\$	/m = \$
8.1.- ADEME CON MARCOS METALICOS	_____ Pz	a	\$	/Pz = \$
8.2.- " " CONCRETO LANZADO	_____ m ³	a	\$	/m ³ = \$
8.3.- " " ANCLAS	_____ Pz	a	\$	/Pz = \$
8.4.- " " MALLA METALICA	_____ m ²	a	\$	/m ² = \$
9.0.- BOMBEO	_____ m ³	a	\$	/m ³ = \$
10.0.- REVESTIMIENTO DE CONCRETO	_____ m	a	\$	/m = \$
11.0.- SOBRECARREOS	_____ mlt-Km	a	\$	/* = \$
* /mlt-Km				
COSTO DIRECTO DE LA OBRA				= \$

CARGO POR INDIRECTOS \$ _____ indirectos = 0. _____
\$ _____ costo directo

14.0.- PRECIOS UNITARIOS

Porcentaje de cargo por impuestos y recargos diversos:

Impuesto sobre la renta	=	_____	%
Servicios de Inspección y Vigilancia de la EP y P	=	_____	%
Aportación al Fideicomiso para Campos Deportivos Ejidales	=	_____	%
Obras de beneficio social	=	_____	%
_____	=	_____	%
_____	=	_____	%
SUMA	=	_____	%
CARGO = $\frac{1.0}{1.0 - 0.}$ - $\frac{1.0}{0.}$	=	_____	%

1.- EXCAVACION DE TUNEL

Costo directo	_____	= \$	/ m
Más costo indirecto	_____	= "	"
		SUMA	= "
Más utilidad	_____	= "	"
		SUMA	= "
Más impuestos	_____	= "	"
		SUMA	= "
PRECIO UNITARIO		= \$	/ m;

2.- ADEME CON MARCOS METALICOS

Costo directo	_____	= \$	/ pza
Más costo indirecto	_____	= "	"
		SUMA	= "
Más utilidad	_____	= "	"
		SUMA	= "
Más impuestos	_____	= "	"
		SUMA	= "
PRECIO UNITARIO		= \$	/ pza

3.- ADEME CON CONCRETO LANZADO

Costo directo	_____	= \$	/ m3
Más costo indirecto	_____	= "	"
		SUMA	= "
Más utilidad	_____	= "	"
		SUMA	= "

SUMA (hoja anterior) = \$ / m3
Más impuestos _____ = " "

PRECIO UNITARIO = \$ / m3

4.- ADEME CON ANCLAS

Costo directo = \$ / Pza
Más costo indirecto _____ = " "

Más utilidad _____ SUMA = " "
= " "

Más impuestos _____ SUMA = " "
= " "

PRECIO UNITARIO = \$ / Pza

5.- REVESTIMIENTO DE CONCRETO

Costo directo = \$ / m
Más costo indirecto _____ = " "

Más utilidad _____ SUMA = " "
= " "

Más impuestos _____ SUMA = " "
= " "

PRECIO UNITARIO = \$ / m

6.- BOMBEO DE INFILTRACIONES

Costo directo = \$ / m3
Más costo indirecto _____ = " "

Más utilidad _____ SUMA = " "
= " "

Más impuestos _____ SUMA = " "
= " "

PRECIO UNITARIO = \$ / m3

7.- SOBRECARRERO DE REZAGA

Costo directo	=	\$		/mlt-Km
Más costo indirecto	<u> </u> %	=	\$	"
	SUMA	=	\$	"
Más utilidad	<u> </u> %	=	\$	"
	SUMA	=	\$	"
Más impuestos	<u> </u> %	=	\$	"
PRECIO UNITARIO	=	\$		/mlt-Km

8.- ADEME CON MALLAS METALICAS

Costo directo	=	\$		/m ²
Más indirectos	<u> </u> %	=	\$	"
	SUMA	=	\$	"
Más utilidad	<u> </u> %	=	\$	"
	SUMA	=	\$	"
Más impuestos	<u> </u> %	=	\$	"
PRECIO UNITARIO	=	\$		/m ²

14.0.- PRECIOS UNITARIOS.

14.0.- PRECIOS UNITARIOS

Porcentaje de cargo por Impuestos:

Impuesto sobre la renta

Servicios de Inspección y Vigilancia de la SP y P

Aportación al Fideicomiso para Campos Deportivos Ejidales

Obras de Beneficio social

SUMA

=	_____	\$
=	_____	\$
=	_____	\$
=	_____	\$
=	_____	\$

$$\text{Cargo} = \frac{1.0}{1.0 - 0.} \cdot 1.0 \cdot 0. = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

1.- EXCAVACION DE TUNEL

Costo directo		= \$	/m.
Más costo indirecto	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más utilidad	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más impuestos	_____ \$	= "	"
		= "	"
PRECIO UNITARIO		= \$	/m.

2.- EXCAVACION DE ENCAPPILADO EN ZONA DE LUMBRERAS

Costo directo		= \$	/m ³
Más costo indirecto	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más utilidad	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más impuestos	_____ \$	= "	"
		= "	"
PRECIO UNITARIO		= \$	/m ³

3.- ADENE CON MARCOS METALICOS

Costo directo		= \$	/pza
Más costo indirecto	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más utilidad	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más impuestos	_____ \$	= "	"
		= "	"
PRECIO UNITARIO		= \$	/pza

4.- ADENE CON CONCRETO LANZADO

Costo directo		=	/m ³
---------------	--	---	-----------------

Más costo indirecto	_____ \$	= \$	/m ³
	SUMA	= "	"
Más utilidad	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más impuestos	_____ \$	= "	"
		= "	"
PRECIO UNITARIO		= \$	/m ³

5.- ADHES CON ANCLAS Y MALLAS METALICAS

Costo directo		= \$	/m ²
Más costo indirecto	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más utilidad	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más impuestos	_____ \$	= "	"
		= "	"
PRECIO UNITARIO		= \$	/m ²

6.- REVESTIMIENTO DE CONCRETO

Costo directo		= \$	/m.
Más costo indirecto	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más utilidad	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más impuestos	_____ \$	= "	"
		= "	"
PRECIO UNITARIO		= \$	/m.

7.- BOMBEO DE INFILTRACIONES

Costo directo		= \$	/m ³
Más costo indirecto	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más utilidad	_____ \$	= "	"
	SUMA	= "	"
Más impuestos		= "	"
		= "	"
PRECIO UNITARIO		= \$	/m ³



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

CONSTRUCCION DE TUNELES

San José de Costa Rica

Ing. Arne Samuelson

20-31 octubre

1980

Sam/MS

Resumen histórico y importancia de la excavación
subterránea

Sinopsis

La expansión demográfica especialmente en zonas urbanas y la crisis de energéticos son los factores más importantes para el cada día creciente uso del espacio subterráneo.

Otro factor importante es el mejoramiento de métodos y equipo que ha dejado los costos de la excavación subterránea casi en el mismo nivel durante unos 20 años, mientras el costo de la construcción en general se ha duplicado.

Naturalmente no es posible llevar esta ventaja para siempre, pero todavía existen muchas posibilidades de efectivizar la excavación subterránea. Hace 100 años el avance por semana en túneles fué en el orden de 5 a 10 m y ahora se puede calcular con 50 a 100 m por semana. Con topes en materiales blandos se ha logrado avances hasta 300 m por semana.

Los trabajos subterráneos son todavía peligrosos, pero la seguridad sigue mejorándose, con una reducción de accidentes como resultado.

San/ES

En la excavación rápida se ha empleado el rayo laser, para el control continuo del túnel, tanto para la dirección y nivel, como para la sección.

Ultimamente se ha realizado el sueño del tunelero con un escudo con colado continuo que deja el túnel completo atrás del escudo.

Resumen histórico

El significado de la palabra túnel, de acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española, tiene su origen en el idioma inglés y la define como: "Paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación a través de un monte, por debajo de un río u otro obstáculo".

Hoy en día existen varios tipos de túneles que no obedecen estrictamente a esa definición, por ejemplo los túneles de un complejo hidroeléctrico subterráneo.

El hombre ha luchado para adoptar el ambiente a sus necesidades desde el comienzo de su historia y en esta lucha la excavación de túneles ha formado una parte importante.

Sam/MS

Sin agua no hay vida, pero el agua no siempre está donde se necesita. En Egipto en la madrugada de nuestra civilización construyeron cavernas largas en caliza para almacenar agua traído desde lejos en acueductos.

Pero el túnel más antiguo, es quizá el construido en la antigua Babilonia, hace más o menos 4.000 años, por la reina Semíramis, en tiempos de Nabucodonozor. Este túnel, pasando por debajo del río Eufrates, comunicaba al Palacio Real con el Templo de Júpiter. Su longitud se estimó en un kilómetro y su sección fué rectangular de 3,6 x 4,5 m.

Para la realización de esa fabulosa obra, el río Eufrates fué desviado. Las paredes del Túnel se construyeron de ladrillo, pegado con mortero bituminoso y el techo fué formado a base de una bóveda.

En Jerusalem, Ezequías, Rey de Judá, hace 2.700 años, construyó un túnel de 200 m de longitud y que con sección cuadrada de 0,70 x 0,70 m servía para conducir agua desde un manantial cercano.

Sam/113

El historiador griego Herodoto en una de las obras más notables del siglo VII A C, nos narra que el pueblo griego fué capaz de perforar roca para construir un túnel de 1.500 m de longitud y con sección de 2,5 x 2,5 m para transportar agua en el Valle de la Isla de Samos. Este túnel fué descubierto por los arqueólogos modernos en 1881. La obra fué realizada con cincel y martillo y fué abierta a dos frentes.

En Egipto se tienen antecedentes de construcción de túneles en roca desde mil quinientos años antes de Cristo, generalmente para formar cámaras en donde se enterraba a los Faraones. Los ejemplos más notables los tenemos en algunas pirámides encontradas en el Alto Nilo, construidas en la época de Ramsés II.

Continuando con el mundo antiguo, encontramos relatos detallados de los Qanats del Irán o Persia, túneles que se usaban para captar agua en las zonas de la sierra donde había infiltraciones en los abanicos aluviales y llevarla hasta las planicies áridas con fines de obtener abastecimiento de agua tanto para la población como para la irrigación.

Sam/HS

Es importante destacar que todavía hasta hace poco tiempo estos túneles eran más económicas que la perforación de pozos. Se han realizado más de 250.000 km de este tipo de túneles. En la actualidad el 75 % del agua de irrigación y potable de Irán se obtiene de los Qanats.

Los Romanos emplearon numerosos túneles para la construcción de sus famosos acueductos. El construido por el Emperador Adriano para dar agua a Atenas, hace 1.800 años, llama poderosamente la atención, ya que reconstruido en 1925, actualmente se encuentra en servicio.

Antes de esta famosa obra, se había perforado un túnel carretero en la Colina de Polisipo, de 900 m de longitud y 7,5 m de ancho para el camino de Nápoles a Pozzuoli.

El primer acueducto público romano fué terminado por el Censor Apius Claudius Secus, quién había adquirido experiencia ingenieril en la construcción de la Vía Apia, durante la construcción de la Compuerta de Copena Acapua en el acueducto que corre paralelo a dicha vía, al Este de Nápoles. La toma del acueducto de la Vía Apia estaba en el Estado de Lucuyan, al Este de Roma y en esa parte el acueducto corría totalmente bajo tierra en un tramo de aproximadamente 16 km. Solamente 100 metros de él estaban

Sam/MS

formados por estructuras sobre el suelo; justamente fuera de la ciudad se unía con el Acueducto de Augusto y continuaba nuevamente a través de túneles por otros diez kilómetros, hasta el pie de Clímus Publici. El acueducto de la Vía Apia conducía aproximadamente $2,00 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua hasta dentro de la ciudad de Roma.

La historia nos señala un caso insólito, cuando en 1481, Ludovico Sforza, Duque de Milán, recibió una comunicación por la cual se le ofrecían los servicios profesionales de cierta persona para resolver cualquier problema en las artes y en las ciencias, asegurando que dicha persona podía construir toda clase de puentes, fortalezas, máquinas de guerra, túneles, minas, construcciones carpentarias, vagones indestructibles; además, se remarcaba que dominaba el arte de esculpir en bronce, en terracota y en mármol y por si todo lo anterior fuera poco, se afirmaba que no había mejor pintor vivo que el oferente.

Adicionalmente se comunicaba que conocía la manera de conducir el agua por medio de canales. Ante tan extraña situación el Duque Ludovico contrató al remitente como Ingeniero del Ducado y fué así como además de otras distinciones, el Duque pudo agregarse el crédito de haber

Sán/13

empleado al hombre más brillante de la época y uno de los grandes genios de la historia, se trataba de Leonardo da Vinci.

Todos conocemos la obra de Leonardo da Vinci; sin embargo desconocemos en su mayoría, y es justo el momento para reconocer en él al genio constructor que tuvo y desarrolló al haberse ocupado de la ampliación del sistema de canales de la Lombardía. Como la navegación interna de los alrededores de Milán ya dejaba mucho que desear, debido a que el agua escurría en forma intermitente y con poca regulación, Leonardo construyó una serie de compuertas, entre ellas una de las más importantes, cerca de la iglesia de San Marcos.

Dentro de los numerosos canales diseñados por da Vinci, se incluye uno que tuvo un túnel de kilómetro y medio a través de la montaña que permitió unir dos ríos, cuyos valles estaban separados por una barrera orográfica.

Métodos para excavación de túneles

Según los arqueólogos los primeros túneles penetraron roca suave (creta) para llegar a las bolas de pedernal (silicex). Pedernal era el material básico para herramientas y armas del hombre prehistórico.

San/MS

Hace 15.000 años los tuneleros de entonces usaron picos de cuerno de venado y hachas de pedernal para soltar el material en el frente y palas de hueso de omóplato para rezagar. El acarreo se hizo en bolsas de cuero y se nota el uso triple del venado en la operación.

Con excepción del uso del venado la técnica de excavación en suelos blandos de hoy no ha cambiado mucho.

Cuando encontraron el material duro lo soltaron con cuñas de hueso o de madera. La cuña de madera seca se introdujo en el frente y después mojaron la cuña. La madera se expande absorbiendo agua y este efecto rompe la piedra.

Hace unos 4.000 años se inventó el método de romper la roca con fuego, y este método predomina la excavación de roca hasta el siglo 19.

El método consiste en calentar el frente con una lumbre y después enfriarla con agua fría. El cambio brusco de temperatura causa tensiones en la roca, y se abren grietas. Con marros y cuñas se puede sacar la roca agrietada.

Echando agua sobre un fuego se producen gases de vinagre y las especificaciones de entonces tenían instrucciones muy detalladas sobre el uso del vinagre, que en realidad no da ningún efecto adicional.

Sam/MS

La eficiencia no era tan baja como puede imaginarse. Según datos conservados de una mina de plata en Masa, Suecia, el rendimiento era 500 pies cúbicos de roca por 163 pies cúbicos de leña. Este método se quedó en uso mucho después de la introducción de la pólvora negra para voladura de rocas. En la mina de Sala, también en Suecia, por ejemplo, se hizo este tipo de excavación hasta el año 1870.

Es fácil imaginarse los problemas de ventilación usando este método. En los países nórdicos se pudo usar las filtraciones casi siempre presentes de agua con una temperatura de + 6 a + 8 grados centígrados para enfriar la roca. Entonces se incendió la leña terminando el turno en la noche y la siguiente mañana entraron en un túnel despejado.

En México usan todavía un método antiguo que probablemente no tiene antecedentes en otras partes del mundo. En barrenos cortos se pone cal viva y después se echa agua en el barreno. La reacción química da expansión y calor y la roca se fractura. Se ignora los parámetros de bordo etc de este tipo de voladura, pero se supone que se aproveche los planos débiles como grietas, estratificación etc para aumentar el rendimiento.

Snn/ES

Es preciso denunciar la técnica obsoleta de los túneleros de tratar de aprovechar los planos débiles, usando métodos y equipos modernos. En el trabajo mecanizado no hay espacio para improvisaciones.

Los métodos antiguos requerían un gran número de obreros y por eso únicamente los conquistadores con éxito pudieron adquirir la cantidad necesaria de esclavos para realizar sus proyectos. Según los relatos los accidentes eran más graves y más frecuentes que hoy en día. Trabajando con esclavos nunca se pensó en mejorar la seguridad, sino reemplazar los obreros accidentados. La motivación para trabajar se midió con el látigo del capataz.

El Túnel Fucinus de 5,5 km de largo representa un jalón en la excavación de túneles. Se arrancó en el año 41 y necesitaba 30.000 esclavos más substitutes por los incapacitados para terminar el túnel en 11 años. Se ha estimado el avance por semana y frente a 7 a 8 cm.

La fig 1 es un grabado en madera del libro "De re metallica" escrito por Georg Agricola en 1556. Este libro en latín era el único manual sobre túneles y minería durante 350 años.

San/ra

Fig 1



ANTIGUO METODO DE
EXCAVACION TERRENICA

Sam/HS

El grabado ilustra la excavación térmica efectuada en el siglo 16. Métodos mejorados como el uso de vagonetas de madera sobre ruedas, fuelles forzando el aire fresco al frente por medio de tubos de madera y herramientas de metales más resistentes permitieron los avances por semana subir hasta 0,5 m a fines del siglo 16.

En túneles de mayor diámetro excavaron primero dos o tres túneles piloto, que después completaron a sección completa con ampliaciones laterales y banquedo. Entre los túneles piloto se podría también excavar galerías y poner "bostillas" de madera, con el fin de no exponer todo el claro del túnel a la carga exterior.

El procedimiento se usó mucho después bajo el nombre "El Método Austriaco" con la diferencia que los túneles piloto también tenían un ademe de madera.

No se debe confundir el "Método Austriaco" con el "Nuevo Método Austriaco", que es basado en concreto lanzado y anclas.

El siguiente paso en el desarrollo llegó con el uso de la pólvora negra en la minería. No ha sido posible verificar si en realidad los chinos inventaron la pólvora negra. Por otra parte sabemos que usaron la pólvora negra para fines bélicos en el siglo XIV.

San/135

Era Alfred Nobel que llegó a una solución para fabricación de un explosivo de nitroglicerina en escala grande. En 1864 Alfred Nobel arrancó la producción de un aceite explosivo. Uno de los obstáculos principales era de obtener una iniciación controlada del explosivo. Con la invención del estopín Nobel solucionó este problema. El primer estopín tenía fulminato de mercurio como agente explosivo, puesto en una capsula de cobre. Otro problema se presentó con el uso de un explosivo líquido. Llenando los barrenos con el líquido este puede dispersarse en las grietas y causar explosiones incontrollables durante la rozaga y la siguiente barrenación. Para evitar estos riesgos Nobel añadió tierra porosa (kieselguhr) y obtuvo una pasta plástica, más manejable. El producto se nombró dinamita. La desventaja en dinamita es que su potencia es baja y que no aguanta agua. En 1876 sustitió el kieselguhr por nitrocelulosa o nitroalgodon y obtuvo el producto que llamamos gelatina.

Alrededor del año 1957 empezaron usar explosivos sin nitroglicerina en Estados Unidos. Se trata del nitrato de amonio mezclado con fuel oil (ANFO) en forma cristalina o en granos y el slurry que es un explosivo viscoso. Ahora estos explosivos tienen una amplia aplicación en voladuras a ciclo abierto en minas y canteras. Se puede también usar ANFO en excavaciones subterráneas, pero solamente en condiciones secas, como el ANFO tiene muy poca resistencia al agua.

Sam/MS

En los primeros estopines la iniciación se hizo por medio de fulminato de mercurio. Este material se cambió más tarde por un material más durable. El disparo se hizo con mecha. En 1876 el americano H Julius Smith inventó un estopín eléctrico instantáneo y en los primeros años del siglo XX hubo una producción industrial de estopines eléctricos.

1922 llegó la introducción de los estopines eléctricos de retardo, con un retardo de 1 segundo en cada intervalo. Poco después llegaron los estopines con un retardo de mediosegundo. Es notable que los estopines de retardo de milisegundos no llegaron al mercado hasta 1954. Los estopines mili-segundos con retardos entre 10 y 100 milisegundos en los intervalos significan un avance muy importante en el desarrollo de la moderna técnica de voladuras.

La barrenación se ha desarrollado desde perforación manual a perforación altamente mecanizada con pistolas trabajando con aire comprimido y últimamente con el sistema hidráulico.

Como era más fácil barrenar hacia abajo, excavación de banco fue el método más empleado también en trabajos subterráneos. El italiano Germain Someiller diseñó la primera perforadora trabajando con aire comprimido suficiente robusta para el uso práctico. Esta perforadora se puso en

Sam/MS

trabajo en el año 1861 en un túnel piloto de 11 m² para la construcción del túnel del Monte Cenís, en los Alpes entre Italia y Francia.

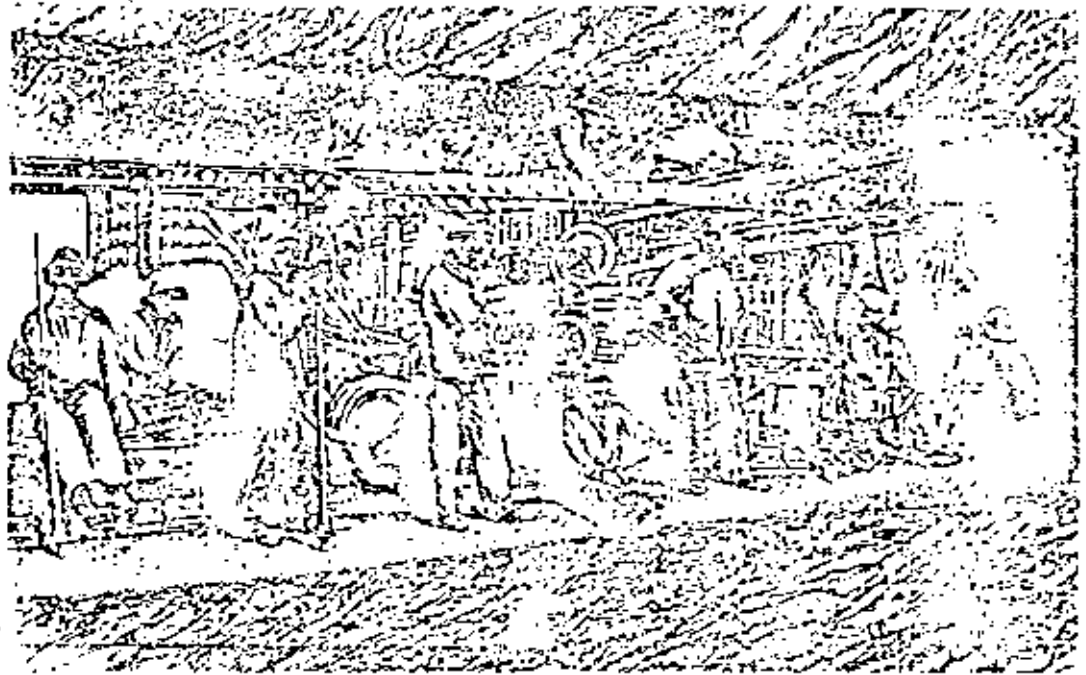
El proyecto consistía en un túnel de ferrocarril de doble vía con una longitud de 13,6 kilómetros. Los trabajos comenzaron en el año 1857 con perforación manual y un período de avance tal que los trabajos se habrían finalizado en treinta años.

En consecuencia, con los trabajos ya iniciados, los directores del ferrocarril decidieron emplear equipo neumático y Germain Smeiller, que era ingeniero jefe del túnel, se encargó el diseño de la perforadora, que logró hacer en 4 años. El vagón perforador, jumbo, (fig 2) tenía 9 perforadoras y el equipo de barrenación era de 35 hombres y 5 niños. Por el poco espacio en el jumbo usaron niños para engrasar las máquinas.

Algunos autores mal informados atribuyen parte del éxito del túnel de Monte Cenís al uso de la dinamita, pero la realidad es que se usó únicamente pólvora negra.

Sam/MS

Fig 2



VAGON PERFORADOR EN EL TUNEL DEL MONTE GENIS

Por los sueldos bajos en esta época, la perforación neumática no pudo competir con perforación manual hasta los primeros años del siglo XX. Las barrenas para perforación manual eran de acero forjado corriente. Las perforadoras neumáticas exigieron barrenas de una resistencia mucho más elevada.

Sam/MS

El logro más importante era la invención de la barrena con inserto de carburo de tungsteno que se hizo antes de la segunda guerra mundial. Pero hasta 1945 no hubo un método para soldar el inserto a la barra con suficiente adherencia para perforar en roca dura.

Con la nueva broca se pudo barrenar 10 a 100 veces más largo entre afilados y con la construcción de la perforadora ligera de pierna nació el Método Ligero Sueco que ha revolucionado el túnel en todo el mundo (tal vez con excepción de EEUU).

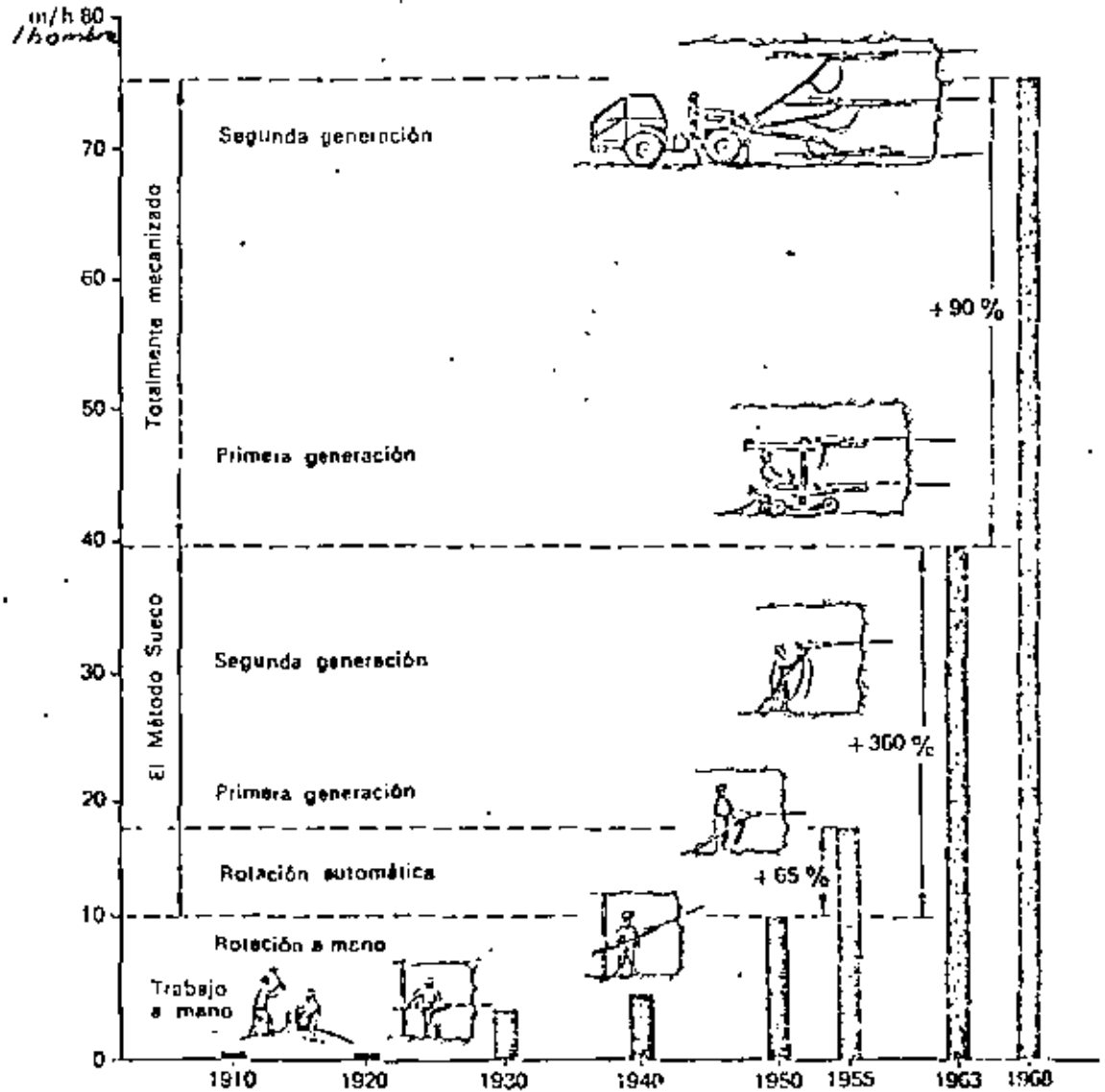
En fig 3 se muestra el crecimiento de la velocidad de perforación, 1905 - 1968, con el desarrollo de la técnica de barrenación.

Con el equipo moderno se puede adaptar la barrenación a cualquier necesidad en cuanto a dirección como a profundidad.

Los métodos de rezaga y transporte de la roca de las voladuras se han desarrollado desde el primitivo trabajo manual hasta el equipo moderno de hoy. Pero es evidente que especialmente en trabajos subterráneos la técnica de rezaga y transporte es muy retrasada comparada con la de perforación y voladura.

Sam/MS

Fig 3



DESAROLLO DE LA VELOCIDAD
DE PERFORACION

Sam/HS

Los topógrafos antiguos merecen su propio capítulo en la historia del tuneléo.

Muchos de sus métodos ingeniosos como el uso de la plomada, el sol y el espejo, son válidos hasta hoy en día. Apenas estamos reemplazando estos aditamentos con el giróscopo, el geodímetro y el laser. En la fig 4 podemos ver un control de topografía ejecutado en el siglo XVI.

Fig 4



METEO TOPOGRAFICO DEL SIGLO XVI.

San/MS

Importancia de la excavación subterránea

En el año 1979 la excavación de roca y minerales en todo el mundo llegó a un volumen estimado de 5.000 millones de m³.

La estadística no es muy exacta, pero se supone que unos 10 %, es decir 500 millones de m³, corresponde a la excavación subterránea. Es difícil imaginarse esta cantidad enorme, pero si lo transformamos a 200 m³ por minuto, tal vez es más tangible. La técnica moderna de voladura de rocas nos permite realizar proyectos que anteriormente no tenían una solución técnica o económica. Los siguientes ejemplos pueden ilustrar esto.

Los bajos costos de excavación han hecho varias minas lucrativas a pesar del bajo contenido de metal. Capas metalíferas subterráneas se han convertido económicas de explotar.

En zonas urbanas el alto costo del terreno ha forzado un uso más efectivo del subsuelo, con varios pisos del sótano excavados en la roca.

Con los métodos de hacer grandes túneles y cavernas, se puede utilizar los recursos hidráulicos en una forma más eficiente. Con plantas más grandes ha sido posible bajar los costos de construcción y mantenimiento por kWh y también

Sam/MS

con unidades más grandes se obtiene el mismo resultado. Además las unidades grandes tienen menos pérdidas hidráulicas y eléctricas. La solución subterránea ofrece también una buena protección contra actos de guerra como bombas y sabotaje.

La discusión ambiental ha actualizado plantas nucleares subterráneas. En Suecia están trabajando con un proyecto de este tipo. Las cavernas para los reactores tendrán proporciones enormes, hasta 50 m de ancho y 80 m de altura.

Depósitos subterráneos de petróleo y gas tipo LPG es ya una solución normal en muchas partes de Europa.

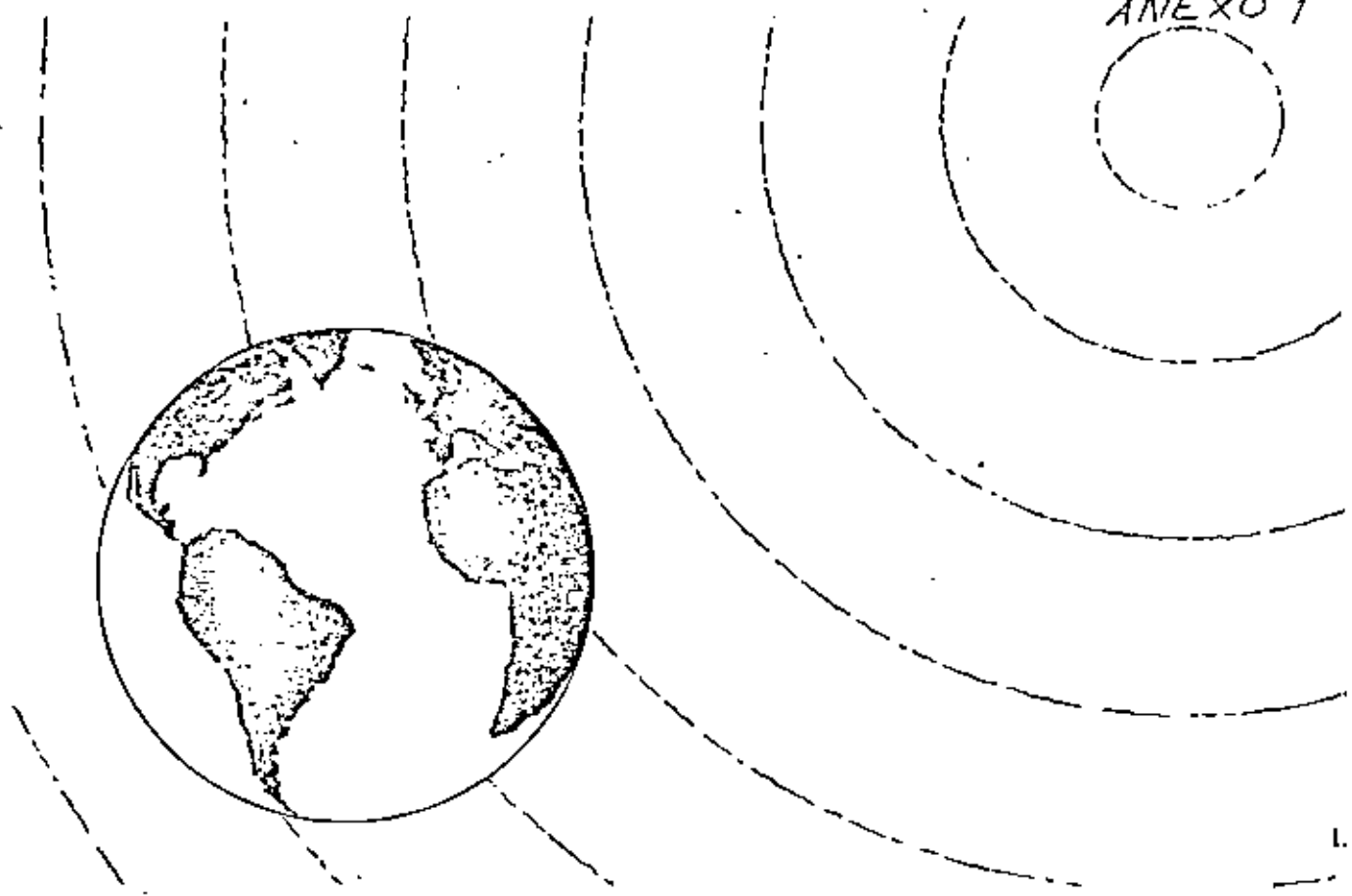
Para responder a las demandas del creciente tránsito la solución muchas veces es túneles. Un ejemplo es el túnel para autos en Suiza, que cruza los Alpes Suizos y que con su largo de 16,3 km es el túnel más largo del mundo en su género. Se abrió el túnel para tráfico en Agosto 1969.

Túneles para agua, alcantarillado y drenaje es otra aplicación de la moderna técnica de voladuras y en México tenemos el Drenaje Profundo, que es el proyecto más grande del mundo de este tipo.

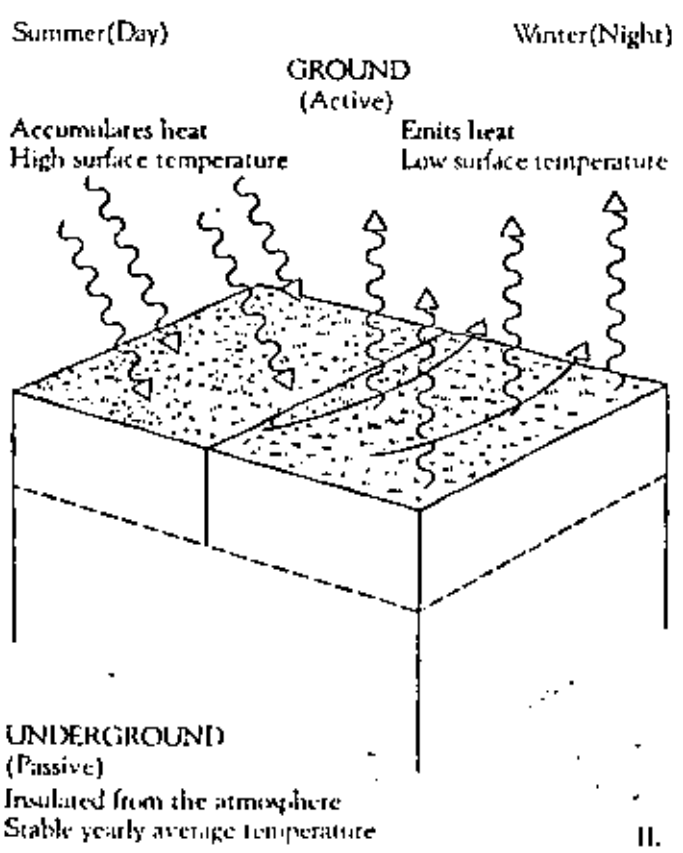
El interés para el subsuelo se muestra claramente en el anexo 1, que es una exposición del subsuelo como un

San/115

elemento de energía, publicado para el "Congreso del
Espacio Subterráneo" en Estocolmo en Junio 1980.
- - -



THE UNDERGROUND— AN ENERGY ELEMENT



From the geo-physical viewpoint, the Earth represents unlimited energy resources. The high-energy content of the inner Earth is of incalculable size, but is mainly unrecoverable given human technology of today.

The energy radiated from the sun is also tremendously great (Fig I). In striking the surface of the Earth, it heats it and generates forces that cause winds, currents, the recycling of water and energy on the surface and in the atmosphere. Human technology is well enough developed to utilize some of these renewable energy sources. It can be expected, however, that new technology will be developed to make use of large quantities of solar energy.

The surface of the Earth—the ground—can be characterized as the layer that actively takes part in the exchange of heat between the Earth and the atmosphere (Fig II). The ground receives heat radiation from the sun, stores it and emits it to the atmosphere by radiation and convection. The ground is active in the exchange of water. It receives water from rain and snow, stores it as groundwater and emits evaporated water to the at-

II.

mosphere. The ground is also active as the nursery and the feeding area for different kinds of vegetation and growth. The temperature in the surface ground follows the temperature of the atmosphere, but with a certain detention-inertness.

The deep underground is mainly unaffected by the atmosphere temperature. The temperature is close to the yearly average temperature of the atmosphere.

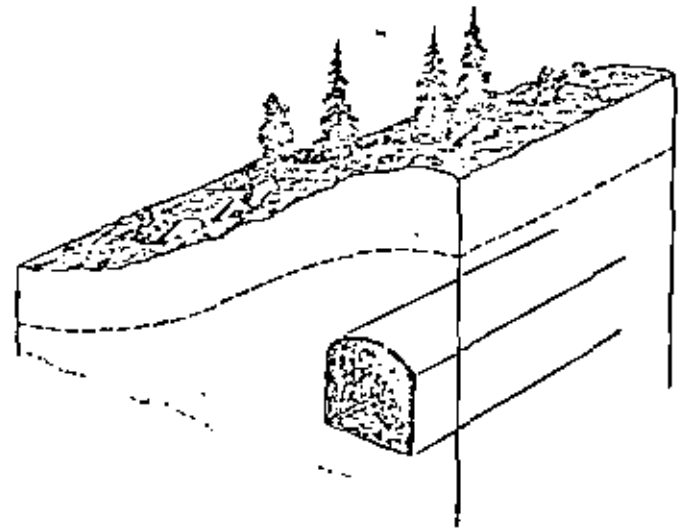
The surface ground and the underground offer low-grade heat content which can be utilized directly by means of heat pumps. Other characteristics of the subsurface are, however, of wider interest and greater importance for future energy conservation and the development of society.

A cavity or a cavern constructed under ground and surrounded by soil or rock mass at a depth below the active ground is effectively insulated from the atmosphere (Fig III). Heat transmission from the cavity is relatively low because of the stable temperature in the underground mass. The convection of heat to the atmosphere is negligible.

The surrounding mass offers considerable storage capacity for energy supplies to the cavity. This will result in a much lower demand for energy in order to keep the temperature at a certain level in the cavity, as compared with the demand for energy for a surface building. Savings of energy in the range of 50% will be possible.

Of particular interest is the storage capacity of heat and cold in underground space. Two effects should be considered, the insulating effect of surrounding mass and the contributory thermal storage effect of this mass, which latter will lead to almost constant power demands for heating or cooling throughout the year. Among the general advantages of wide utilization of the underground are that it is always available, that rock are inexpensive building materials, and that the construction technology to excavate or to build underground structures is well-developed and widely known.

Underground space is very often the only space left in congested urban areas for additional installations to make production, distribution and utilization of energy more effective. Underground space offers freedom in the siting of required installations with insignificant impact on built-up areas or valuable environments on the surface.



III. UNDERGROUND

Natural resource. Inexpensive.
Well developed technology. Indulgent to the surface. Insulated from the atmosphere. Low transmission, no convection. Thermal stability.

FUTURE NEED FOR ENERGY CONSERVATION

Energy is utilized to serve man and necessary functions within society:

- energy utilization facilitates industrial activities and all kinds of transportation.
- energy is largely used for heating and cooling— for conservation and preparation of food, and for comfortable living.

Prime energy has been a marvellous aid to mankind in the development of new technology and new conditions for living. However future access to prime energy resources will be limited for most countries of the world. We can also foresee a growing demand for energy from growing populations and the world's economic development.

In the global perspective, this recognition will lead to:

- strong and effective efforts to develop new technology that allows utilization of previously unused energy resources, mainly renewable ones related to solar energy.
- careful and purposeful conservation of energy in existing systems and built-up areas, including both technology developed to make energy utilization more effective, and reconsideration of activities and human behavior in society to meet future demands.
- rank ordering of the necessary access to different kinds of energy for: production, transportation, heating and cooling, lighting and electrical equipment.

The use of underground space is relevant here, and shows advantages both in the possible new technology that utilizes renewable solar energy sources and in the technology for making more effective use of energy in systems and built-up areas.

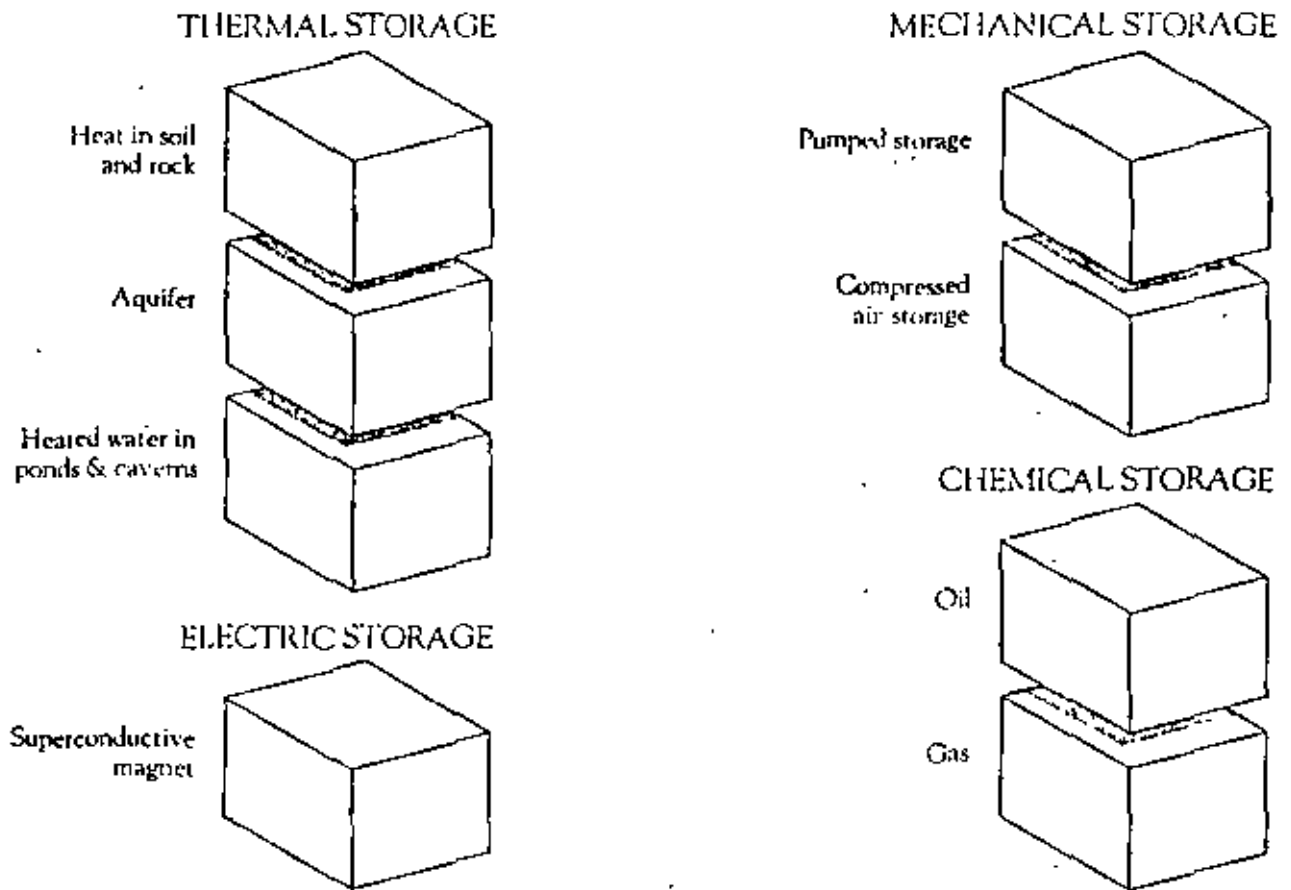
Sweden, like many other countries, must reduce its great dependence on imported oil. Access to electricity must be secured for important production, transportation, electrical equipment and lighting. Access to petroleum products should be secured for other important production and necessary transportation. Access to prime energy sources should also be secured for heavy energy supply systems which require a long time and high costs to replace. Government decisions express the ambition to achieve considerable energy savings in existing constructions and buildings, and to develop new technology which makes use of new energy sources, preferably solar.

Swedish underground construction technology has developed to the highest international level.

Underground structures are economical, save energy and will be included in the national energy conservation programme.

The following presentation of projects, experience and future potential has been divided under three headings:

- Underground energy storage
covering raw materials, heat and electricity produced, low-grade heat and waste heat.
- Underground buildings
covering energy demanding rooms and facilities requiring energy, general installations for accommodation, work and service functions.
- Underground siting of urban systems
covering transportation, urban supply, production and distribution of energy.



UNDERGROUND ENERGY STORAGE

IV.

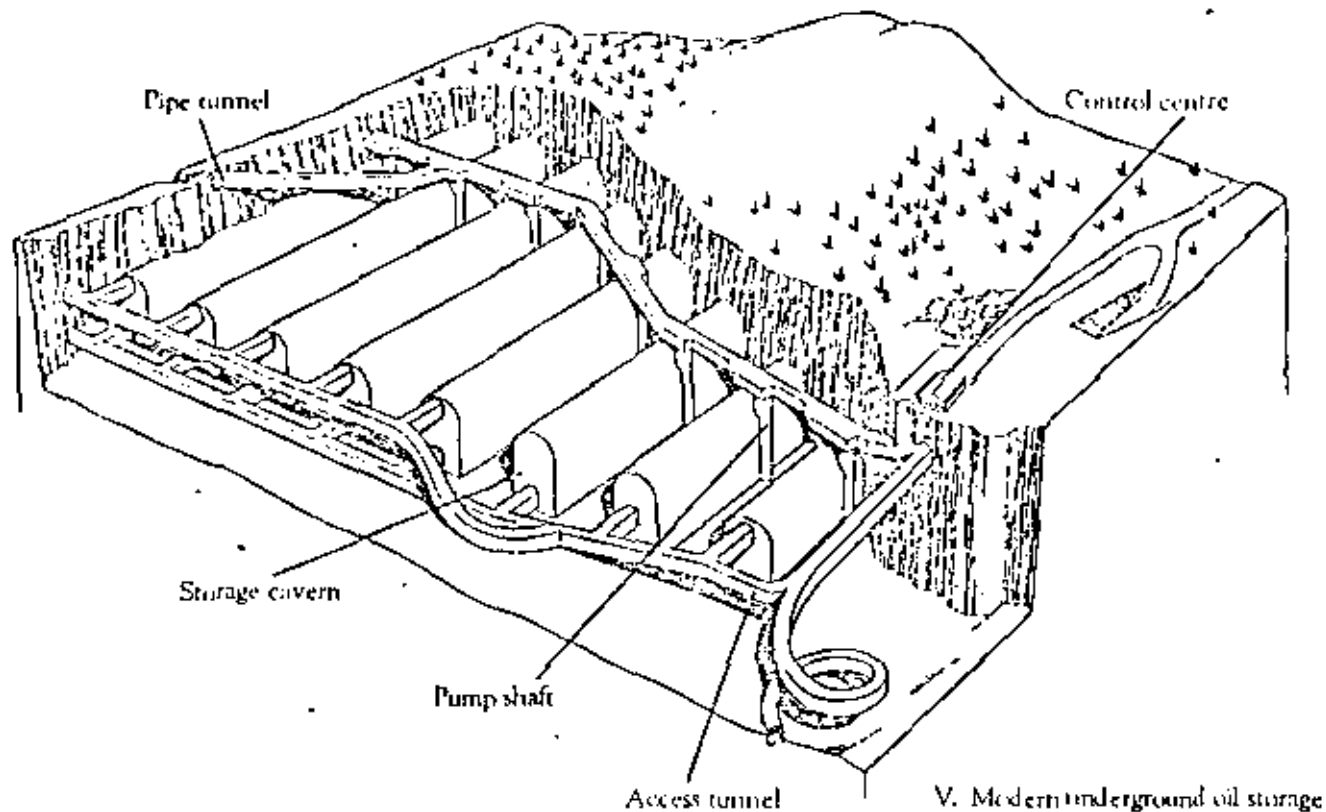
Storage of energy in various forms is a vital part of most energy supply systems. Storage is required not only as basic storage for large energy producers and consumers or as a reserve for strategic reasons, but also as a means of levelling out deviations in production and in the highly variable consumption of energy.

Pipelines and electric power transmission systems have a limited capacity and storage facilities are often necessary both at the point of production and close to large consumers.

New energy sources such as solar energy and the increasing use of waste or surplus heat will, when introduced to an appreciable extent in energy systems, require considerably greater storage capacity than today's sources owing their intermittent production characteristics.

As previously mentioned, reasons of cost, land use, safety considerations and environmental benefit, together with the heat insulating properties of soil and rock, make energy storage underground advantageous as compared to surface storage.

The most important type of storage underground in Sweden today is that of petroleum products, but introduction of solar energy will in the future greatly increase the demand for large-scale seasonal storage. Short-term storage for peak power production may also increase the need for more storage volumes underground in the future (Fig IV).



V. Modern underground oil storage

UNDERGROUND STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS

Sweden is one of the nations most dependent on oil in the world today. For climatic reasons large quantities are used for heating, and industry is also very sensitive to the supply of oil. Being totally dependent of imported oil, Sweden has a need to store large quantities for consumption and as reserves.

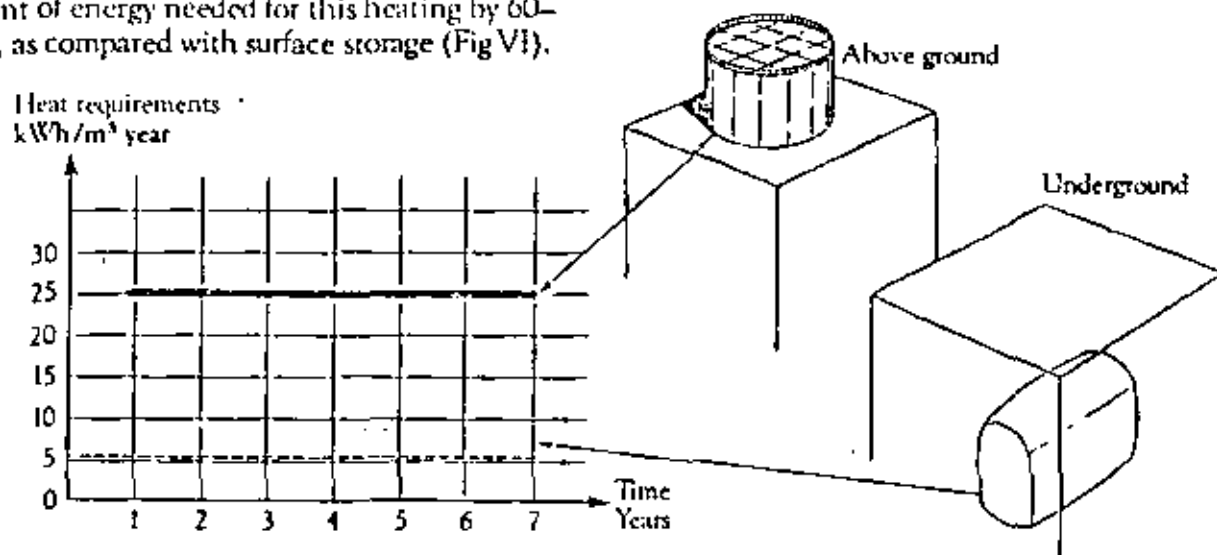
A considerable amount of this storage is done underground, and today the greatest use of underground space in Scandinavia is by far for storage of petroleum products. To reduce the considerable costs for such storage and to make possible optimal siting close to harbours, refineries, industrial plants, etc., without making use of large areas of land, rock caverns for storage of petroleum products have been in use since the 1940-ies. At present, more than 200 units are in operation in Scandinavia.

All these storage plants, with a size from 50 000 m³ up to 2.3 million m³, are constructed in the bedrock below the groundwater table (Fig V). The simple principle for storage of petroleum products in unlined rock caverns is based on the fact that oil is lighter than water, and that oil and water do not mix. The oil is retained in the cavern by the somewhat higher groundwater pressure. To make pressurized storage possible, the cavern must be located so deep below the groundwater table that the head of the groundwater in the rock above the cavern exceeds the gas pressure inside the chamber.

Many years' experience of oil storage underground shows that costs for construction and operation are 30-50% less compared with surface alternatives. For this reason, combined with better safety margins and environmental benefits, no other alternatives are usually discussed today in Sweden for largescale storage of petroleum products.

A major part of the oil products must be stored at a temperature between 50–70°C in order to avoid coagulation, and for quality reasons. In this respect, storage underground has reduced the amount of energy needed for this heating by 60–80%, as compared with surface storage (Fig VI).

Although this saving of energy is small, it is very important in principle, as it demonstrates the possibilities for subsurface thermal storage.



VI. Heat requirements for oil storage

UNDERGROUND STORAGE FOR PEAK POWER PRODUCTION

Underground hydro-power plants and pumped storage power stations using clams or natural formations as magazines are well-known. A much discussed possibility of interest is to create storage capacity by building systems of deep-sited underground caverns in areas where no natural water magazines exist, close to large consumers of electricity.

Such a system of caverns with a total volume of 4 million m³ may have a capacity of 500 MW for a period of ten hours.

Another interesting concept for peak power production is based on the gas tightness of water-filled rock, and the possibilities for large-scale storage of compressed air. During periods of low demand, an underground magazine is charged by compressor. During peak-load periods, the air is withdrawn from the cavern and mixed with fuel expanded through a turbine.

UNDERGROUND STORAGE OF HEAT

Within the field of energy conservation and heating, it is judged that the subsurface will in the future play an important role, primarily for large scale thermal storage.

More than 30-40% of Swedish energy consumption is used for heating purposes. A considerable part, more than 60% of this heat, is produced

from oil. To reduce this heavy dependency on oil, we must reduce the consumption of heat and find substitutional energy sources.

In this context, it is judged that use of waste- or surplus heat, from power production or industry, and solar energy will become increasingly important in the near future.

ENERGY CONSUMPTION AND THERMAL STORAGE

Total energy for heating in Sweden is likely to be somewhat between 110–140 TWh after the year 2000. It is expected that more than 30% will be used for heating of single houses, 25% for flats and another 25% for non industrial space. The rest, or little more than 10%, will be used for space heating in the industry.

There are several opinions on the question of how this energy should be produced, but in all forecasts there is a strong tendency to make as much use as possible of renewable energy and of waste or surplus heat from various sources.

According to official forecasts, perhaps up to 10% of our need for heating energy could be covered by such "alternative" energy sources by the year 2000, which demand storage normally from summer to winter. Extremely inexpensive methods will have to be used to make seasonal storage

of low temperature energy economical. There are today few other choices available other than storage in water or rock and soil. Since the "energy-density" of such magazines is low, huge volumes will be needed.

If, for example, 60% of the above mentioned alternative energy, i.e. 6 TWh should be stored in water at a temperature difference of 50°C, a storage volume of 100 million m³ is needed. This is equal to more than 150–200 of our largest oil storage facilities. A totally solar heated Sweden assumes that more than 40 TWh must be stored, which corresponds to a storage requirement of more than 700 million m³.

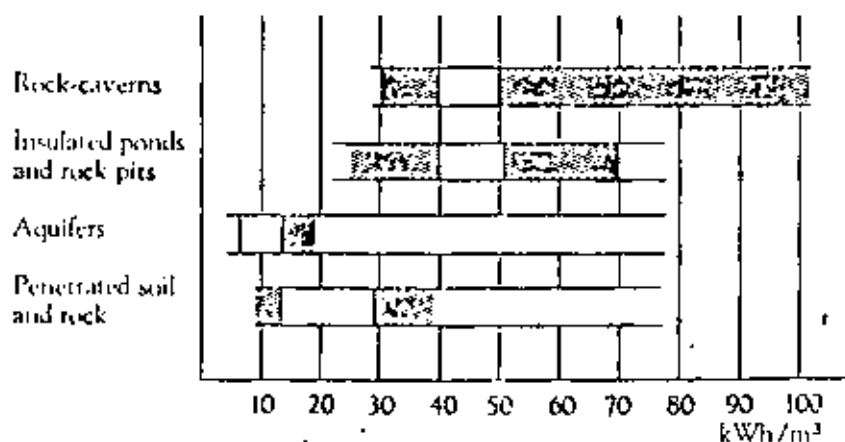
These figures indicate that the introduction of even a small amount of alternative energy means a tremendous increase in the need for inexpensive long-term storage.

METHODS FOR STORAGE OF HEAT UNDERGROUND

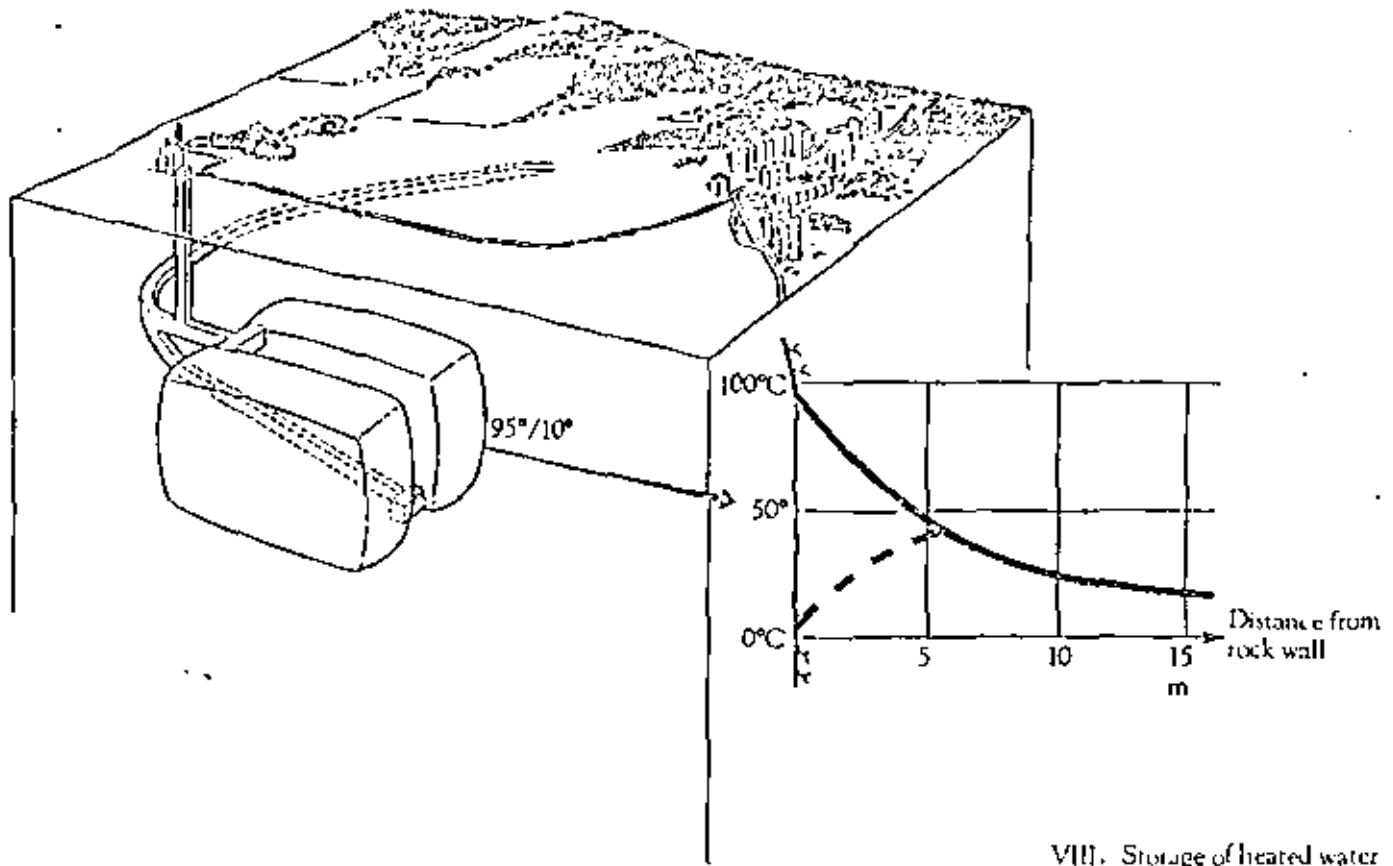
The extent of thermal storage in Sweden today is limited to a few hot water accumulators and the use of ground-heat in a small number of single homes. On the other hand, extensive research and development work are being carried out in nearly every field of energy storage.

The most important applications of subsurface thermal storage are:

- storage of heated water in rock caverns.
- storage of heated water in insulated ponds and rock-pits.
- storage in aquifers.
- storage in penetrated soil and rock masses.



VII. Heat storage capacity



STORAGE IN ROCK CAVERNS

Use of insulated steel tanks for storage of heated water on a large scale is considered too expensive, and alternatives in concrete and rock have been discussed for many years. As a result of the favourable experience of storage of heated oil in rock caverns, it seemed natural to use the same concept for hot water storage. After several years of research and development work, a first small demonstration plant is at present being implemented and several other larger ones are being seriously considered (Fig VIII).

It is planned to use unlined, open or block-filled caverns situated below the groundwater table, and the storage water is connected to the external heating system via heat exchanger. For short term storage (days or weeks), the probable temperature range is 85–125°C, and for seasonal storage a temperature between 10–95°C has been discussed. The size of the caverns may vary from 50 000 m³ up to several hundred thousands m³.

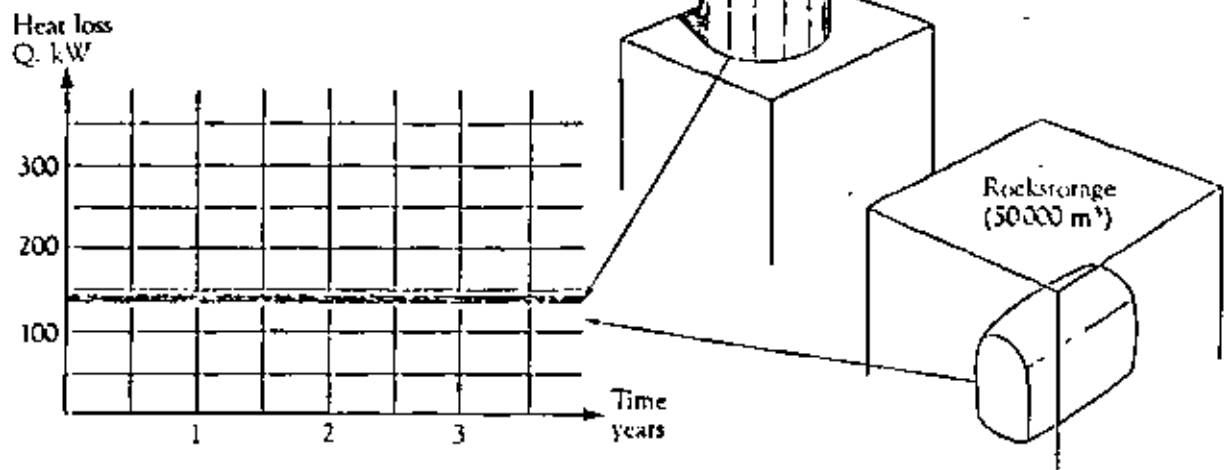
The underground alternatives are considered to be advantageous both from the economical and technical and from the environmental points of view.

Hence, a hot water storage facility in rock can be constructed at a fairly low cost and at the same time offer a heat insulation capacity comparable with an insulated steel tank above ground (Fig IX).

The facility can be given an optimal shape and easily be pressurized by choosing a level below the groundwater table.

More important, however, is the fact that underground siting permits optimal location below and close to the consumer or producer, without negative impact on the surroundings.

Although most experts find the methods realistic, certain questions and assumptions still have to be answered or verified before the potential of this kind of storage facility can be fully evaluated. Theoretically, the potential is very large since the main precondition—a suitable rock formation—is available over almost the whole of Sweden.

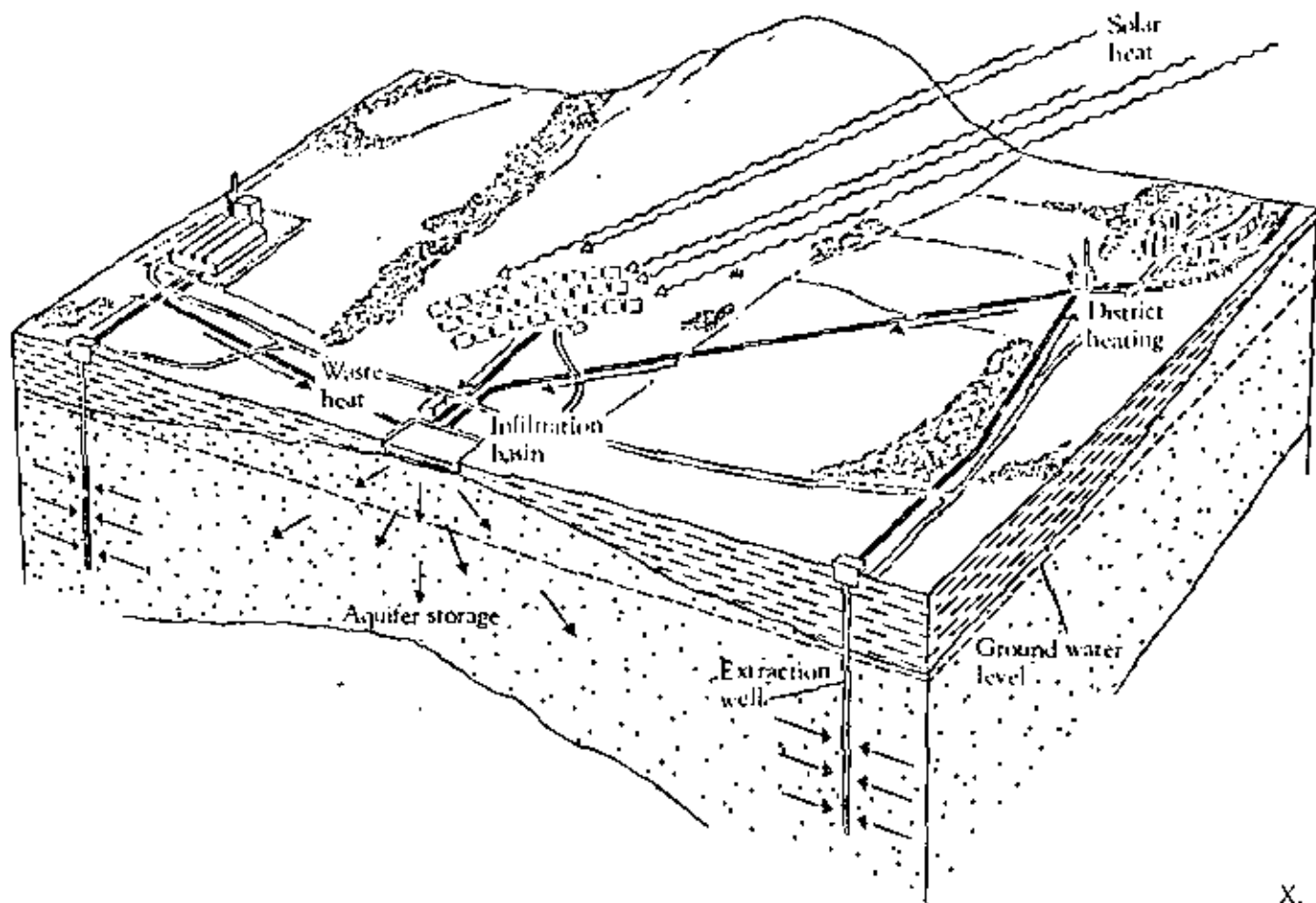


IX.

STORAGE IN PONDS AND ROCKPITS

Excavated or blasted pits can be used for inexpensive thermal storage if the ground is easy to excavate or if no excessive care need be given to blasting. Several demonstration plants of reduced size are at present in operation in Sweden. A development towards the use of blasted pits in rock

would increase the potential for future use of this kind of storage, in particular of the block-filled alternative, where the surface above the storage facility can be used for building purposes, solar collectors etc.



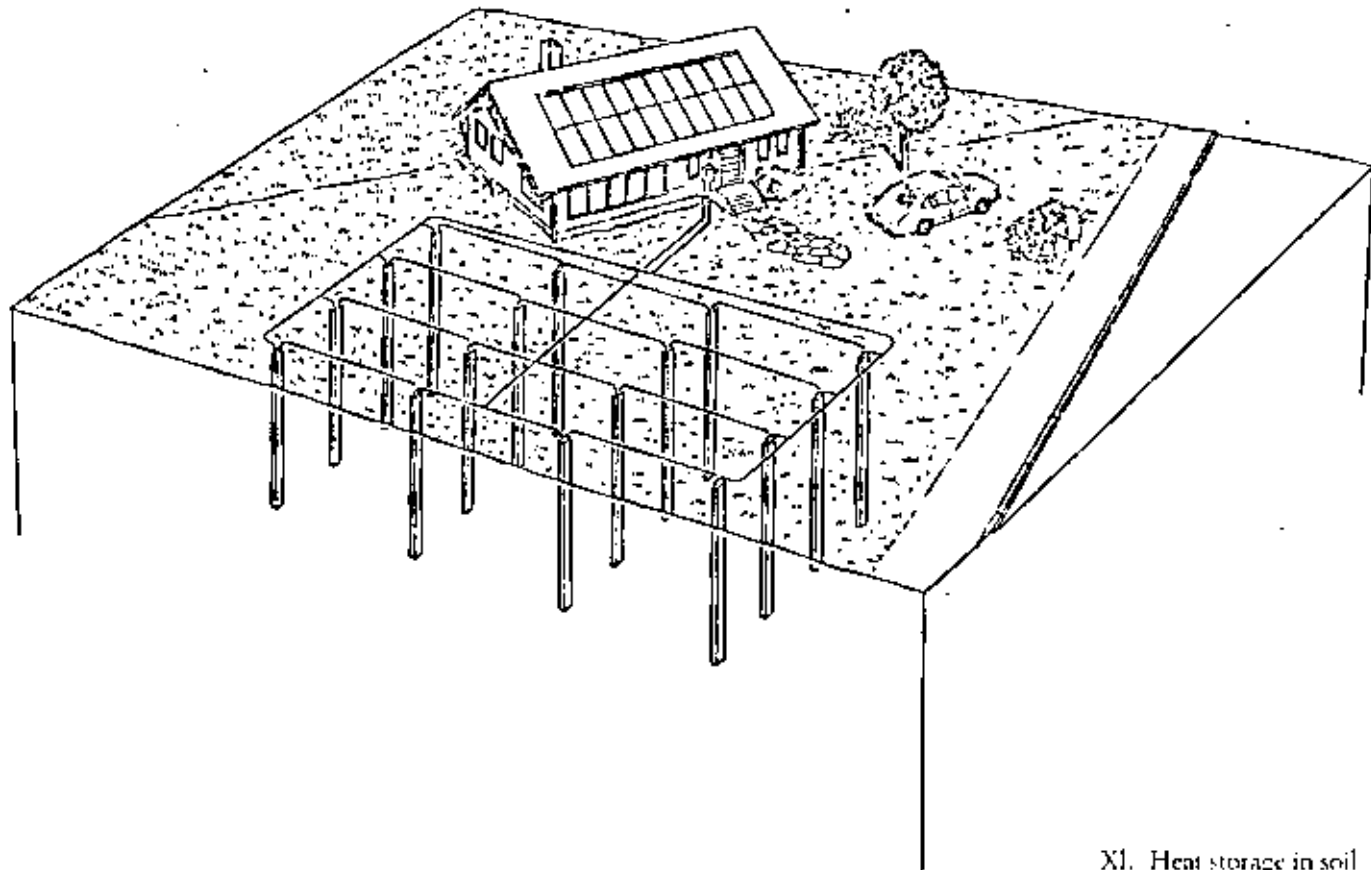
X.

AQUIFER STORAGE

Heat storage in natural or artificial groundwater basins is considered an economical and simple possibility for large scale systems. Several projects have been studied in Sweden during the last years, and today preparatory work is being carried out for a first demonstration facility.

Primarily, eskers in the vicinity of cities and towns are assumed to be the most suitable geological formations (Fig X).

Since this type of formation is quite common in Sweden, the potential of storing heat in aquifers is large, but somewhat limited by the fact that a controlled situation in a porous formation normally only permits low temperature in the water. The small temperature difference and lower heat storage capacity of a ground water system make 10 times less efficient for thermal storage as compared with rock cavern storage. This means that such storage facilities demand very large underground space which may cause conflicts with other interest and limit their usefulness.

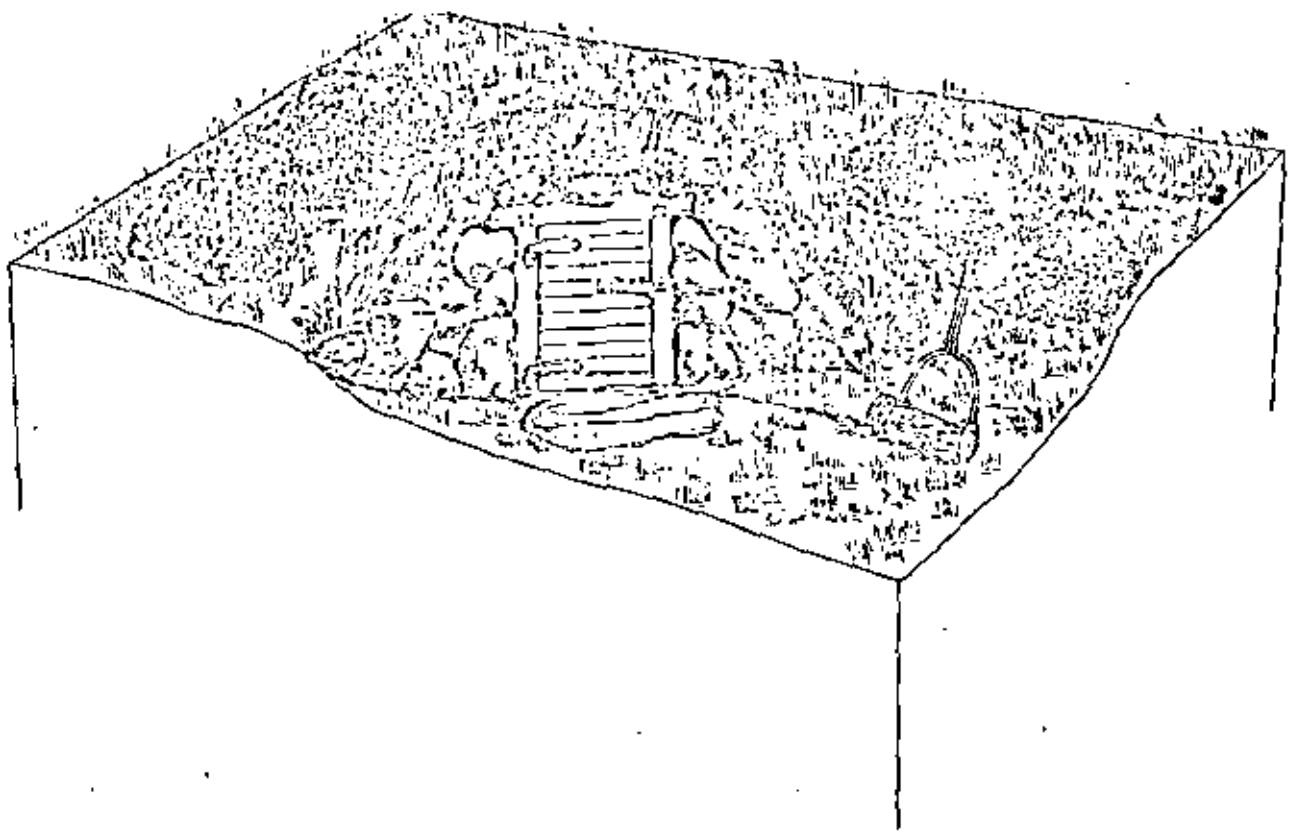


XI. Heat storage in soil

STORAGE IN PENETRATED SOIL AND ROCK MASSES

Direct storage of heat in soil and rock masses is a solution for thermal storage which can be used on both small and large scales. Several systems using tubes and boreholes are now being evaluated in pilot tests. In particular, heat storage in clay formations and systems using boreholes penetrating large volumes of rock seem to be the most interesting lines (Fig XI).

The thermal storage capacity of such a system may be less than 25% of pure water storage in rock caverns. From the theoretical point of view, these methods offer large possibilities for storage, but geological factors may reduce their applicability.



UNDERGROUND BUILDINGS

Cavities and man-made caverns underground have been used for thousands of years in order to obtain suitable climatic conditions for people to live in or for food to be stored in.

They have been used in hot and cold climate zones, as well as in moderate climates.

Economic development, readily available energy and the manufacture of inexpensive, convenient and efficient equipment for climatic comfort during the last century have, however, made households, distribution systems and production of necessities less dependent on natural resources,

but very much dependent on prime energy. The old tradition of utilizing the natural resources of the underground has gradually been lost and little attention is paid to the question of whether underground space is still of interest to society. The availability of inexpensive prime energy, however, is experienced as liberating to individuals and society.

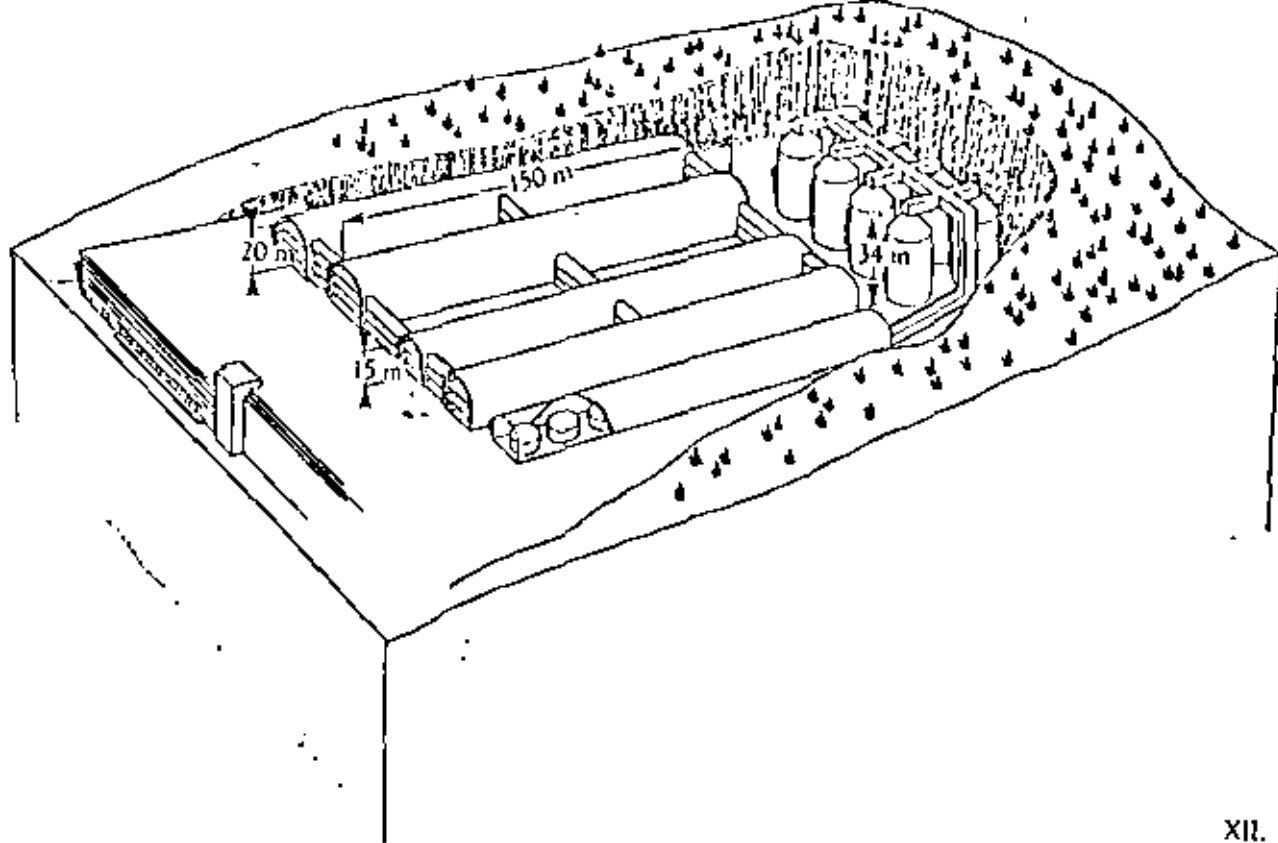
The future indicated, including the necessary reduction of prime energy utilization, requires reconsideration of future goals and of the future relationship between energy, ecology and economy, as regards both utilization and conservation.

A great part of the energy currently generated is used for heating and cooling buildings and for work, service and living purposes. Future conservation of energy, currently a question of considerable urgency, should therefore comprise both energy savings in existing buildings and conurbations and considerable reduction of the energy demanded by new installations and buildings. The utilization of underground space in energy conservation must be considered in the relocation of activities and functions from existing buildings to less energy-demanding rooms underground, mainly in basements and cellars. New underground buildings should be considered when designing and planning new development areas and conurbations, and also as complementary developments in existing urban areas, in the case of energy-demanding activities.

Energy-demanding activities which should be considered for underground location are the production, handling and storage of cold and frozen products, activities and storage which require a stable and relatively high temperature and large space, and areas demanding medium temperature but intended for low frequency human use or through-out of goods.

Consideration of general activities, service function and dwelling for underground location must be based on social and psychological evaluation of human living underground and the conditions of the natural and the existing urban environment on the surface. In general, there are serious objections to human living underground. On the other hand, many activities are located in windowless rooms lacking direct contact with the open air, of which the public is not conscious and to which it does not object. It is reasonable to state as an objective: "things underground-people on the surface". However, the pressure on the necessary reduction of energy required on the revitalization of congested urban areas, and on conservation of important and valuable building resources will possibly also change the public's approach to utilization of the underground.

The projects presented below have been designed for reasons other than energy conservation; the aims have rather been achievement of good economy, protection and positive effect on the environment. Experience of energy saving has been gained in the light of greater and more conscious interest in the cost of energy over the last five to ten years. Consequently, these and other projects already carried out have not been deliberately designed to achieve the greatest possible energy saving effect.



XII.

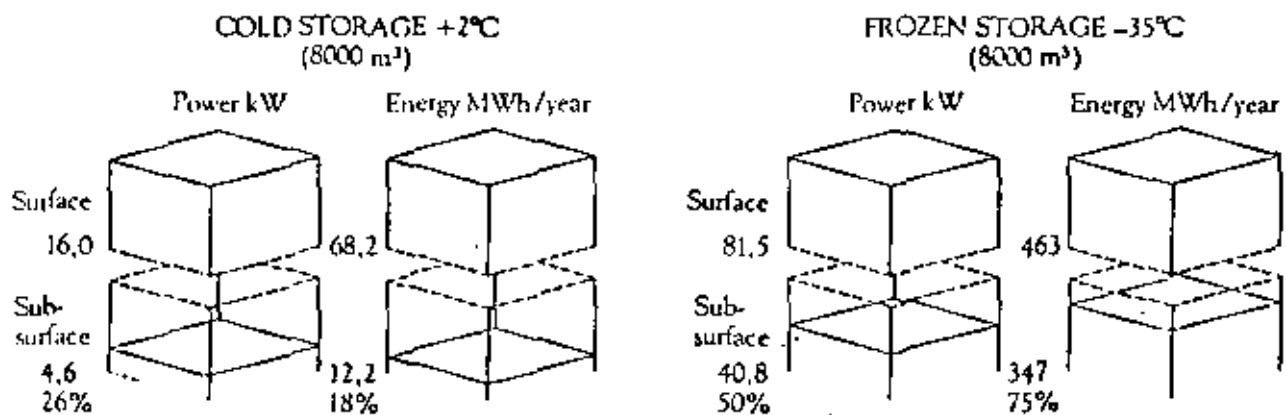
STORAGE OF COLD AND FROZEN PRODUCTS

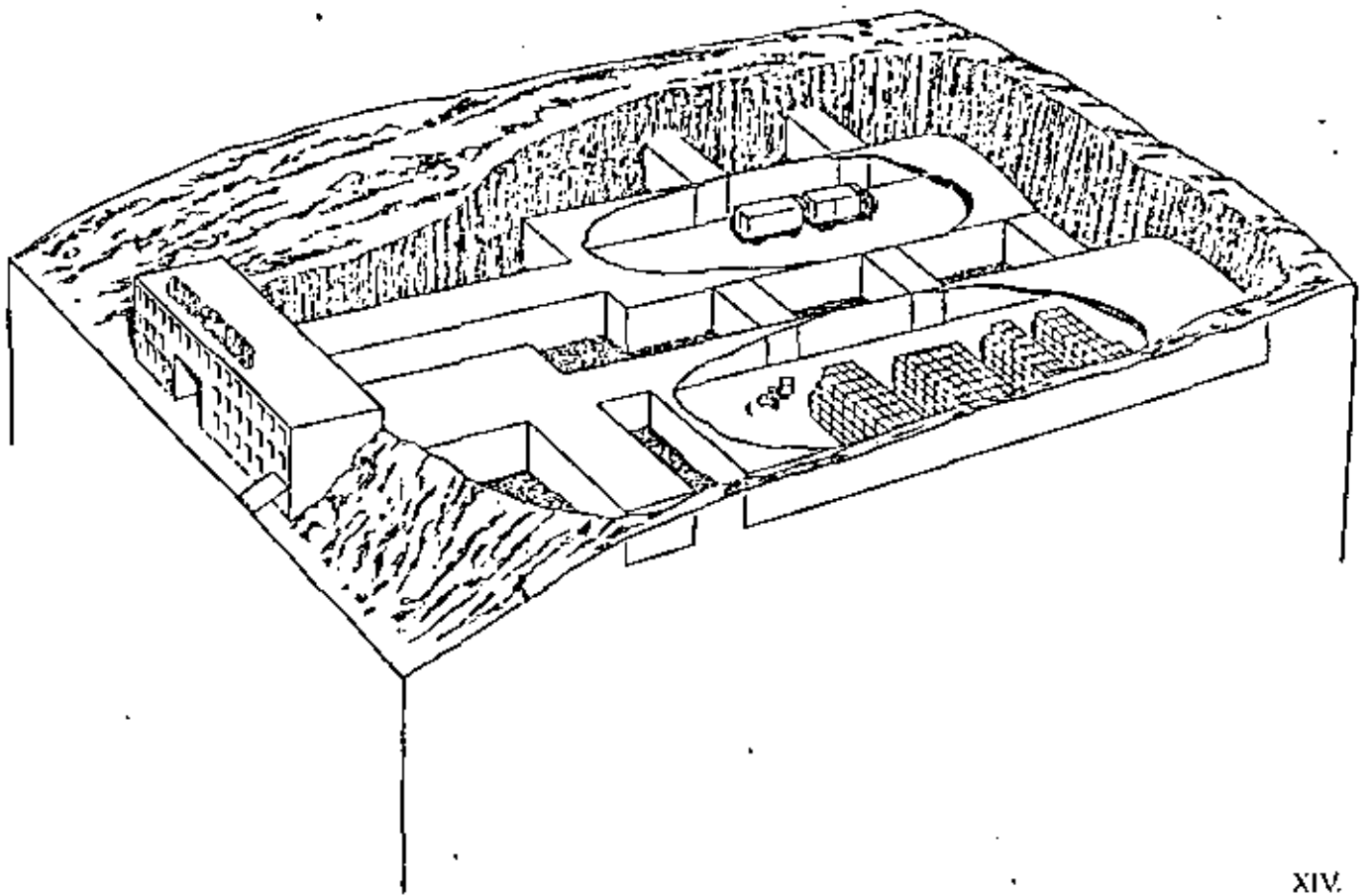
A great number of underground storage facilities for cold and frozen products have been constructed in rock caverns. The products are generally different kinds of foodstuffs. The effect of underground siting is for this reason of the utmost importance for the supply of the population and for energy conservation. Although data on energy demand for these installations are sparse, a general picture will be given.

Fig XII shows the storage facility for wines and spirits for the Swedish Wines & Spirits Monopoly in Stockholm. The whole storage area is constructed in rock caverns. The low, stable temperature of the underground has been utilized on the whole without any additional energy supply for cooling or heating.

A simulation analysis is required in order to give the potential energy saving effect of an underground cold storage facility. A study of this kind has been carried out by M. Dørum, (Fig XIII).

XIII. Calculated values (M. Dørum)





XIV.

An underground cold storage facility with a required temperature of $+2^{\circ}\text{C}$ is compared with a surface storage facility under the same conditions. The energy demand for the underground storage is only of the order of 20% of demand for a surface storage.

Fig XIV shows "Cold Stores" a storage facility for frozen products constructed in rock caverns in Stockholm. The same company owns a similar cold storage facility constructed on the surface 100 km from Stockholm. The storage temperature is -25°C . A direct comparison between the two facilities shows savings of energy in the range of 18% in the underground storage facility. This underground cold storage facility has, however not minimized the energy demand for cooling.

In order to find the potential energy saving effect, we must examine a simulation of the energy flow in the underground activity and in the surrounding rock mass. The study carried out by M. Dyrum, also covers storage of frozen products. (Fig XIII).

Comparison with a similar surface storage facility shows a potential energy saving effect in the underground storage facility in the range of 25%.

These projects and studies are representative for projects and studies carried out in Sweden, Norway and the USA. It has been shown that great energy savings are possible by storing cold and frozen products in underground caverns. The installed power for cooling (and heating) can be reduced to 50% for frozen products and to 25% for cold products, compared with similar surface storage facilities. Temperature stability is considerable and allows interruption of the energy supply for long periods without any damage to the stored products.

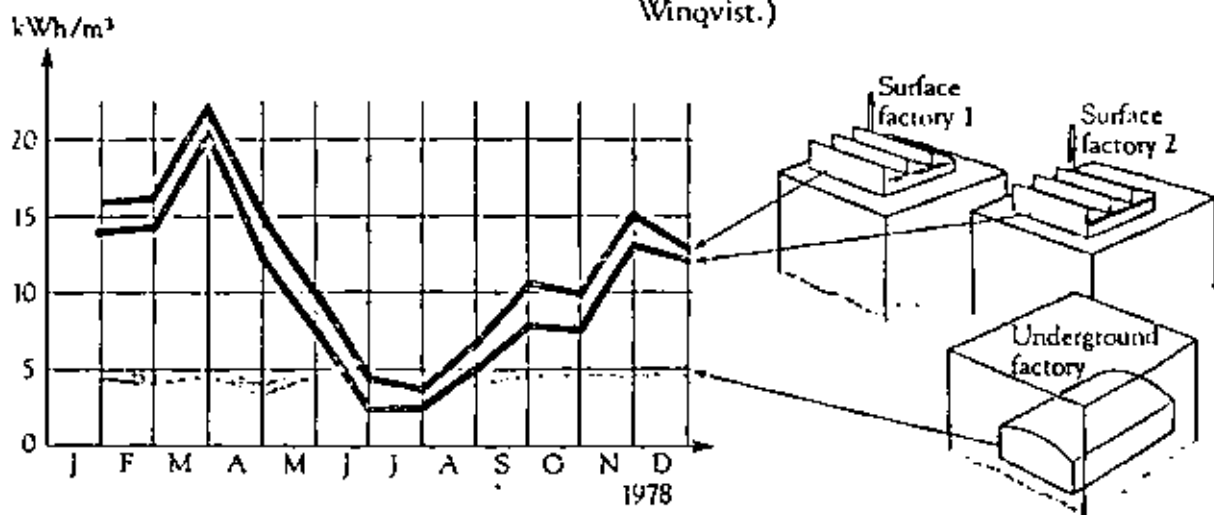
Most large storage facilities are constructed in hard or soft rock, where the construction cost is known to be low. Storage in soil is possible and will give the same or even better energy-saving effect, but the construction cost has not been recorded for any known project.

The market for energy-saving storage facilities constructed for cold and frozen products seems to be unlimited in areas of extreme climatic conditions and in countries where protected storage for safe food supply to the population is urgent.

GENERAL INSTALLATIONS FOR ACTIVITIES, SERVICE, STORAGE AND DWELLING

The utilization of underground space for many kinds of functions has been motivated by low cost, lack of surface space, demand for protection, and environmental requirements. Recognition of the energy savings in these facilities has only to a marginal extent been expressed in any data. A few careful investigations have been completed, which will be reviewed in this report.

Three comparable Swedish factories have been investigated. One of them is constructed in rock caverns. Energy consumption is summarized in the diagram (Fig XV). The energy demand, including that for heating, cooling and ventilation, shows a considerable saving of energy in the underground factory, 40% of the demand in a surface factory. The installed power can be reduced to a quarter. (BFR, Stockholm, K. Windelhed, T. Winqvist.)



XV.

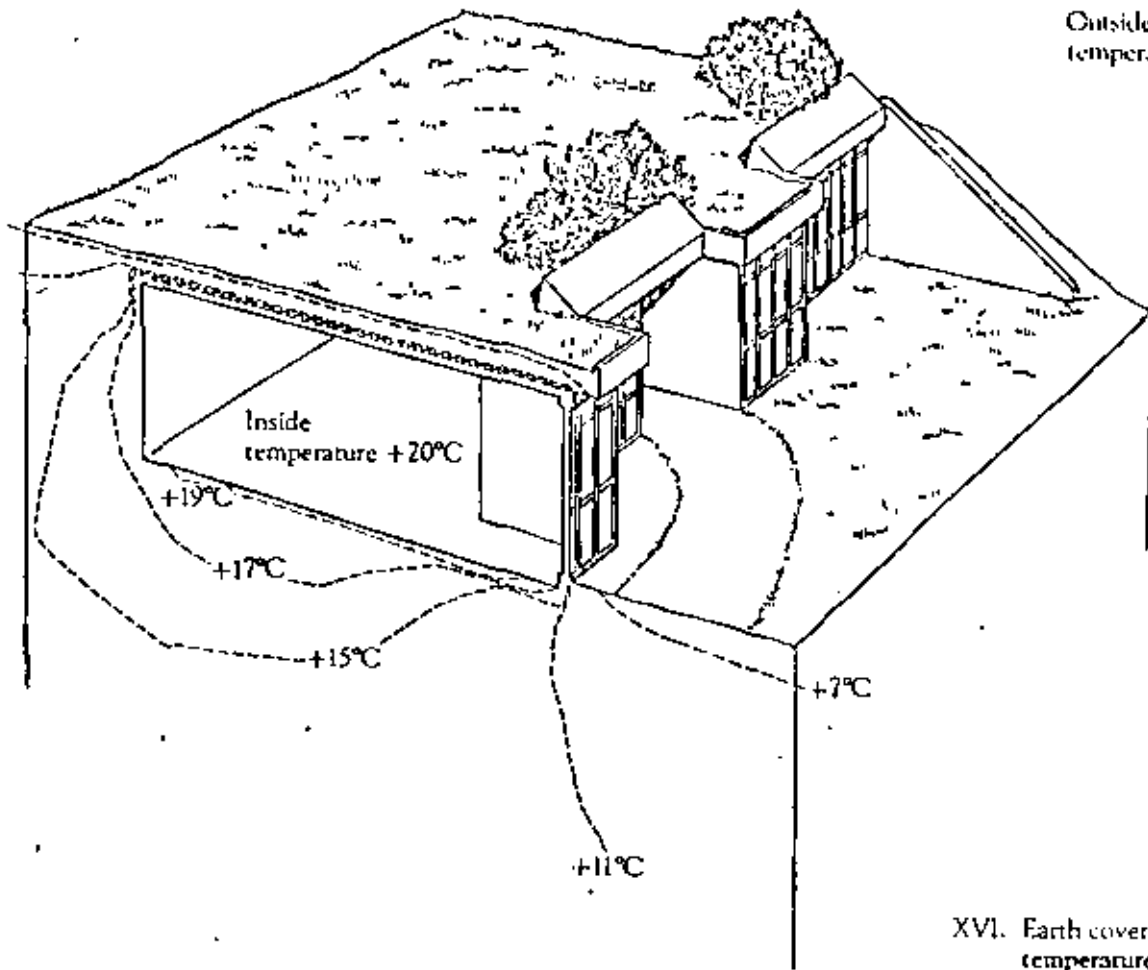
Similar results emerge from a study for a rock storage facility for products at normal room temperature (+18°C) in Norway (M. Dørum). The construction cost is estimated to be 12% higher in the rock storage facility compared with a surface alternative.

Many underground installations have been partly financed by civil defence authorities in order to serve as shelters in war time. The energy saving effect has not to date been considered in Sweden. It is, however, evident that the combination of benefits in underground installations will have a great influence on the evaluation. A number of sports halls in Norway have been constructed in such a way that they also serve civil defence interests. They show great energy conservation effects.

Installations in rock are usually surrounded by a thick rock mass. Construction of many urban underground installations, however, directed by other considerations which leads to their being sited close to the surface and to the construction as cut and cover structures with a thin covering layer. The shopping areas in connection to metro stations are representative of this kind of construction. The energy-saving effect of these installations is expected to be less than in deep rock structures. Relatively wide areas for pedestrians are, however, connected to these shopping areas, and these have a comfortable climate created for metro passengers and others. The energy demand for these areas is low or nil.

As a basis for future consideration, it is of great importance to note that most of the physical activities carried out in society have been subjected to examination in an underground context in Sweden and several other countries. Based on recent evaluations, it is reasonable to state that priority should be given to activities which do not involve a great number of people in lengthy stays completely underground.

Outside
temperature +6,6°C



XVI. Earth covered building,
temperature distribution

EARTH-COVERED BUILDINGS

A specific kind of building is, however, under development which combines the characteristics of underground rooms with conventional requirements on daylight, direct communication to the open air and outlook on to the surface environment.

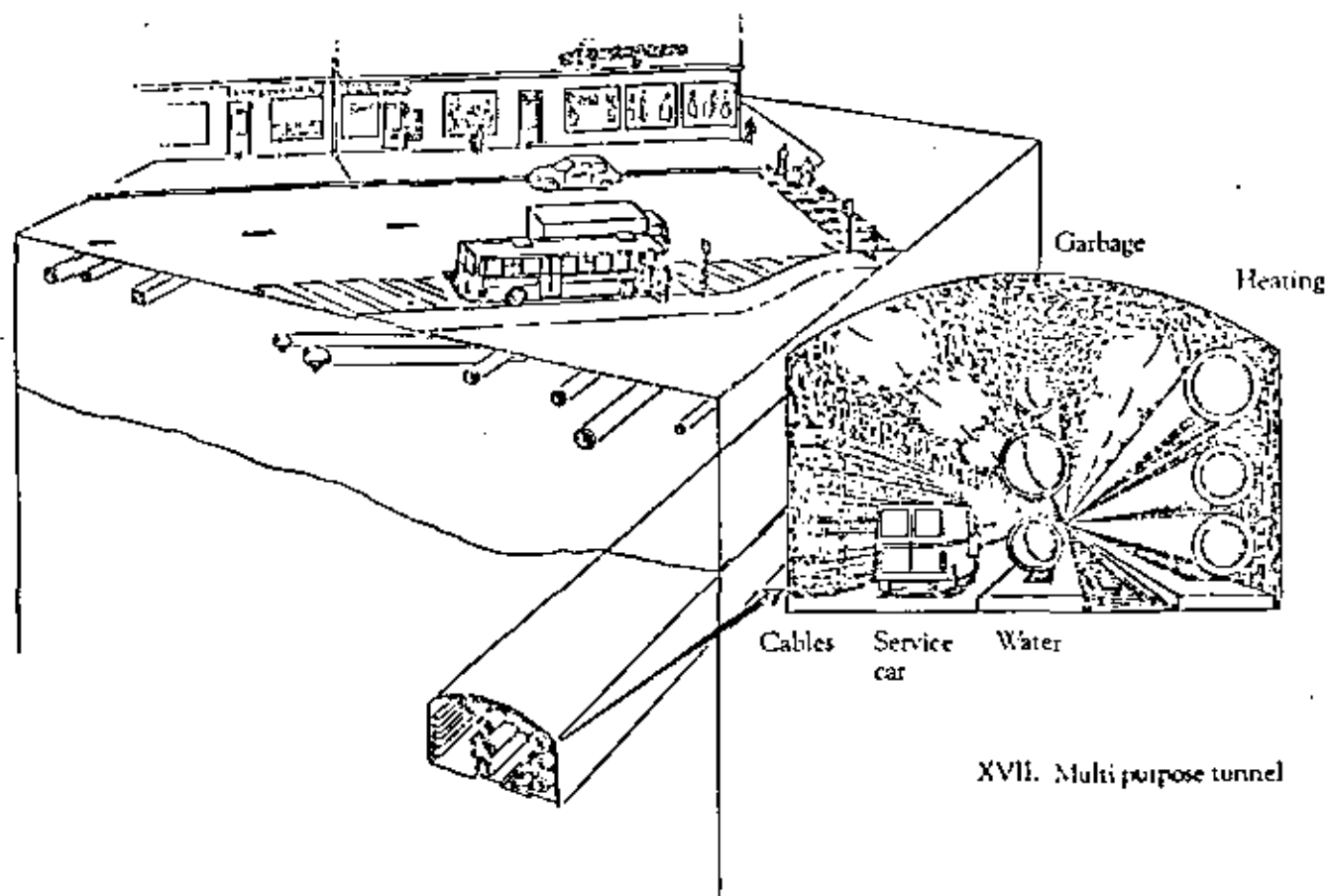
These structures are known as earth-covered or earth-sheltered structures and show different shapes. One common feature is that they leave one side of the building in contact with the atmosphere, while the other is covered by the ground and/or excavated earth.

Earth-covered structures have been developed in the USA and utilized for a range of functions. More than 3 000 small houses detached or semi-detached, have been constructed over a period of years. The motives are equalization of energy demand over the year, reduction of the total demand for energy and preparation for effective use of solar energy in heating and cooling. New ideas on landscaping in congested residential areas is also an underlying factor.

A Swedish study performed in cooperation with the Underground Space Center at the University of Minnesota indicates a possible saving in energy demand of 20–30% in an earth-covered house compared with an ordinary well-insulated house in Sweden today. The advantages evident are reduction of the heating effect demanded and prevention of interior temperature changes resulting from temperature changes outside (Fig XVI).

Earth-covered structures highlight the question of social and psychological acceptance of new structures and new behaviour to achieve efficient energy conservation. This question must be brought before the public by information, debate and demonstration projects.

Politics and physical planning must, however, take into consideration underground buildings as an element of importance in the future development of society and in the necessary measures for energy conservation.



XVII. Multi purpose tunnel

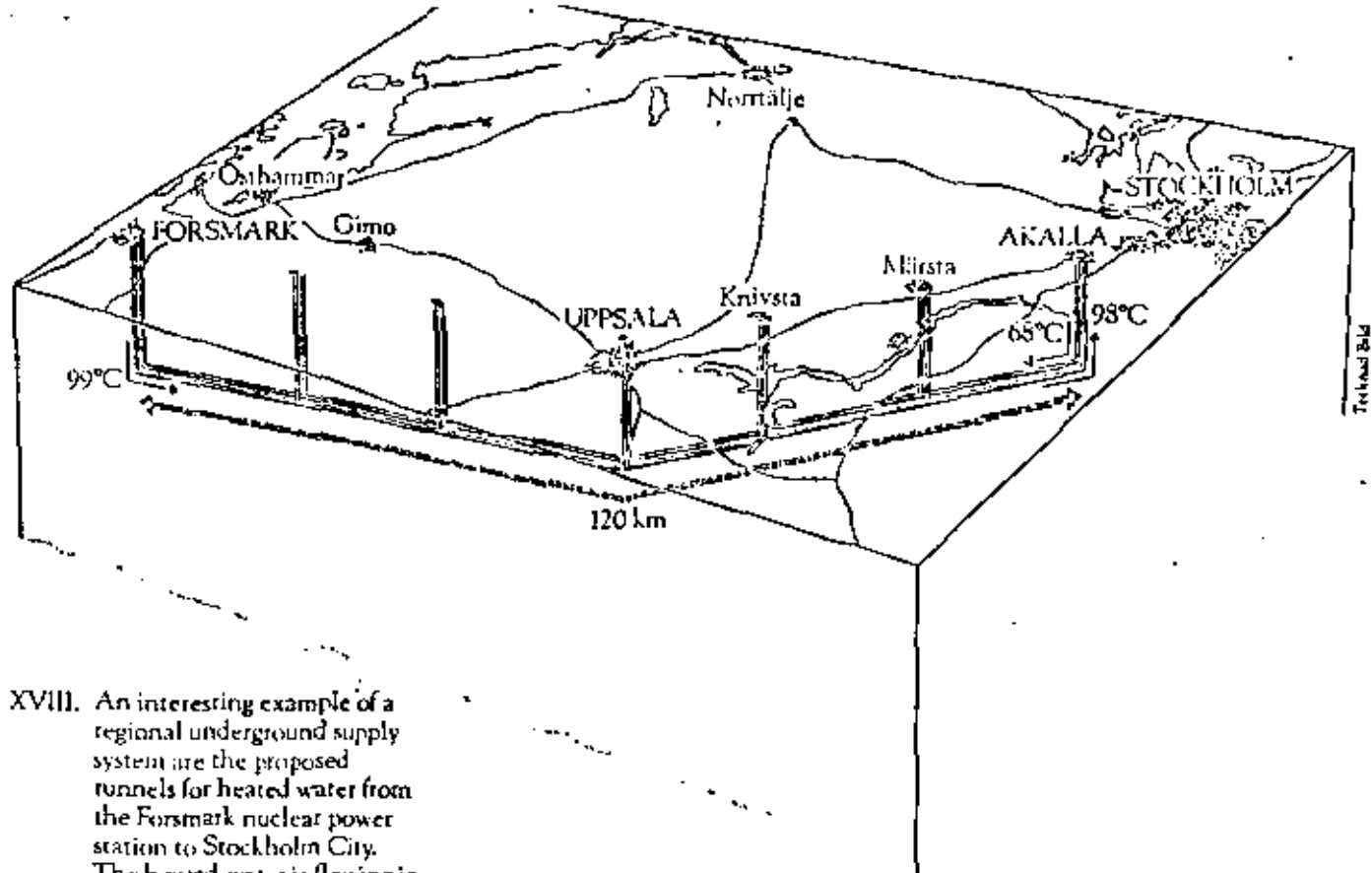
UNDERGROUND SITING OF URBAN SYSTEMS

The benefits of insulated underground facilities with regard to energy conservation have been listed above. The energy saving potential is clearly considerable. The full efficiency of this energy saving potential will, however, only be realized when transport systems, supply network for various utilities, and production and distribution systems for energy are developed in a way that initiate and facilitate underground siting.

Energy conservation must include transport. It is obvious that the underground offers considerable freedom in siting which allows shorter and more efficient transport. Collective trackbound transportation of people and goods is in general energy efficient in congested built-up urban areas. Underground transport systems are almost the only feasible solution.

Mass transit systems for passengers are common in large cities. Mass transit systems for goods on the same railway system have not been developed in spite of the advantages possible in terms of, for example, reduction in transport by trucks on the surface, making the existing system economical, and strategic siting of goods terminals.

Multipurpose tunnels have been constructed by co-ordinating different demands for pipes, cables and power lines underground. (Fig XVII). In addition to shorter transport distances, rational and protected maintenance is made possible. The energy flow in this supply network can easily be controlled, and the outtake and storage of low-grade heat from sewage water, stormwater or heated air in tunnels can be facilitated.



XVIII. An interesting example of a regional underground supply system are the proposed tunnels for heated water from the Forsmark nuclear power station to Stockholm City. The heated water is flowing in unlined rock tunnels and will serve the district heating systems of Stockholm and Uppsala.

The district heating system in Stockholm is to a large extent based on the transport of heated water in steel pipes in tunnels, which are sometimes multipurposed. In certain towns, the heat-generating plants are also located underground in strategic positions within the town areas.

The adaption of cities to a consistent future energy conservation program requires careful geological investigations and comprehensive underground planning. The potential of the underground for different demands must be studied and weighed up.

A comprehensive physical planning of today and tomorrow must include:

- Identification of possible underground energy storage sites.
- Consideration of new complementary underground urban systems for transport, supply networks, distribution and storage of energy.
- Inventory of underground siting areas for energy-demanding facilities.
- The potential for underground buildings in general.

In principle, underground siting is possible in most geological informations. The construction cost for tunnels and caverns in rock is, however, relatively low. The possible freedom given by underground siting is also closely linked to the availability of rock formations. This review of energy conservation through use of the underground will, however, show how current and new technology must be developed to meet different demands in different geological conditions.

REFERENCES

1. Planning of Subsurface use
B. Jansson och T. Winqvist
Swedish Council for Building Research.
2. Bygga under mark och spara olja
(Conference on underground construction and energy savings)
Royal Swedish Academy of Engineering Sciences IVA,
159:1979
3. Jordtäckta hus (Earthcovered buildings)
T. Winqvist
Swedish Council for Building Research R10:1980
4. Energy Economy in Rock stores
Storage in excavated Rock caverns (Vol. 1,
Rock Store 77)
M. Damm, Norway
5. Vattenburen värmetransport i berggrundar, ekonomi och teknik. (Transport of hot water in unlined rock tunnels, economy and technique. In Swedish.)
P. Almqvist, S. Bjurström, A. Göransson, L. Jäderberg and R. Lindskog 1977.
Swedish Rock Mechanics Research Foundation (BeFo).
Report nr. 40:1/77, pp. 1-75. Stockholm.
6. Transport and storage of heated water in unlined rock openings.
S. Bjurström 1977.
Proc. 1st Int. Symp. on Storage in Excavated Rock Caverns, Rockstore 77, vol. 2:212-218. Stockholm.
7. Hetvattenlagring i bergrum. (Storage of hot water in rock caverns. In Swedish.)
S. Bjurström, H. Cederberg, T. Hansson, R. Lindskog and J. Martna 1974.
Swedish Rock Mechanics Research Foundation (BeFo).
Pp. 1-78. Stockholm.
8. Lagring och transport av vattenburen värme i berg - fältförsök. (Storage and distribution of hot water in unlined rock caverns and tunnels - field tests. In Swedish.)
S. Bjurström, H. Cederberg, A. Göransson, T. Hansson, R. Lindskog and J. Martna 1977.
Swedish Rock Mechanics Research Foundation (BeFo).
Report nr. 11:14/77, pp. 1-61. Stockholm.

SUMMARY

Subsurface space has great potential for economic energy management, a potential which has to date only been exploited to a limited extent.

Soil and rock often provide favourable conditions for the insulation and storage of heat and cold; these conditions can be exploited directly to reduce energy requirements. Of particular importance are the possibilities offered by subsurface space for rational management of energy as a result of a great degree of accessibility and the possibility of simple, economical environmentally acceptable technical solutions.

In Sweden, the storage of large quantities of petroleum products in rock cavern facilities has been carried out for many years. Use of the subsurface has meant considerable advantages with respect to cost and siting, amongst other things, and in various aspects connected with safety, the environment and energy. The costs of construction and operation are in many cases 30-50% lower than for a surface alternative, and energy consumption for the maintenance of oil temperature is 70-80% lower.

Sweden's future energy programme contains a relatively ambitious investment in alternative forms of energy such as solar and waste heat, which in its turn assumes storage of large quantities of heat and the creation of several million m³ of storage space. The positive experience from subsurface-sited oil storage facilities, cold stores etc. has contributed to considerable and varied preparatory works for subsurface heat storage facilities in Sweden today. Systems for storing waterborne heat in rock caverns and in insulated reservoirs in soil and rock are under current study, as are the possibilities of direct utilization of large penetrated rock masses as heat magazines.

Siting of buildings and storage facilities in and under the ground may mean heat savings of up to 20-40%. Experience from, for example, underground storage for cold and frozen products shows that it is possible to reduce the required power for refrigerating and freezing equipment by 25-50%, due to the stable surrounding temperature and the great capacity of the earth mass to store cold.

The utilization of tunnels and subsurface space makes possible efficient transportation routes and rational supply systems for electricity, heat and water etc. In addition to the short transportation distances involved, tunnels allow rational maintenance, as well as giving suitable possibilities of use of the heat in sewage-water etc. Considerable parts of the district heating and sewage systems in Stockholm are located in rock tunnels.

Scandinavian experience clearly shows that use of the subsurface provide great potential for economic management of energy, but also that a comprehensive planning effort of many different levels is required in order to be able to exploit the energy saving potential of the subsurface to the full.

Der Raum unterhalb der Erdoberfläche bietet fast unbegrenzte Möglichkeiten für die Energiehaushaltung, die bisher jedoch nur sehr beschränkt ausgenutzt wurde.

Das Lockergestein und der Fels gewähren oft günstige Verhältnisse für die Isolierung und Speicherung von Wärme und Kälte, beide können damit direkt zur Einsparung des Energiebedarfes beitragen. Nicht minder wichtig sind die Möglichkeiten, die der Untertagebereich für eine rationelle Energielagerung durch den einfachen Aufschluss und für einfache, wirtschaftliche und umweltschonende technische Lösungen bietet.

In Schweden werden seit Jahrzehnten grosse Mengen von Erdölprodukten in Felskavernen gespeichert. Das Ausnutzen solcher von der Oberfläche abgeschlossener Räume, brachte grosse Vorteile wie Kostenersparnisse, ritimliche Verteilung, Sicherheits-, Umwelt- und Energieaspekte mit sich. Die Kosten für solche Anlagen und deren Betrieb sind in den meisten Fällen 30-50% geringer als für Obertageanlagen, wie auch der Energieverbrauch durch Ölheizung mit 70-80% reduziert angesetzt werden kann.

Für die Zukunft sieht das schwedische Energieprogramm vor, mit einem verhältnismässig ambitionierten Einsatz alternative Energieformen zu erforschen, wie beispielsweise Erwärmung mittels Sonnen- und Abfallenergie, wozu jedoch die Lagerung von grossen Wärmemengen und die Schaffung von Millionen von m³ Speicherraum erforderlich ist. Die positiven Erfahrungen über die Öl-speicherung im Fels, Tiefkühlanlagen u.a. haben entscheidend in Schweden zum gegenwärtigen grossen und variierenden Einsatz auf dem Gebiete der Wärmespeicherung Untertage beigetragen.

RESUME

En matière de gestion de l'énergie, les espaces souterrains offrent de nombreuses possibilités qui, jusqu'à présent, n'ont été que faiblement utilisées.

La terre et la roche réunissent souvent des conditions très favorables à l'isolation et au stockage de la chaleur et du froid, conditions qui peuvent être immédiatement mises à profit en vue de réduire les besoins énergétiques. Les espaces souterrains présentent en effet d'importants avantages pour la gestion rationnelle de l'énergie, lesquels consistent en une grande accessibilité et la possibilité de mettre en oeuvre des solutions techniques simples, économiques et sans danger pour l'environnement.

Depuis de nombreuses années, de grandes quantités de produits pétroliers sont stockées en Suède dans des cavités souterraines. L'utilisation du sous-sol a été très profitable, non seulement sur le plan des coûts et de l'implantation, mais également concernant certains facteurs de sécurité, d'environnement et de gestion énergétique. Les coûts de construction et d'exploitation sont fréquemment réduits de 30 à 50 % par rapport à ceux suscités par des installations équivalentes construites en surface et la consommation de fuel des systèmes de chauffage est inférieure de 70 à 80 %.

Le programme énergétique suédois de l'avenir prévoit des efforts relativement poussés concernant l'exploitation des énergies de substitution, telles que la chaleur solaire et les effluents thermiques, lesquels impliquent à leur tour le stockage d'importantes quantités de chaleur et l'aménagement de millions de m³ de volume de stockage. L'expérience positive acquise, notamment en matière de citernes pétrolières souterraines, magasins frigorifiques, etc., a contribué à intensifier et diversifier les efforts suédois actuels dans le domaine du stockage souterrain de la chaleur. Des

System für die Wärmespeicherung in Wasser in Felskavernen, isolierten Dämmen im Lockergestein und Fels werden zur Zeit eingehend studiert, wie auch die Möglichkeiten zur direkten Ausnützung durchbohrter grosser Felsmassen.

Die Verlegung von Gebäuden und Speichern im Lockergestein und Untertage kann ein Wärmersparnis bis zu 20-40% bedeuten. Erfahrungen von Untertage angelegten Kühl- und Tiefkühlagern zeigen, dass man neben der oben genannten Einsparung auch den für Obertageanlagen notwendigen Effekt mit 25-50% vermindern kann, da die umgebenden Temperaturen nur geringe Schwankungen zeigen und das Lockergestein die Eigenschaft besitzt, grosse Wärmemengen zu speichern.

Die Ausnützung von Tunneln und des Untertageraumes öffnet die Möglichkeit für effektive Transportwege und ein rationelles Verteilungssystem für beispielsweise Strom, Wärme und Wasser. Darüberhinaus geben kurze Transportstrecken die Möglichkeit für eine rationelle Wartung und die Voraussetzung zur Ausnützung grosser Wärmemengen in den Abwässern u.a. Das Fernheiz- und Abwässernetz ist in Stockholm zum Grossteil auf Tunnelbasis eingerichtet.

Die skandinavischen Erfahrungen zeigen sehr deutlich, dass die Ausnützung des Untertageraumes grosse Möglichkeiten für die Energiehaushaltung geöffnet hat, es aber umfassende Planungsarbeiten in den verschiedensten Instanzen erfordert, um das vorhandene Energiesparungspotential des Untertageraumes wirtschaftlich und zweckentsprechend ausnützen zu können.

systèmes destinés à emmagasiner la chaleur dans de l'eau et dans des cavités rocheuses ainsi que dans des barrages isolés dans la terre et dans la roche font actuellement l'objet d'études, de même que les possibilités d'exploiter directement d'importants volumes de roche forée.

La construction de bâtiments et de magasins enterrés ou souterrains peut permettre de réaliser des économies de chaleur pouvant atteindre 20 à 40 %. L'expérience acquise notamment dans le domaine des magasins souterrains de réfrigération et de congélation montre qu'il est possible, outre les économies susmentionnées, de réduire la puissance requise des équipements réfrigérateurs et congélateurs de 25 à 50 % en raison des variations très faibles de la température ambiante et de l'excellente aptitude des masses de terre à ammagasiner le froid.

L'utilisation de galeries et espaces souterrains permet d'acheminer et de distribuer l'électricité, les fluides de chauffage et l'eau par des voies appropriées et des systèmes rationnels. Outre les faibles distances de transport, les galeries permettent de rationaliser l'entretien et présentent des conditions favorables pour la récupération d'importantes quantités de chaleur véhiculées notamment par les eaux usées. Les réseaux de chauffage urbain et d'égouts de Stockholm sont en grande partie implantés dans des galeries aménagées dans la roche.

L'expérience acquise en Scandinavie dans ce domaine montre clairement que le sous-sol offre d'importantes possibilités pour la gestion des ressources énergétiques mais que la mise à profit complète du potentiel offert en matière d'économies d'énergie nécessite une planification très étendue à de nombreux niveaux.

CONSTRUCCION DE TUNELES

TEORICA DE VOLADURAS

7 VOLADURAS SUBTERRANEAS

Generalmente las excavaciones subterráneas son a base de túneles y lumbreras. Lo que no es túneles o lumbreras es una adaptación de voladuras de banco.

7.1 Túneles

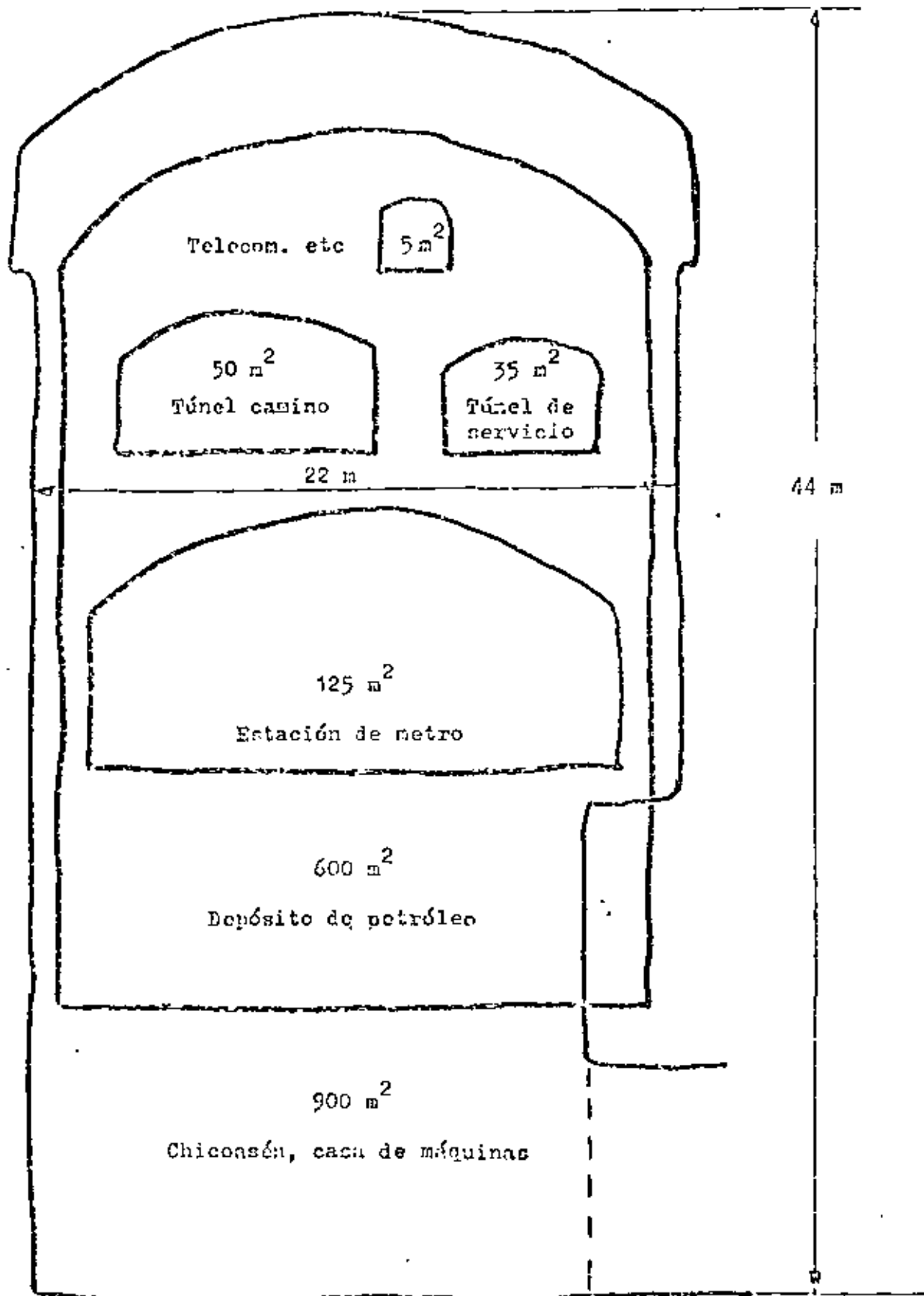
La diferencia principal entre voladuras de túnel y voladuras de banco es que en el túnel hay solamente una cara libre, comparado con mínimo dos en un banco. Esta cara es además perpendicular al avance del frente. Por esto se necesita excavar una apertura en todo el largo del avance previsto y después volar la roca sucesivamente hacia esta apertura. En la ampliación de la apertura se aplica el método de voladuras de banco. Pero la carga específica es mucho más alta por las siguientes razones:

- a) barrenos desviados (el ambiente subterráneo con obscuridad, humo, agua, alto nivel de ruido etc dificulta el trabajo)
- b) espacio requerido para el hinchamiento de la roca (el hinchamiento es arriba de 50 %)
- c) barrenos sin inclinación
- d) no cooperan barrenos adyacentes
- e) el efecto de la gravedad en los barrenos que tienen salida por arriba.

Hay una gran variedad de túneles para diferentes usos, ver la figura en la siguiente página.

En túneles con áreas menos de 80 m² normalmente se ataca toda la sección en una operación. En túneles más grandes se reparte la excavación en dos o más operaciones. Esta repartición se puede hacer de varias maneras, pero ahora domina el método de excavar una galería arriba y después banquear.

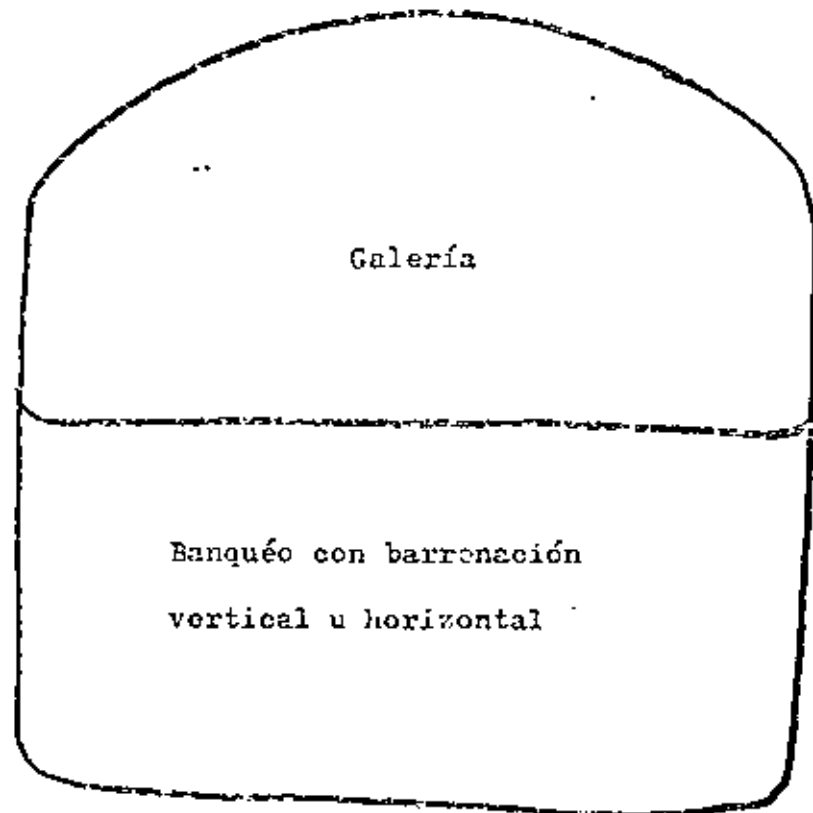
El número de bancos depende de la altura del túnel y muchas veces de las condiciones de estabilidad de las paredes. Por ejemplo en la casa de máquinas (44 m de altura) y la galería de oscilación (55 m de altura) en Chicoasén se especifica el siguiente procedimiento: excavar un banco de 4 metros y después anclar las paredes antes que se excava el próximo banco, para evitar desprendimientos de las zonas relajadas.



Ejemplos de cortes transversales de túneles típicos

San/MS

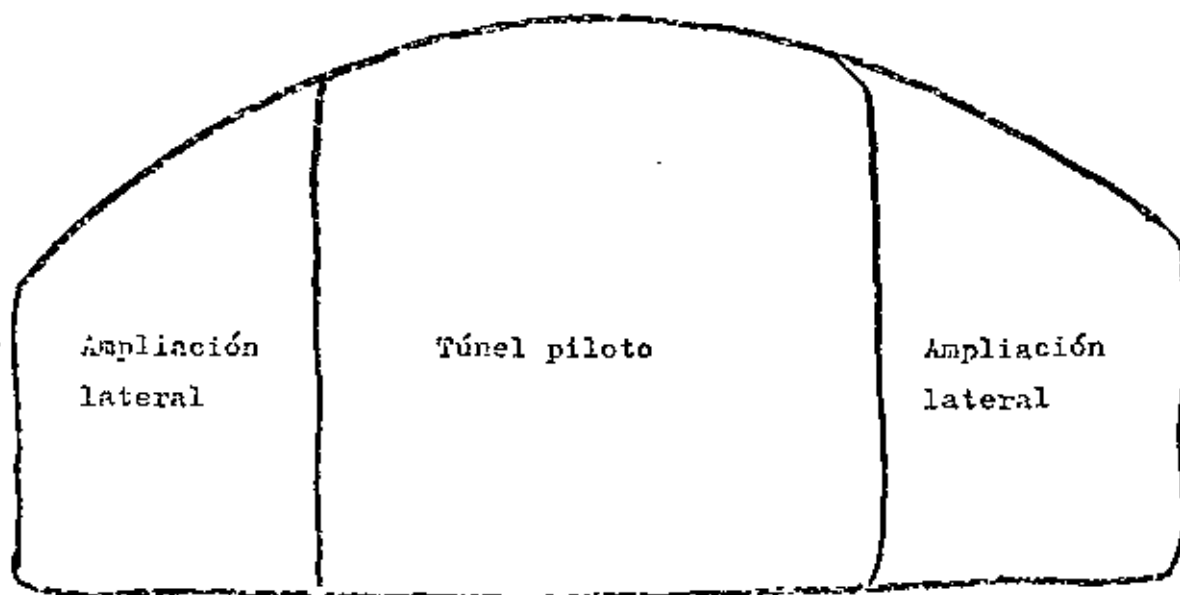
El banquéo se hace con barrenación vertical u horizontal. Bancos con alturas menos de 4 metros son desfavorables por sus altos coeficientes de barrenación y carga.



Galería y banquéo

- Túneles anchos o en roca mala es ventajoso de atacar con túnel piloto y ampliación (banquéo) lateral. Con el túnel piloto se puede investigar las condiciones de roca sin abrir un techo ancho y poner anclas o/y concreto lanzado antes la ampliación lateral.

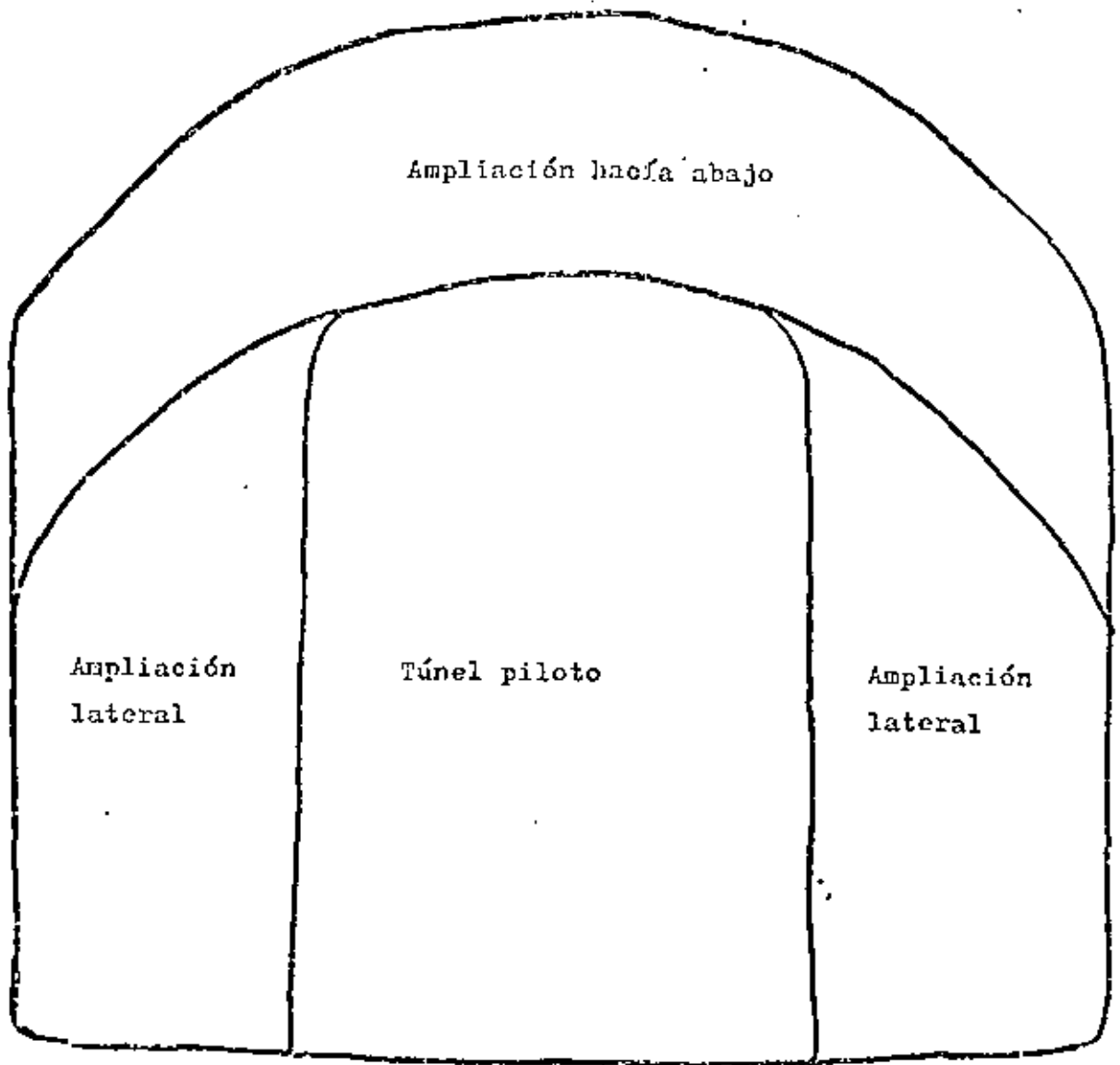
San/ES



Túnel piloto y ampliaciones laterales

El emboquillado es preferible de hacer con un túnel piloto abajo, después las ampliaciones laterales y finalmente bajar el techo. El túnel piloto debe tener una longitud de unos 10 metros o hasta que se compone la roca superficial.

San/KS



Túnel piloto y ampliaciones

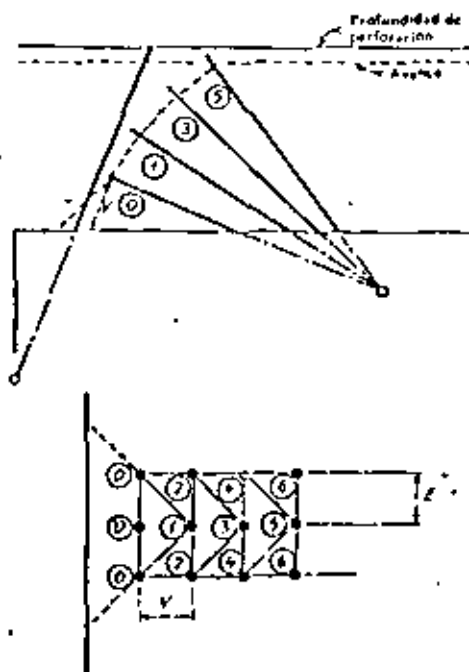
7.1.1 Cuñas

La apertura antes mencionada se hace con una cuña (cuelo). Hay una gran variedad de cuñas, pero las cuñas comunes son de tres tipos:

- a) cuñas en abanico
- b) cuñas en V
- c) cuñas paralelas

a) Cuñas en abanico

En estas cuñas los barrenos trabajan sin la constricción en el fondo que significan otros tipos de cuñas. La primera hilera tiene fondo libre y las siguientes salida en ángulo recto, ver figura abajo.



Construcción del esquema de perforación para un cuelo en abanico.

La cuña en abanico puede considerarse como una especie de zanja volada a través de la sección del túnel y por eso es la cuña más suave para la roca.

La semejanza de una zanja implica que se debe tomar en cuenta las condiciones de rotura en una superficie perpendicular a los barrenos y aplicar el principio de salida en ángulo recto (abajo en la figura). La secuencia de ignición marcada es la única posible para poder controlar bien el resultado. Por la dispersión de tiempo entre estopines del mismo intervalo es posible que un barreno lateral sale antes el barreno central si se pone el mismo número en la hilera, y entonces el barreno lateral tiene un ángulo de salida del orden de 45 grados.

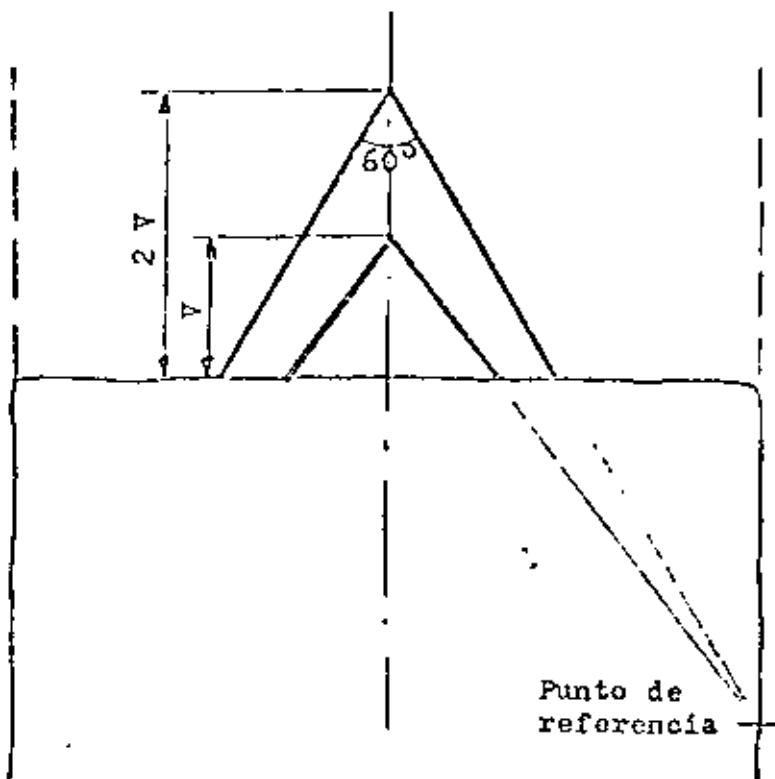
Por su geometría una cuña en abanico necesita un túnel bastante amplio y no es preferible de usarla en túneles de menos de 7 metros de ancho. Aunque es muy fácil de calcular una cuña en abanico no se usa mucho bajo condiciones normales por las siguientes limitaciones:

- La profundidad de los barrenos varía de hilera a hilera. Un barreno demasiado profundo puede excitar un barreno adyacente y provocar una tronada fallada
- La discrepancia entre el número de barrenos en los dos lados retrasa la barrenación
- La proyección de piedras es muy fuerte
- Con la secuencia de ignición requerida se necesita un gran número de intervalos de los estopines.

b) Cuña en V

La cuña en V (cyele de cuña) es la más usada en túneles mayores de 20 m², pero ahora se puede notar una tendencia hacia la cuña paralela, especialmente con barrenación mecanizada.

La cuña en V es simétrica que facilita la organización del trabajo en el frente. Otra ventaja es que la cuña en V no exige una barrenación tan perfecta como la cuña paralela para dar un avance razonable. El ángulo de la cuña debe ser mínimo 60°, lo que limita el avance por tronada a la mitad del ancho del túnel. Esto implica que los barrenos de la cuña salen más largos que los otros barrenos en la tronada. Por ejemplo, en una barrenación de 3,20 m los barrenos de la cuña son $3,20 \times \frac{2}{\sqrt{3}} = 3,70$ m. En la figura abajo se muestra el esquema de barrenación para una cuña en V.



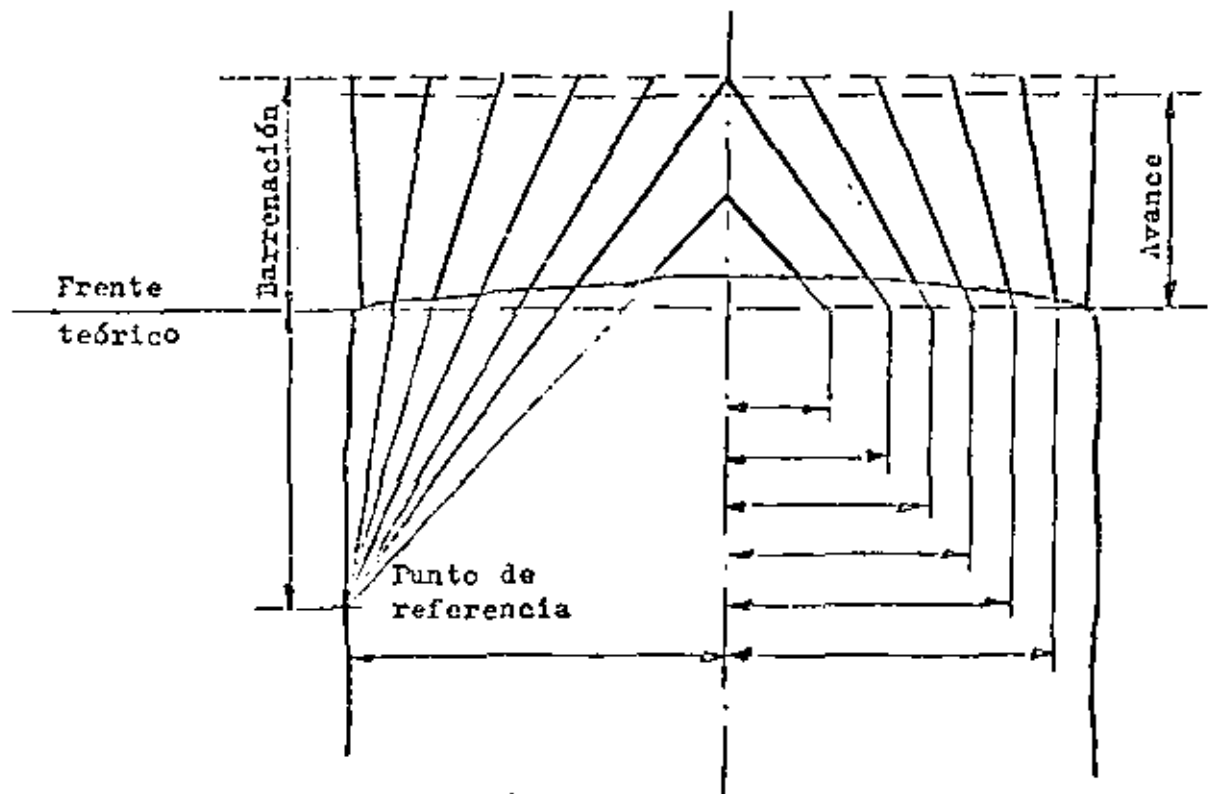
Principio para barrenación de una cuña en V

Los datos en la tabla abajo sirven como guía para el cálculo de barrenación y carga de cuñas en V con el ángulo 60° .

Diámetro de barrenación	Altura de la cuña	Bordo V	Concentración de carga de fondo	Número de hileras horizontales
mm	m	m	kg/m	
30	1,5	1,0	0,9	3
38	1,6	1,2	1,4	3
45	1,8	1,5	2,0	3
48	1,8	1,6	2,3	3
51	2,0	2,0	2,6	3

La carga de fondo debe ocupar mínimo una tercera parte del barrenado. Concentración de carga de columna = $0,5 \times$ carga de fondo. Taco = $0,3 V$. Durante la fase inicial de una obra es preferible de aumentar la carga de fondo a la mitad del barrenado.

Los ayudantes de la cuña son también inclinados para facilitar la salida hasta el fondo. La figura abajo muestra el principio para localizar los ayudantes.



En la figura se puede ver como se usa los puntos de referencia para dirigir los barrenos correctamente. En el túnel normalmente se usa faineros blancos para marcar los puntos de referencia. En un trabajo bien ejecutado siempre se mantiene el frente un poco doblado, que entre otras ventajas da un postcorte con menos constricción. Como se ve en la figura se necesita tomar esto en cuenta cuando se marca los barrenos inclinados. Esto es una desventaja de la cuna en V.

Bordo y carga para los ayudantes de la cuña:

Diámetro de barrenación	Bordo	Carga de fondo	Carga de columna	Taco
mm	m	kg/m	kg/m	m
30	0,80	0,90	0,36	0,40
38	0,90	1,40	0,55	0,45
45	1,00	2,00	0,80	0,50
48	1,10	2,30	0,90	0,55
51	1,20	2,60	1,00	0,60

Altura de carga de fondo = $1/3 \times$ profundidad del barreno.

Concentración de carga de columna = $0,4 \times$ carga de fondo

El bordo no debe exceder $\frac{\text{prof. de barrenación} - 0,4}{2}$. Esta condición coincide con la limitación para lances bajos, donde el bordo máximo V_{\max} no debe exceder la mitad de la altura del banco:

$$V_{\max} = \frac{K}{2}$$

Consecuentemente se necesita cerrar la barrenación con avances cortos. Es preferible de usar estopines MS en la cuña y sus ayudantes, para mayor colaboración entre los barrenos. (En la primera V se pone estopines INSTANTANEO.) Al otro lado el intervalo entre los Vs debe estar suficiente largo para permitir el hinchamiento y movimiento de la roca desprendida. Naturalmente esto es más importante para avances largos. En Mexico hay pocos números disponibles que a veces limita el avance por tronada.

c) Cuiñas paralelas

Como mencionado antes la aplicación de las cuiñas paralelas se extiende también a túneles grandes. Esto depende de las ventajas que ofrecen las cuiñas paralelas para la barrenación mecanizada:

- Todos los barrenos tienen la misma longitud. Esto vale especialmente para jumbos con pistolas que no tienen rotación reversible, lo que hace la extensión o el cambio de la barra muy tardado.
- Los brazos pueden trabajar independientemente y se puede distribuir la barrenación bien entre los brazos.
- Con los brazos con paralelidad automática se obtiene una barrenación perfecta solamente vigilando el emboquillado.
- Como el diagrama de barrenación coincide en el superficie y en el fondo, es más fácil de instruir los perforistas.
- Usando el mismo equipo de barrenación las cuiñas paralelas son iguales para todos los avances y todas las áreas de los túneles. Esto simplifica el entrenamiento de los perforistas.

La desventaja dominante de las cuiñas paralelas es la elevada precisión de barrenación que requieren, especialmente en roca dura y avances largos.

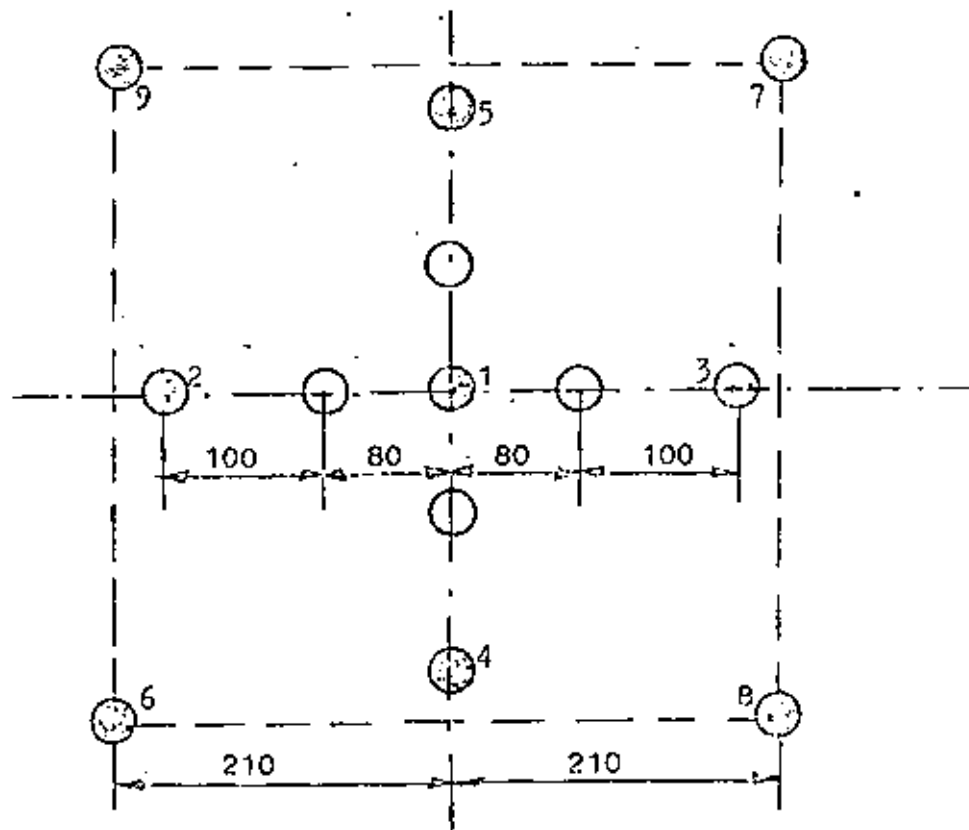
Otra cosa importante es la concentración correcta de la carga, para evitar que se quemara la roca por exceso de carga.

Hay una gran variedad de cuiñas paralelas y normalmente el equipo de barrenación disponible indica el tipo de cuiña. Si se cuenta con barrenas de un solo diámetro se usa una cuiña quemada con 3 o 4 barrenos sin carga.

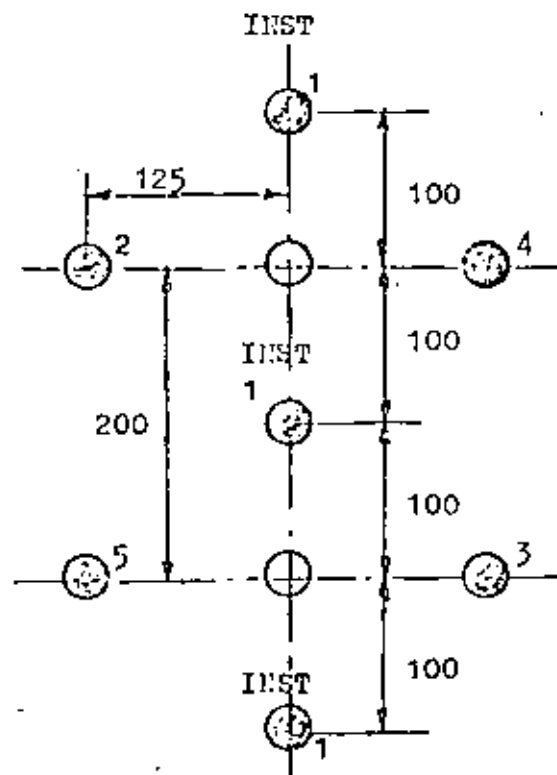
En la siguiente página presentamos dos cuiñas quemadas comunes, la cuiña Grönlund y la cuiña de costura. La cuiña de costura tiene la ventaja de tener los barrenos en una línea, que facilita la barrenación.

Sam/MS

Cuffa Grönlund



Cuffa de costura



(los números indican solamente el orden de ignición)

Para tener un avance máximo se usa las cuñas paralelas con uno o dos barrenos centrales de gran diámetro. En lo siguiente vamos a llamarlas cuñas cilíndricas. También se llama cuña paralela con barreno quemado. La base para el cálculo de una cuña cilíndrica es la relación entre el diámetro del barreno central y distancia y carga del primer barreno cargado.

En la siguiente tabla se da concentración de carga en kg/m para cuñas cilíndricas y máxima distancia \bar{a} cuando se dispara hacia barrenos vacíos con diámetros comprendidos entre 50 y 200 mm. El diámetro del barreno cargado varía entre 30 y 45 mm. La concentración de carga corresponde a Gelatina Extra 40 %. Con otros explosivos se corrige en relación a la potencia por peso.

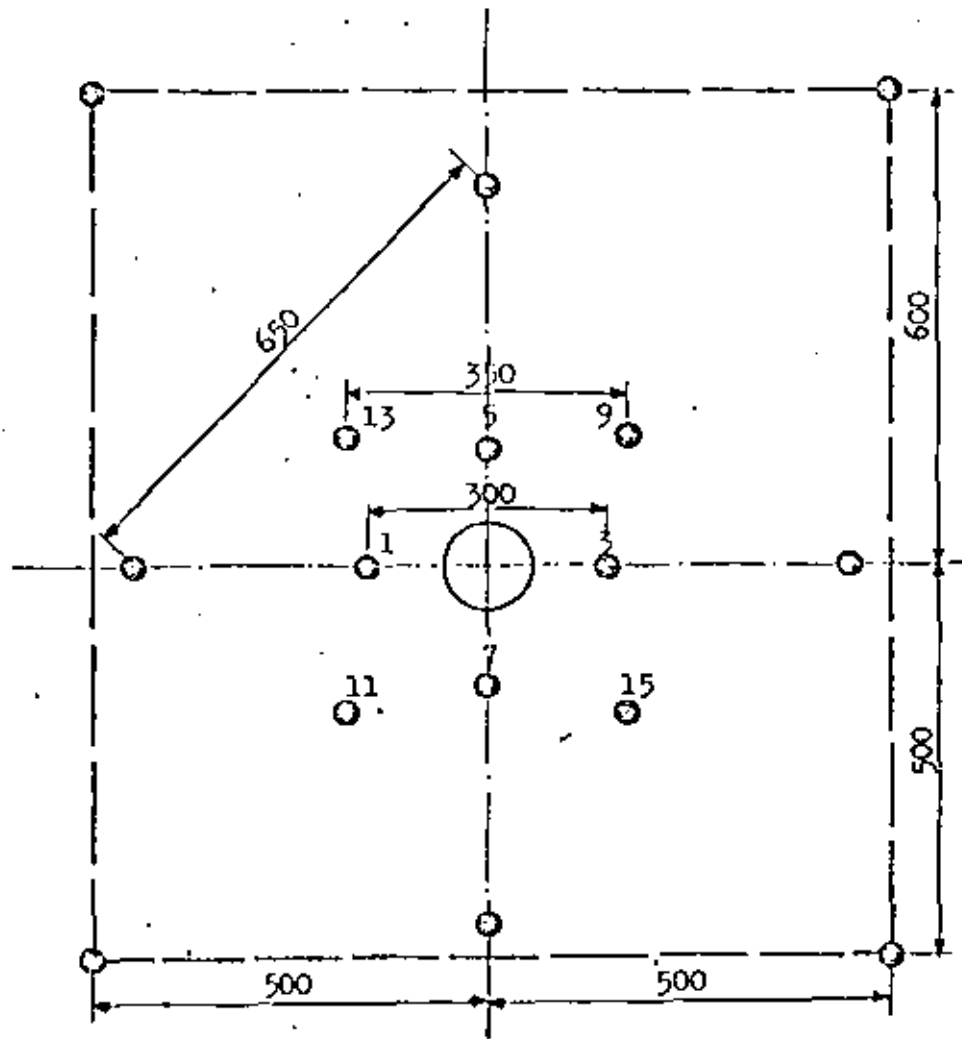
Relaciones básicas para cuñas cilíndricas

Diámetro del barreno central mm	50	2x57	75	83	100	2x75	110	125	150	200
Diámetro del barreno cargado mm	Concentración de carga kg/m									
30	0,20	0,30	0,30	0,35	0,40	0,45	0,45	0,50	0,60	0,80
37	0,25	0,35	0,35	0,40	0,45	0,53	0,53	0,60	0,70	0,95
45	0,30	0,42	0,42	0,50	0,55	0,65	0,65	0,70	0,85	1,10
\bar{a} mm	90	150	130	145	175	200	190	220	250	330
Avance max m	1,6	3,0	2,9	3,1	3,6	3,9	3,9	4,3	4,0	6,0

La cuña en doble espiral es la más efectiva, pero se necesita un barreno central de mínimo 125 mm para obtener un buen avance, lo que implica que el jumbo debe tener una perforadora especial para este barreno. Otra desventaja es que tiene una forma geométrica bastante complicada, que dificulta la barrenación. Sin embargo se usa el principio para la cuña Coromant. Esta cuña se puede barrenar con máquinas de pluma usando una plantilla de aluminio para guiar la barrenación. Con un accesorio especial se barrenan dos barrenos con diámetro de 57 mm en forma de un 8. Este hueco corresponde más o menos a un barreno de 75 mm.

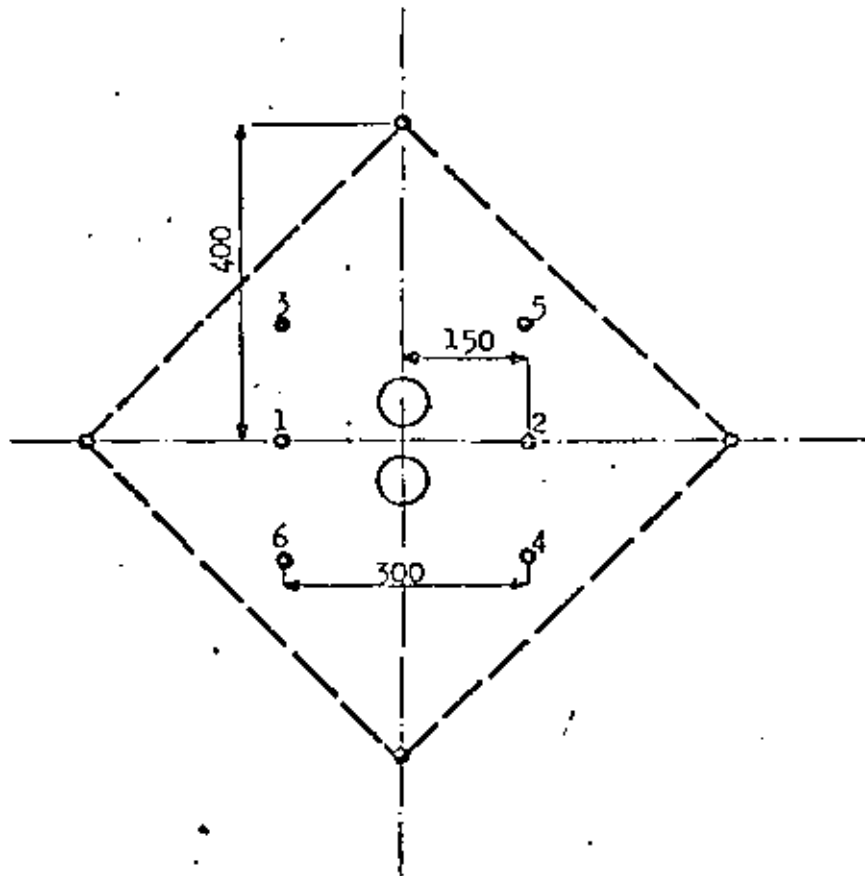
Sam/MS

La cuña Fagersta también se puede barrenar con máquinas de pierna. El barreno central de 75 mm se hace en dos etapas, primero un barreno piloto y después una ampliación con una broca escañadora. En las siguientes páginas se presenta algunos ejemplos de cuñas cilíndricas.



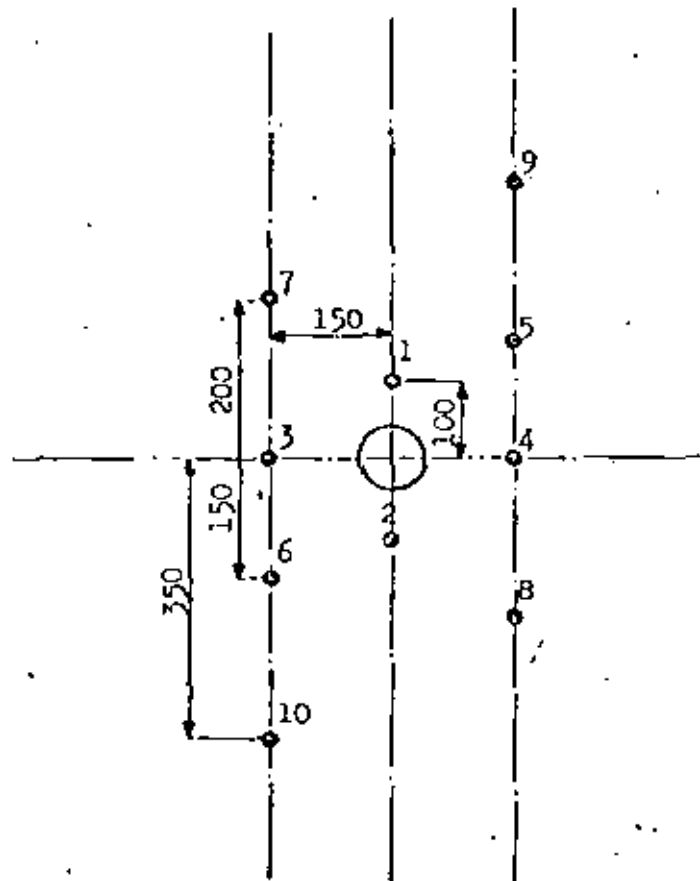
Cuña cilíndrica con un barrenado vacío de 110 mm de diámetro.

Para barrenación hasta 3,9 m.



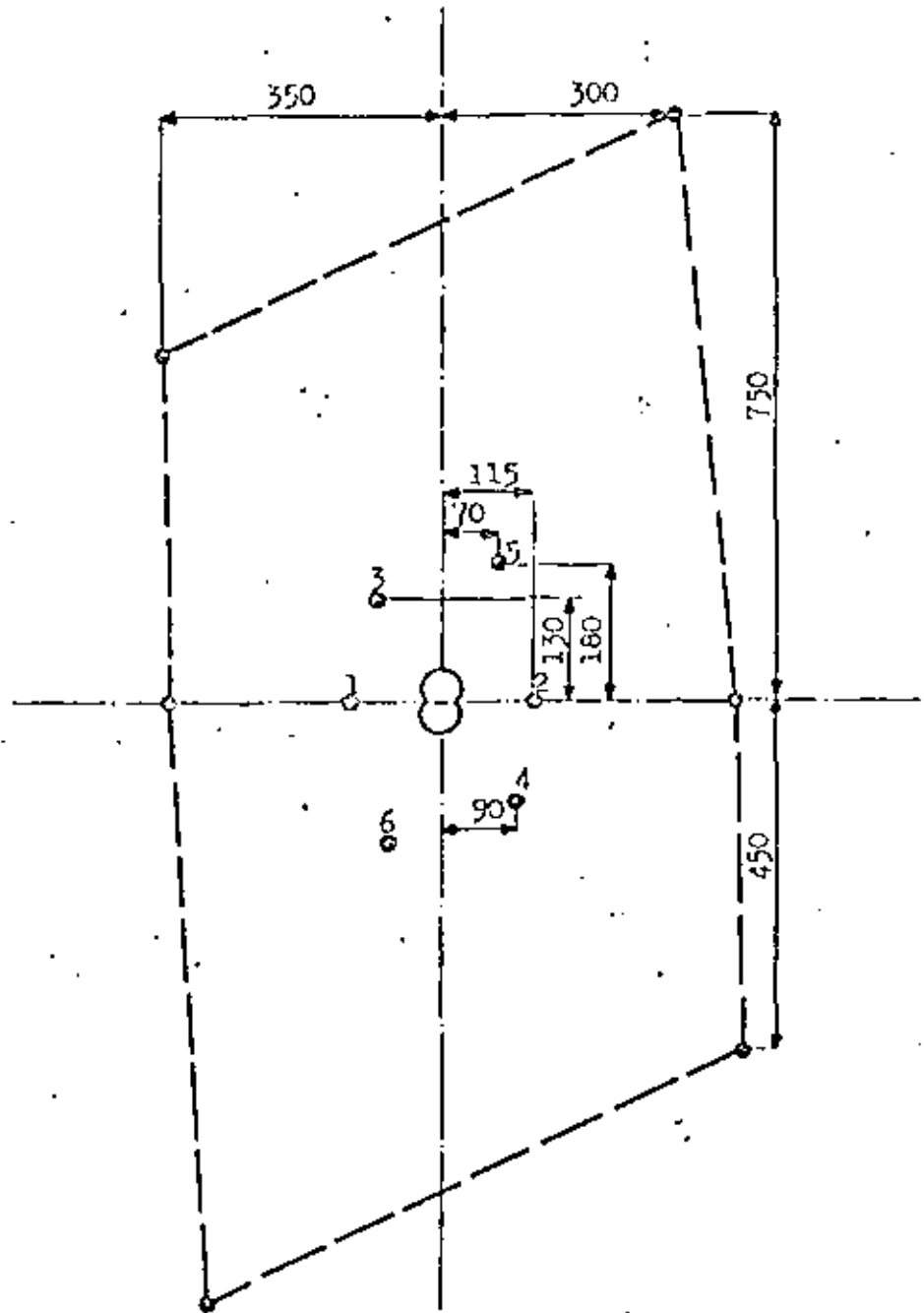
Cuña cilíndrica con dos barrenos vacíos de 76 mm de diámetro.

Para barrenación hasta 3,9 m.



Cuña Fagersta con un barreno vacío de 76 mm de diámetro.

Para barrenación hasta 2,9 m.



Cuña Coromant con dos barrenos vacíos de 57 mm de diámetro. La barrenación se guía con una plantilla de aluminio.

Para barrenación hasta 3,0 m.

7.1.2 Cálculo de carga

Para poder aplicar el cálculo de carga de banco es necesario tener una apertura suficiente grande para que los barrenos tendrán salida libre. En el diagrama en la siguiente página se puede ver que para una barrenación de 30 mm la apertura debe ser 1,4 x 1,4 m, mientras para una barrenación de 48 mm la apertura sube hasta 2,0 x 2,0 m. Se puede también usar el diagrama para calcular los ayudantes para ampliar la cuña hasta la apertura antes mencionada.

Es necesario de picar todos los barrenos del contorno (techo, paredes y piso) para mantener el área deseada. El ángulo de desviación depende del espacio que requiere el equipo de barrenación.

Cálculo de barrenos con salida por arriba u horizontal:

Carga de fondo en una tercera parte del barreno

$$\text{Bordo máximo} \geq \frac{\text{prof. de barreno} - 0,4}{2} \text{ m}$$

$$\text{Espaciamiento} = 1,1 \times \text{bordo}$$

$$\text{Concentración de carga de columna} = 0,50 \times \text{carga de fondo}$$

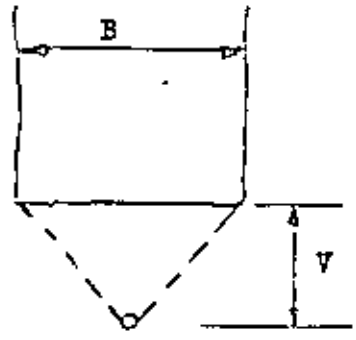
$$\text{Taco} = 0,5 \times \text{bordo}$$

Distribución de los barrenos

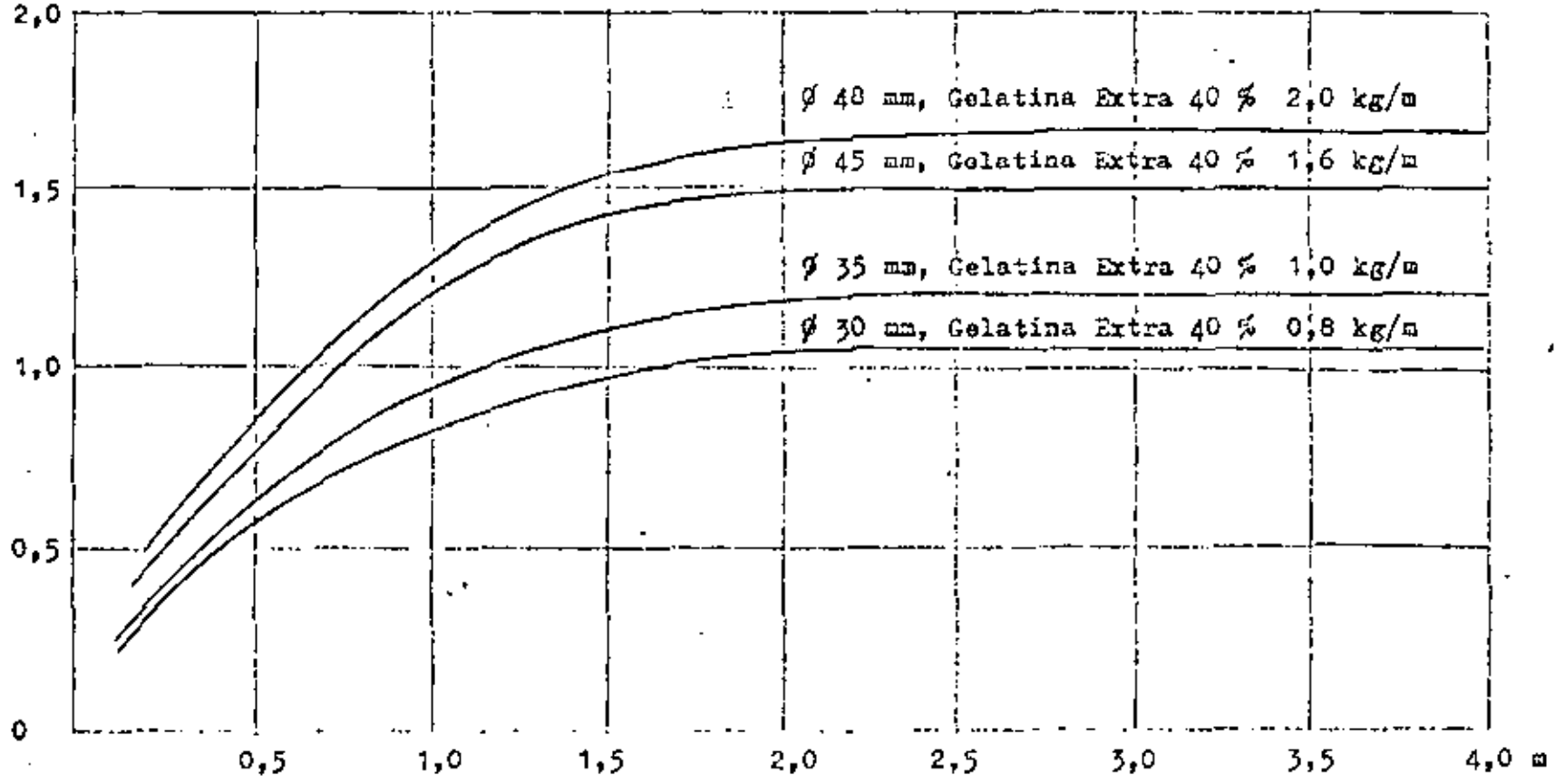
Diámetro del barreno	Área/ barreno	Bordo	Espaciamiento
mm	m ²	m	m
32	0,91	0,90	1,00
35	1,00	0,95	1,05
38	1,15	1,00	1,15
45	1,44	1,15	1,25
48	1,57	1,20	1,30 x)
51	1,71	1,25	1,35 x)

x)

Este espaciamiento se alcanza solamente en túneles grandes. En túneles menores se distribuye los espaciamientos uniformemente.



Borde
máximo
V
m



Relación entre apertura (B), concentración de carga y borde máximo (V)

Apertura B

Datos para barrenos con salida por arriba u horizontal

Díámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
mm	m	m	m	kg	kg/m	kg	kg/m	m
33	1,6	0,60	0,70	0,60	1,10	0,30	0,40	0,30
32	2,4	0,90	1,00	0,80	1,00	0,55	0,50	0,45
31	3,2	0,90	0,95	1,00	0,95	0,85	0,50	0,45
38	2,4	1,00	1,10	1,15	1,44	0,80	0,70	0,50
37	3,2	1,00	1,10	1,50	1,36	1,15	0,70	0,50
45	3,2	1,15	1,25	2,25	2,03	1,50	1,00	0,55
48	3,2	1,20	1,30	2,50	2,30	1,70	1,15	0,60
48	4,0	1,20	1,30	3,00	2,30	2,45	1,15	0,60
51	3,2	1,25	1,35	2,50	2,60	1,95	1,30	0,60
51	4,0	1,25	1,35	3,40	2,60	2,70	1,30	0,60

Los datos arriba son prácticos y incluyen compensación por errores normales de barrenación.

Se nota que aumenta la carga de fondo con el avance. Esto se debe a la desviación de los barrenos y el hinchamiento.

Cálculo de los barrenos de piso:

Bordo y espaciamiento de los barrenos de piso se calcula como los barrenos arriba, pero es necesario de tomar en cuenta la desviación por abajo de los barrenos. Si la desviación es 0,20 m en el fondo y el bordo 1,00 m hay que emboquillar la primera hilera de barrenos $1,00 - 0,20 = 0,80$ m arriba el arranque de los barrenos de piso. El taco se pone 0,20 x bordo. La carga de columna se aumenta a 0,70 x carga de fondo.

Datos para barrenos de piso

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				kg	kg/m	kg	kg/m	
mm	m	m	m	kg	kg/m	kg	kg/m	m
33	1,6	0,60	0,70	0,60	1,10	0,70	0,75	0,10
32	2,4	0,90	1,00	0,80	1,00	1,00	0,70	0,20
31	3,2	0,90	0,95	1,00	0,95	1,30	0,65	0,20
38	2,4	1,00	1,10	1,15	1,44	1,40	1,00	0,20
37	3,2	1,00	1,10	1,50	1,36	1,80	0,95	0,20
45	3,2	1,15	1,25	2,25	2,03	2,60	1,40	0,25
48	3,2	1,20	1,30	2,50	2,30	3,00	1,60	0,25
48	4,0	1,20	1,30	3,00	2,30	4,25	1,60	0,25
51	3,2	1,25	1,35	2,70	2,60	3,20	1,80	0,25
51	4,0	1,25	1,35	3,40	2,60	4,75	1,80	0,25

Cálculo de barrenos con salida hacia abajo:

Estos barrenos necesitan menor carga específica porque trabajan con la gravedad.

El espaciamiento se puede aumentar a 1,2 x bordo.

Datos para barrenos con salida hacia abajo

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				kg	kg/m	kg	kg/m	
mm	m	m	m	kg	kg/m	kg	kg/m	m
33	1,6	0,60	0,70	0,60	1,10	0,30	0,40	0,30
32	2,4	0,90	1,10	0,80	1,00	0,55	0,50	0,45
31	3,2	0,85	1,10	1,00	0,95	0,85	0,50	0,45
38	2,4	1,00	1,20	1,15	1,44	0,80	0,70	0,50
37	3,2	1,00	1,20	1,50	1,36	1,15	0,70	0,50
45	3,2	1,15	1,40	2,25	2,03	1,50	1,25	0,55
48	3,2	1,20	1,45	2,50	2,30	1,70	1,15	0,60
48	4,0	1,20	1,45	3,00	2,30	2,45	1,15	0,60
51	3,2	1,25	1,50	2,50	2,60	1,95	1,30	0,60
51	4,0	1,25	1,50	3,40	2,60	2,70	1,30	0,60

En túneles mayores de 70 m² es posible de aumentar bordo y espaciamiento hasta los datos para banquero.

Cálculo de barrenos de pared:

El cálculo presentado aquí es sin postcorte.

Bordo más desviación de la barrenación es 0,9 x bordo para barrenos con salida hacia abajo. El espaciamiento es 1,2 x bordo.

La carga de fondo ocupa solamente una sexta parte del barreno. Tâco = 0,5 x bordo.

La concentración de carga de columna se reduce a 0,40 x carga de fondo.

Datos para barrenos de pared

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Tâco
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33	1,6	0,55	0,65	0,30	1,10	0,45	0,45	0,30
32	2,4	0,80	0,95	0,40	1,00	0,65	0,40	0,40
31	3,2	0,80	0,95	0,50	0,95	0,90	0,40	0,40
38	2,4	0,90	1,10	0,60	1,44	0,85	0,60	0,45
37	3,2	0,90	1,10	0,75	1,36	1,20	0,55	0,45
45	3,2	1,00	1,20	1,10	2,03	1,80	0,80	0,50
48	3,2	1,10	1,30	1,20	2,30	2,00	0,90	0,55
48	4,0	1,10	1,30	1,50	2,30	2,50	0,90	0,55
51	3,2	1,15	1,40	1,40	2,60	2,10	1,00	0,60
51	4,0	1,15	1,40	1,70	2,60	2,70	1,00	0,60

Cálculo para los barrenos de techo sin postcorte:

Distribución de los barrenos como para barrenos de pared.

La concentración de la carga de columna se reduce a 0,3 x carga de fondo.

Datos para barrenos de techo

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33	1,6	0,55	0,65	0,30	1,10	0,35	0,35	0,30
32	2,4	0,80	0,95	0,40	1,00	0,50	0,30	0,40
31	3,2	0,80	0,95	0,50	0,95	0,70	0,30	0,40
38	2,4	0,90	1,10	0,60	1,44	0,70	0,45	0,45
37	3,2	0,90	1,10	0,75	1,36	0,90	0,40	0,45
45	3,2	1,00	1,20	1,10	2,03	1,30	0,60	0,50
48	3,2	1,10	1,30	1,20	2,30	1,45	0,70	0,55
48	4,0	1,10	1,30	1,50	2,30	1,95	0,90	0,55
51	3,2	1,15	1,40	1,40	2,60	1,70	0,80	0,60
51	4,0	1,15	1,40	1,70	2,60	2,25	0,80	0,60

7.1.3 Diagrama de barrenación

Para el diseño del diagrama de barrenación se usa las tablas en la parte anterior, adaptando bordos y espaciamientos a las condiciones geométricas del túnel. El procedimiento se muestra más fácil en un ejemplo.

7.1.4 Ejemplo de diagrama de barrenación

El túnel que vamos a calcular tiene los siguientes datos:

Cuna cilíndrica con 2 barrenos vacíos con el diámetro de 76 mm.

Diámetro de la barrenación = 31 mm

Profundidad de la barrenación = 3,2 m

Explosivo: Gelatina Extra 40 %

Postcorte no requerido.

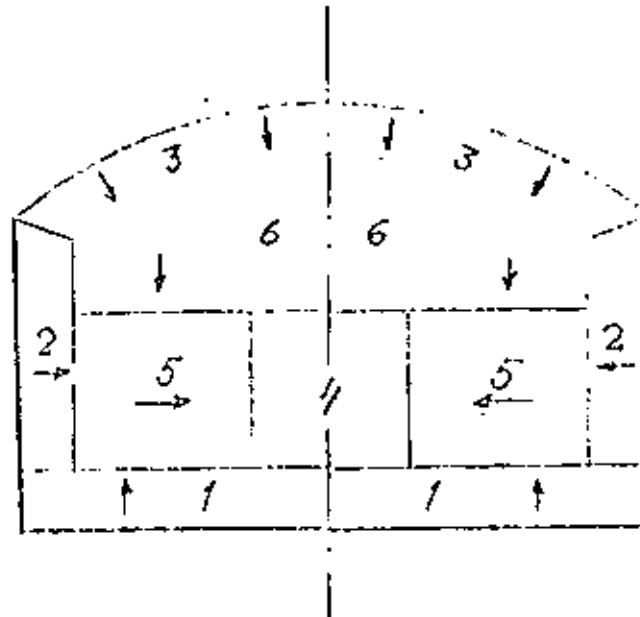
Ancho = 8,00 m

Altura = 5,65 m

Area = 40 m²

Avance previsto 90 % = 2,9 m

Secuencia del cálculo



Clave: 1 Barreno de piso, 2 Barrenos de pared, 3 Barrenos de techo, 4 Cuña y sos ayudantes, 5 Barrenos con salida horizontal, 6 Barrenos con salida hacia abajo

La figura arriba muestra como se puede localizar los barrenos en el diagrama. Las zonas marcadas para los barrenos perimetrales son el borde menos la desviación. La cuna y sus ayudantes se coloca a la distancia adecuada a los barrenos de piso.

1 Barrenos de piso (ver la tabla correspondiente)

La desviación es 0,10 m para máquinas de pierna

Bordo - desviación = 0,90 - 0,10 = 0,80 m

Espaciamiento según tabla = 0,95 m

Distribuido en el ancho del túnel $\frac{8}{0,95} = 8,4 \cong 9$

Espaciamientos: extremos 2 x 0,85 = 1,70 m

internos 7 x 0,90 = 6,30 m

9 8,00 m

Carga de fondo = 1,00 kg

Carga de columna = 1,30 kg

2 Barrenos de pared

$$\text{Bordo - desviación} = 0,80 - 0,10 = 0,70 \text{ m}$$

Espaciamiento = 0,95 que se distribuye en la altura de la pared - la zona del piso $4,0 - 0,8 = 3,2 \text{ m}$

$$\text{Espaciamientos } \frac{3,2}{0,95} = 3,4 \approx 4$$

$$\text{Espaciamiento actual } \frac{3,2}{4} = 0,80 \text{ m}$$

$$\text{Carga de fondo} = 0,50 \text{ kg}$$

$$\text{Carga de columna} = 0,90 \text{ kg}$$

3 Barrenos de techo

$$\text{Bordo - desviación} = 0,80 - 0,10 = 0,70 \text{ m}$$

Espaciamiento = 0,95 que se distribuye en el arco del techo $\sim 0,5 \text{ m}$ $\frac{0,5}{0,95} = 9$

$$\text{Espaciamiento} = 0,95 \text{ m}$$

$$\text{Carga de fondo} = 0,50 \text{ kg}$$

$$\text{Carga de columna} = 0,70 \text{ kg}$$

4 La cuña y sus ayudantes

En los seis barrenos de la cuña se pone una carga de fondo de 0,1 kg y una carga de columna de 0,75 kg con la concentración de 0,25 kg/m.

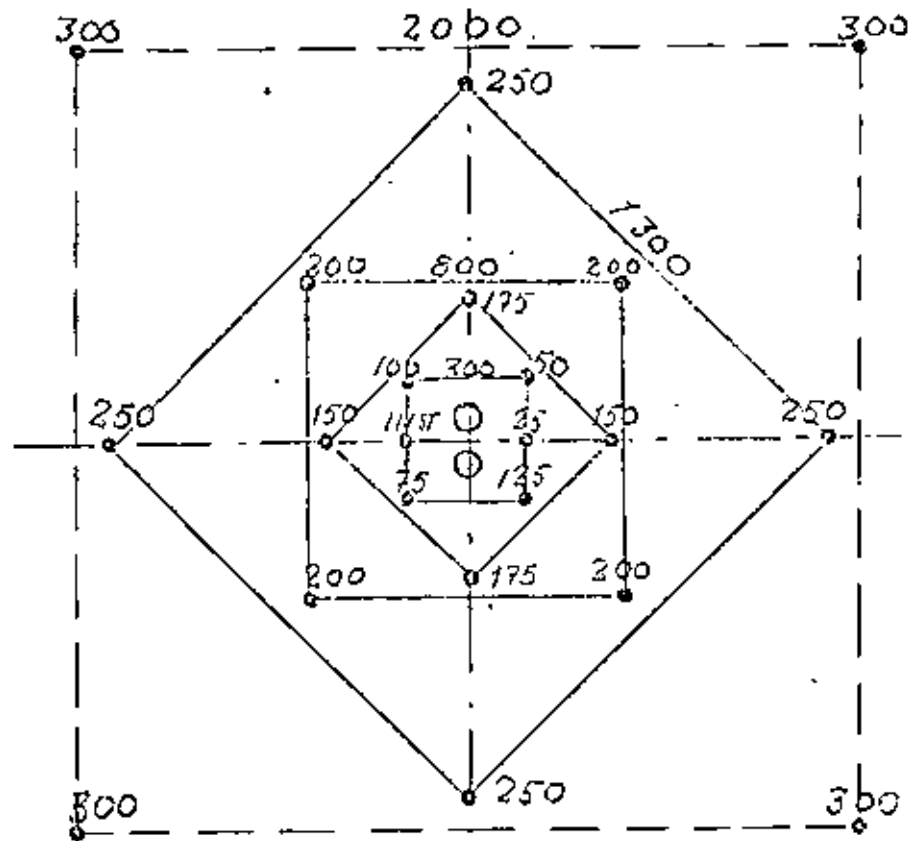
Los ayudantes tendrán la siguiente carga:

Bordo m	Carga de fondo kg	Concentración de carga de columna kg/m			
		31	38	45	48
0,20	0,25	0,30	0,45	0,60	0,75
0,30	0,40	0,30	0,45	0,60	0,75
0,40	0,50	0,35	0,50	0,70	0,80
0,50	0,65	0,50	0,70	1,00	1,15
0,60	0,80	0,50	0,70	1,00	1,15
0,70	0,90	0,50	0,70	1,00	1,15

$$\text{Taco} = 0,5 \times \text{bordo}$$

Ayudantes con bordo mayor de 0,70 m se carga como barrenos con salida horizontal.

Plan de cuña y ayudantes con los estopines marcados



Se marca el cuadrado de 2 x 2 m en el diagrama.

5 Barrenos con salida horizontal

Bordo = 0,90

Espaciamiento = 0,95

Cuando se coloca en el espacio libre el bordo sale = 0,77 m y el espaciamiento = 1,0 m.

Carga de fondo = 1,00 kg

Carga de columna = 0,85 kg

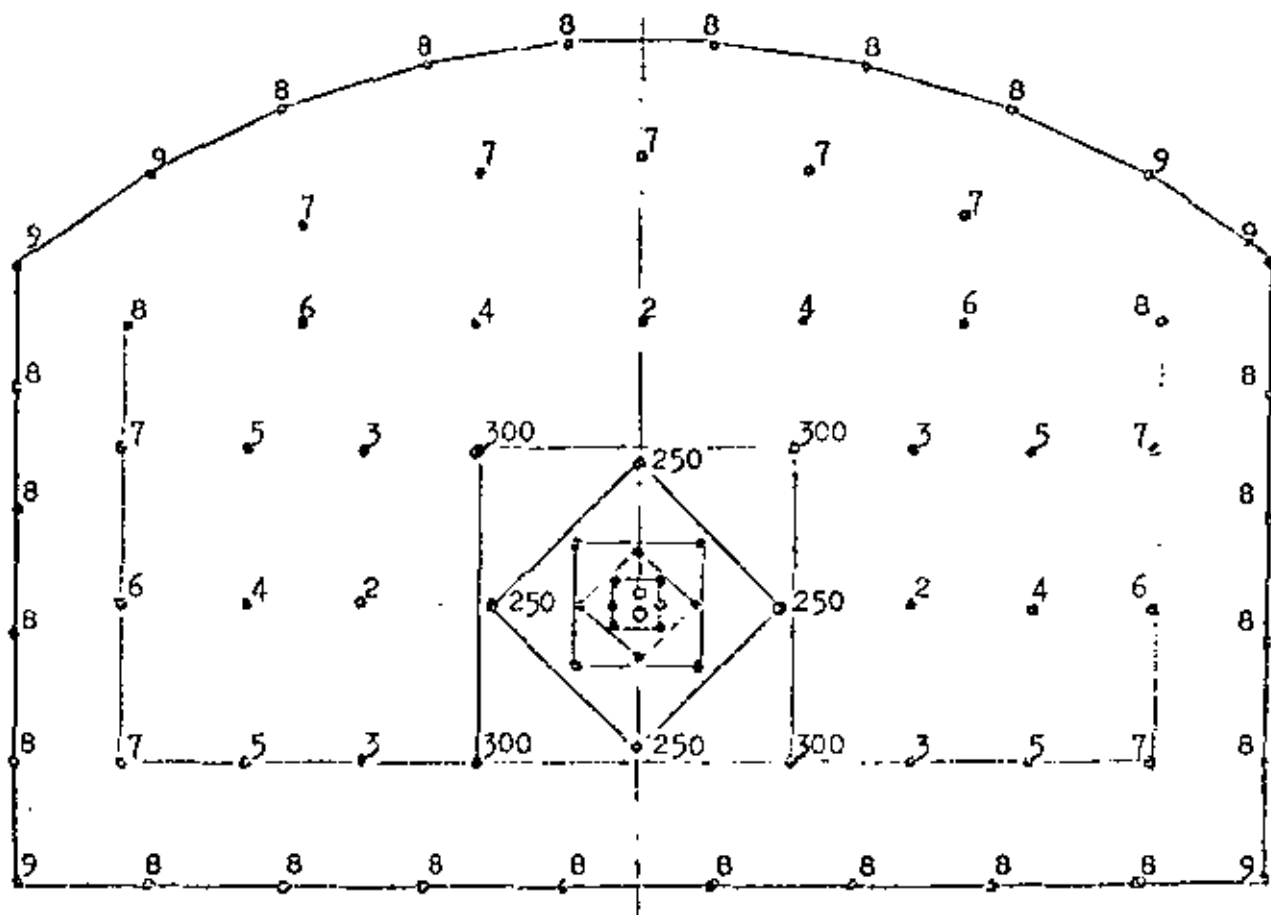
6 Barrenos con salida hacia abajo

Bordo = 0,90 m Espaciamiento = 1,10 m

Se coloca los barrenos uniformemente en el espacio que se queda.

El resultado:

El diagrama de barrenación y los datos principales



Barreno	Tipo de barreno	Profundidad m	Número de barrenos	Carga de fondo kg	Carga de columna kg	Carga por barreno kg/m	Carga total kg
INST MS 25-125	Cuña	3,2	6	0,10	0,75	0,25	5,10
MS 150-175	Ayudantes	3,2	4	0,25	0,85	0,30	4,40
MS 200	Ayudantes	3,2	4	0,45	0,90	0,35	5,40
MS 250	Ayudantes	3,2	4	0,75	1,00	0,50	7,00
MS 300	Ayudantes	3,2	4	1,00	0,85	0,50	7,40
Ac 2-8	Interiores	3,2	30	1,00	0,85	0,50	55,50
Ac 8	Paredes	3,2	8	0,50	0,90	0,40	11,20
Ac 8-9	Techo	3,2	10	0,50	0,70	0,30	12,00
Ac 8-9	Piso	3,2	10	1,00	1,30	0,20	23,00
256,0mb 80							131,00

$$\text{Volumen por tronada} = 40 \times 2,9 = 116 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga específica} = \frac{131,00}{116} = 1,13 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Barrenación específica} = \frac{256}{116} = 2,21 \text{ mb/m}^3$$

7.1.5 Ejemplo de ejercicio

Diagrama de barrenación y cálculo de carga para un túnel de 75 m^2

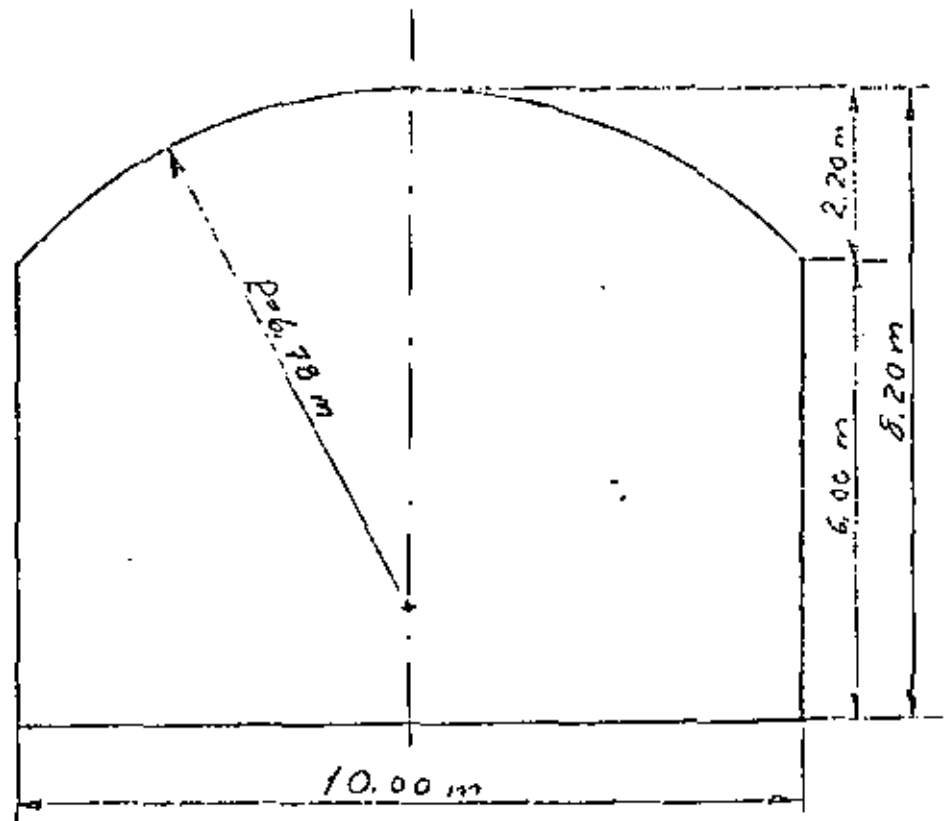
Datos: Ancho = $10,00 \text{ m}$
Altura = $9,20 \text{ m}$
Área = 75 m^2

Barrenación = 45 mm , profundidad $3,20 \text{ m}$
Desviación de la barrenación = $0,20 \text{ m}$
Techo y paredes con postcorte.

Cuña en V

Explosivos: Gelatina Extra 40 $\frac{1}{2}$ y Duranex G

Barrenación con jumbo, largo del alimentador (avance) = $5,50 \text{ m}$



Solución:

- 1 El lugar de la cuña depende de los barrenos de piso, y por eso estos se calcula primero.

Para barrenación de 45 mm según la tabla correspondiente $V = 1,15 \text{ m}$ $E = 1,25 \text{ m}$

La cuña se pone $1,15 - 0,20 = 0,95$ arriba del piso

Número de espaciamentos $= \frac{10,00}{1,25} = 8$, es decir 9 barrenos de piso

Carga según tabla:

Carga de fondo = 2,25 kg Carga de columna = 2,60 kg
Taco = 0,25 m

- 2 El bordo de los barrenos de las paredes esta decidido por el postcorte. Según la tabla de postcorte el bordo es 0,90 m y el espaciamento es 0,60 m. La distancia entre la primera línea de los interiores y el contorno de la pared es igual a $0,80 - 0,20 = 0,60 \text{ m}$.

La altura de la pared, 6,00 m da 10 espacios.

Como carga de fondo ponemos dos cartuchos de Gelatina Extra 40% de 1 1/8 que corresponde a $2 \times 0,200 = 0,40 \text{ kg}$.

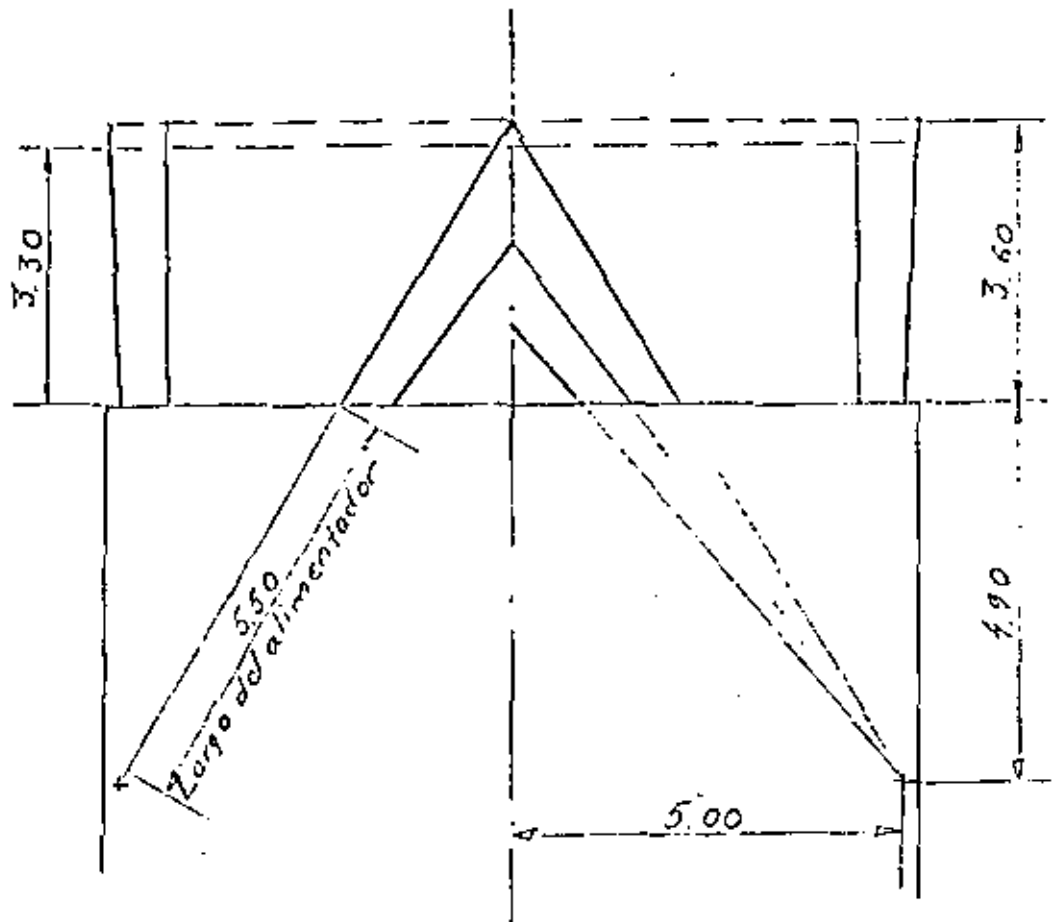
La carga de columna debe tener una concentración de 0,20 a 0,25 kg/m y como no hay cargas preparadas en México, usamos Duramex G de 7/8. Los cartuchos pesan 0,080 kg y con una separación de 20 cm se obtiene una concentración de carga de 0,20 kg/m. En Chicoasén amaramos los cartuchos junto con un cordón detonante a un carrizo. La idea de postcorte es que los barrenos perimetrales truenan lo más simultáneamente posible. Como la dispersión entre los altos números de Acudet es del orden de 500 milisegundos es necesario de conectar los barrenos perimetrales con una antena de cordón detonante. Quiero subrayar que distribución correcta de barrenación y carga no es suficiente para un buen postcorte.

- 3 Los barrenos del techo tienen las mismas características como los barrenos de las paredes, pero se baja la carga de fondo a un cartucho, es decir 0,20 kg.

- 4 Ahora se puede calcular la cuña y sus ayudantes. Según la tabla para la cuña el bordo $V_{\text{máximo}}$ de una cuña es 1,5 m. Esta significa

$$\frac{3,6}{1,5} = 2,3 \text{ cuñas}$$

Escogemos 2 cuñas y un barreno adicional. La altura de la cuña debe ser 1,8 m con 3 hileras. El ángulo debe ser 60° y se necesita respetar la longitud de los alimentadores. La adaptación de la cuña se hace gráficamente, ver abajo.



La carga de fondo es un tercio del barreno
 $Taco = 0,3 \times V$

La concentración de la carga de columna es
 $0,5 \times$ la carga de fondo.

La primera cuña:

$$\text{Longitud de la carga de fondo} = 1/3 \times 4,20 = 1,40 \text{ m}$$

$$\text{Concentración de carga de fondo} = 2,0 \text{ kg/m (según tabla)}$$

$$\text{Carga de fondo} = 1,4 \times 2,00 = 2,8 \text{ kg}$$

$$\text{Taco} = 0,3 \times V = 0,3 \times 1,5 = 0,50 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Altura de carga de columna} &= 4,20 - (1,40 + 0,50) \\ &= 2,30 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Concentración de carga de columna} = 0,5 \times 2,0 = 1,0 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga de columna} = 2,3 \times 1,0 = 2,3 \text{ kg}$$

La segunda cuña:

$$\text{Longitud de carga de fondo} = 1/3 \times 2,6 \cong 0,90 \text{ m}$$

$$\text{Carga de fondo} = 0,9 \times 2,0 = 1,8 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Longitud de carga de columna} &= 2,60 - (0,90 + 0,50) \\ &= 1,20 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Carga de columna} = 1,20 \times 1,0 = 1,2 \text{ kg}$$

Barreno adicional:

$$\text{Longitud de carga de fondo} = 1/3 \times 1,70 \cong 0,60 \text{ m}$$

$$\text{Carga de fondo} = 0,60 \times 2,00 = 1,20 \text{ kg}$$

No tiene carga de columna.

- 5 Los ayudantes de la cuña pueden tener un bordo de 1,00 m según la correspondiente tabla. El ancho del túnel menos las zonas del postcorte de la pared es el espacio en donde vamos a distribuir los ayudantes

$$10,00 - 2 \times 0,6 = 8,80 \text{ m}$$

$$\text{Número de espaciamentos} = \frac{8,80}{1,00} = 8,8$$

Por la simetría es necesario de poner 10 espaciamentos y el bordo sale entonces $\frac{8,80}{10} = 0,88 \text{ m}$

Esto significa una sobrecarga de los ayudantes de unos 10 %.

La profundidad de los ayudantes varia entre 4,1 y 3,6 m.
Por la barrenación más cerrada podemos calcular la
carga de fondo para la profundidad de 3,6 m.

$$\text{Carga de fondo } 1/3 \times 3,6 \times 2,00 = 2,40 \text{ kg/barreno}$$

$$\text{Taco} = 0,50 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Longitud de carga de columna} &= 3,60 - (1,20 + 0,50) \\ &= 1,90 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Concentración de la carga de columna} = 0,4 \times 2,00 = 0,8 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga de columna} = 0,8 \times 1,90 \approx 1,50 \text{ kg}$$

- 6 Los barrenos con calida hacia abajo tienen las siguientes características:

$$V = 1,15 \text{ m} \quad E = 1,35 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Se ajusta el espaciamiento al espacio disponible} \\ = 10 - (2 \times 0,6) = 8,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Número de espaciamientos

$$\frac{8,80}{1,35} \approx 7$$

$$E_1 = \frac{8,80}{7} = 1,26 \text{ m}$$

$$\text{Carga de fondo} = 1,3 \times 3,6 \times 2,00 = 2,40 \text{ kg/barreno}$$

$$\text{Taco} = 0,55 \text{ m}$$

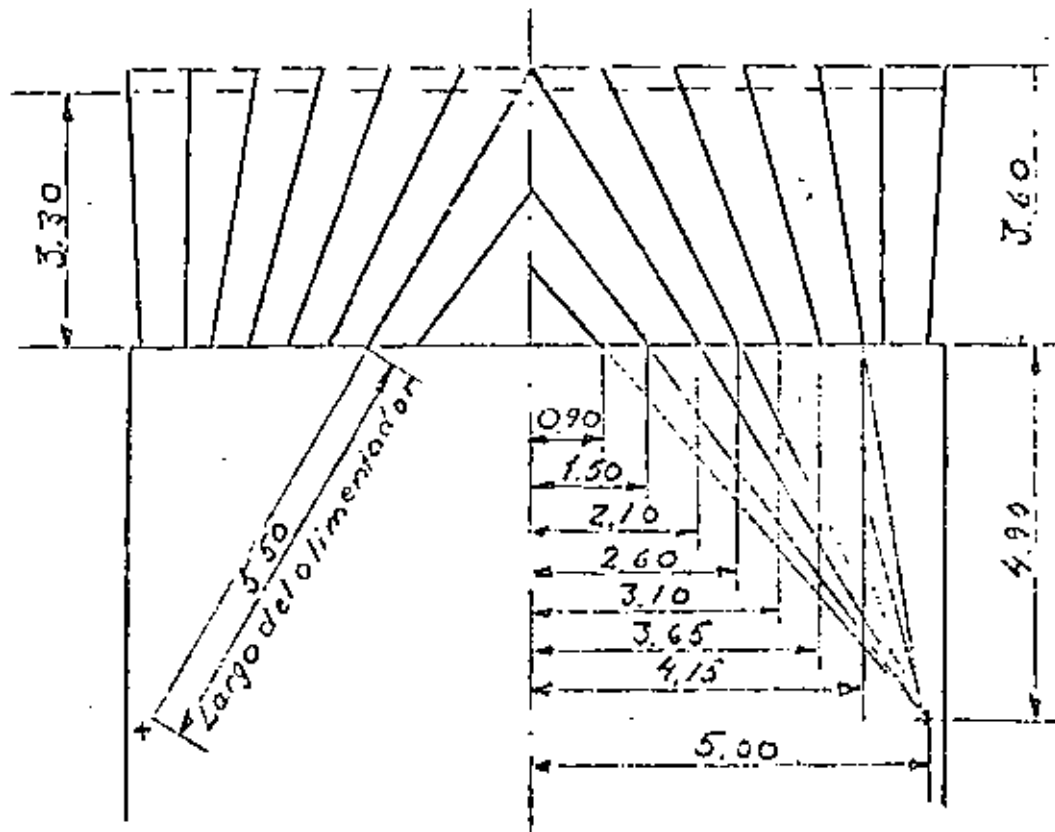
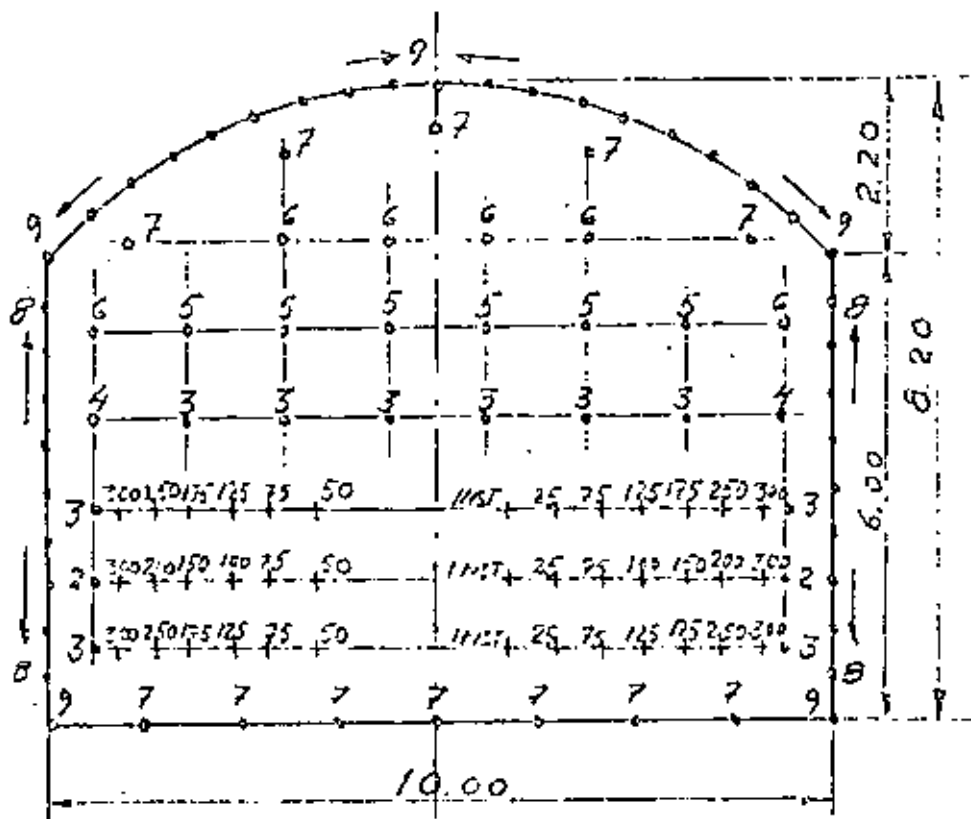
$$\begin{aligned} \text{Longitud de carga de columna} &= 3,60 - (1,20 + 0,55) \\ &= 1,85 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Concentración de carga de columna} = 0,5 \times 2,00 = 1,00 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga de columna} = 1,85 \times 1,00 = 1,85 \text{ kg}$$

El resultado:

El diagrama de barrenación



Los datos principales

Barreno	Tipo de barreno	Profundidad	Número de barrenos	Barrenación	Carga de fondo	Carga de columna	Carga total
		m		m	kg	kg	kg
INST	Cuña	1,70	3	5,10	1,20	-	3,60
NS 25	Cuña	2,60	6	15,60	1,00	1,20	18,00
NS 75	Cuña	4,20	6	25,20	2,80	1,70	27,00
NS 100-300, Ac 2-3	Ayudantes	4,10-3,60	30	114,00	2,40	1,50	117,00
Ac 3-7	Interiores	3,60	25	90,00	2,40	1,85	106,25
Ac 8	Paredes	3,60	18	64,80	0,40	0,60	18,00
Ac 9	Techo	3,60	19	69,40	0,20	0,60	15,20
Ac 7-9	Piso	3,60	9	32,40	2,40	3,10	42,50
				116	415,50		347,55

$$\text{Volumen por tronada} = 75 \times 3,30 = 247,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga específica} = \frac{347,55}{247,50} = 1,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Barrenación específica} = \frac{415,5}{247,5} = 1,68 \text{ m/m}^3$$

7.2 Lumbreras

Lumbreras pueden ser verticales o inclinadas. Es difícil de definir el límite entre lumbreras inclinadas y túneles pero se trata de evitar túneles con más pendiente que 13 a 14 por cientos y lumbreras con una inclinación menos de 45° (100 %). Según las circunstancias se excava las lumbreras desde arriba por abajo, pozos, o desde abajo por arriba, contrapozos.

La excavación de pozos sicapre ha sido muy caro por los problemas de agua, resaca y ventilación. Recientemente se ha desarrollado retroexcavadoras hidráulicas para pozos que son excelentes para la resaca.

La excavación de contrapozos casi siempre se hace con una lumbreira piloto de 2 x 2 m y después una ampliación desde arriba. Por eso la cuña paralela con uno o dos barrenos de gran diámetro es la más adecuada, pero se puede también usar una cuña piramidal que se calcula en la misma manera como una cuña en V.

También para pozos se puede usar la cuña paralela, pero si hay filtraciones de agua, es preferible con una cuña piramidal. La cuña paralela no trabaja bien con el barreno central lleno de agua.

Para el contrapozo piloto se puede escoger entre 4 métodos:

- Con barrenación larga

La barrenación se hace desde arriba y después se carga también desde arriba, confinando la carga para el avance selecto con dispositivos especiales. La ventaja del método es que se evita el trabajo muy peligroso en el contrapozo. La desventaja es que se necesita una dirección de la barrenación muy exacta, la desviación de 5 mm por metro es el límite para llegar una lumbreira de 40 de profundidad y todavía es necesario de hacer barrenos extras para asegurar que salen las tronadas.

- Con trepadora Alimak

La trepadora Alimak es una plataforma que viaja sobre un riel montado en la pared del piloto, que permite los perforistas de subir y amacizar bajo protección. Con propulsión eléctrica es posible de hacer contrapozos hasta 1.500 m de largo en un tramo. Es útil para contrapozos verticales y inclinados.

Sam/ES

- Con plataforma suspendida en cable

Primero se hace un barrenado de 4" en el centro del piloto. Con un malcate arriba se tiene la plataforma de barrenación suspendida en el cable. El método ofrece la misma seguridad que el Alimak, pero no es posible de hacer contrapozos más largos de 100 m.

El método es adaptado para contrapozos verticales, pero con un sistema de riel es posible hacer contrapozos inclinados. Sin embargo, pienso que el sistema Alimak es mejor para contrapozos inclinados.

- Con contrapozero (raise bozer)

Simplemente es un topo vertical que se maneja desde arriba. Es un método muy elegante, pero en roca dura no puede compararse con métodos convencionales todavía.

- - -

San/ES

VOLADURA DE TUNEL

PATRON PARA DIAGRAMA DE BARRENACION Y CALCULO DE CARGA

Datos del túnel

Sección (circular, portal u herradura)

Ancho	m
Altura a la clave	m
Altura al estribo	m
Radio del techo	m
Arca (línea A)	m ²
Perímetro, techo	m

Datos de barrenaciónEquipo de barrenación
(maquinas de pierna o maquinas montadas)Tipo de acero de barrenación
(integral o de extensión)

Profundidad de la barrenación m

Diámetro del barreno en el fondo m

Desviación de barrenos perimetrales

techo y paredes m

piso m

Datos de los explosivos

Explosivo para barrenos normales

Explosivo para postcorte

Estopines

Sam/MS

Datos de cálculo

Condiciones geométricas:

Bordo máx = Profundidad de la barrenación - 0,40 m

Bordo máx = 0,7 x la apertura libre

Condiciones de rotura:

Carga específica en la parte del fondo del barreno con salida hacia arriba u horizontal =

$$1,0 - (\phi - 25) \times 0,02 \text{ kg/m}^3$$

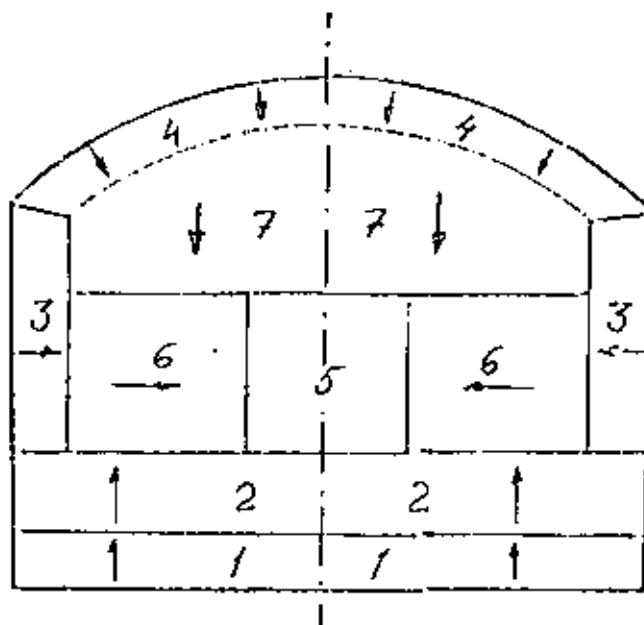
donde ϕ es el diámetro del barreno en mm

Tablas de bordo, espaciamiento y carga, ver anexo 1

- - -

Sam/RS

Secuencia del cálculo



- Clave:
- 1 Barrenos de piso
 - 2 Barrenos con salida hacia arriba
 - 3 Barrenos de pared
 - 4 Barrenos de techo
 - 5 Cuña con ayudantes
 - 6 Barrenos con salida horizontal
 - 7 Barrenos con salida hacia abajo

Nota importante:

La secuencia mostrada es el orden de hacer el cálculo y no se debe confundir con la secuencia de iniciación.

Cm/MS

Tablas de bordo, espaciamento y carga

En las siguientes tablas, basadas en los datos proporcionados por Langefors y Gustafsson, se ha tomado en cuenta el efecto de la barreración desviada en barrenos más profundos.

Tabla 1

Barrenos con salida por arriba u horizontal

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				kg	kg/m	kg	kg/m	
mm	m	m	m					m
33 (ser 11)	1,6	0,60	0,70	0,60	1,10	0,30	0,40	0,30
32	2,4	0,90	1,00	0,80	1,00	0,55	0,50	0,45
31	3,2	0,90	0,95	1,00	0,95	0,85	0,50	0,45
38 (ser 12)	2,4	1,00	1,10	1,15	1,44	0,80	0,70	0,50
37	3,2	1,00	1,10	1,50	1,36	1,15	0,70	0,50
45 (ext.)	3,2	1,15	1,25	2,25	2,03	1,50	1,00	0,55
48	3,2	1,20	1,30	2,50	2,30	1,70	1,15	0,60
48	4,0	1,20	1,30	3,00	2,50	2,45	1,15	0,60
51	3,2	1,25	1,35	2,50	2,60	1,95	1,50	0,60
51	4,0	1,25	1,35	3,40	2,60	2,70	1,30	0,60

Sam/MS

Tabla 2

Barrenos de piso

Diámetro del barreno mm	Profundidad del barreno m	Bordo m	Espaciamiento m	Carga de fondo		Carga de columna		Taco m
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33 (ser 11)	1,6	0,60	0,70	0,60	1,10	0,70	0,75	0,10
32	2,4	0,90	1,00	0,80	1,00	1,00	0,70	0,20
31	3,2	0,90	0,95	1,00	0,95	1,30	0,65	0,20
38 (ser 12)	2,4	1,00	1,10	1,15	1,44	1,40	1,00	0,20
37	3,2	1,00	1,10	1,50	1,36	1,80	0,95	0,20
45 (ext)	3,2	1,15	1,25	2,25	2,03	2,60	1,40	0,25
48	3,2	1,20	1,30	2,50	2,30	3,00	1,60	0,25
48	4,0	1,20	1,30	3,00	2,30	4,25	1,60	0,25
51	3,2	1,25	1,35	2,70	2,60	3,20	1,80	0,25
51	4,0	1,25	1,35	3,40	2,60	4,75	1,80	0,25

Nota importante:

Por la desviación de los barrenos hacia abajo ("el picado") es necesario marcar el bordo de los barrenos de piso (es decir los barrenos de la siguiente hilera) según la siguiente tabla.

Diámetro del barreno mm	Profundidad del barreno m	Bordo en el fondo m	Bordo a marcar con "el picado" de		
			0,20 m	0,30 m	0,40 m
33 (ser 11)	1,6	0,60	0,40	0,30	0,20
32	2,4	0,90	0,70	0,60	0,50
31	3,2	0,90	0,70	0,60	0,50
38 (ser 12)	2,4	1,00	0,80	0,70	0,60
37	3,2	1,00	0,80	0,70	0,60
45 (ext)	3,2	1,15	0,95	0,85	0,75
48	3,2	1,20	1,00	0,90	0,80
48	4,0	1,20	1,00	0,90	0,80
51	3,2	1,25	1,05	0,95	0,85
51	4,0	1,25	1,05	0,95	0,85

Sam/MS

Tabla 3

Barrenos con salida hacia abajo

Diámetro del barreno mm	Profundidad del barreno m	Bordo m	Espaciamiento m	Carga de fondo		Carga de columna		Taco m
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33	1,6	0,60	0,70	0,60	1,10	0,30	0,40	0,30
32	2,4	0,90	1,10	0,80	1,00	0,55	0,50	0,45
31	3,2	0,85	1,10	1,00	0,95	0,85	0,50	0,45
38	2,4	1,00	1,20	1,15	1,44	0,80	0,70	0,50
37	3,2	1,00	1,20	1,50	1,36	1,15	0,70	0,50
45	3,2	1,15	1,40	2,25	2,03	1,50	1,25	0,55
48	3,2	1,20	1,45	2,50	2,30	1,70	1,15	0,60
48	4,0	1,20	1,45	3,00	2,30	2,45	1,15	0,60
51	3,2	1,25	1,50	2,50	2,60	1,95	1,30	0,60
51	4,0	1,25	1,50	3,40	2,60	2,70	1,30	0,60

Sam/MS

Tabla 4

Barreros de pared

Diámetro del barreno	Profundi- dad del barreno	Bordo	Espacia- miento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				kg	kg/m	kg	kg/m	
mm	m	m	m					m
33	1,6	0,55	0,65	0,30	1,10	0,45	0,45	0,30
32	2,4	0,80	0,95	0,40	1,00	0,65	0,40	0,40
31	3,2	0,80	0,95	0,50	0,95	0,90	0,40	0,40
38	2,4	0,90	1,10	0,60	1,44	0,85	0,60	0,45
37	3,2	0,90	1,10	0,75	1,36	1,20	0,55	0,45
45	3,2	1,00	1,20	1,10	2,03	1,80	0,80	0,50
48	3,2	1,10	1,30	1,20	2,30	2,00	0,90	0,55
48	4,0	1,10	1,30	1,50	2,30	2,50	0,90	0,55
51	3,2	1,15	1,40	1,40	2,60	2,10	1,00	0,60
51	4,0	1,15	1,40	1,70	2,60	2,70	1,00	0,60

Sam/MS

Tabla 5

Barrenos de techo (sin postcorte)

Diámetro del barreno	Profundi- dad del barreno	Bordo	Espacia- miento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
				kg	kg/m	kg	kg/m	
mm	m	m	m					m
33	1,6	0,55	0,65	0,30	1,10	0,35	0,35	0,30
32	2,4	0,80	0,95	0,40	1,00	0,50	0,30	0,40
31	3,2	0,80	0,95	0,50	0,95	0,70	0,30	0,40
38	2,4	0,90	1,10	0,60	1,44	0,70	0,45	0,45
37	3,2	0,90	1,10	0,75	1,36	0,90	0,40	0,45
45	3,2	1,00	1,20	1,10	2,03	1,30	0,60	0,50
48	3,2	1,10	1,30	1,20	2,30	1,45	0,70	0,55
48	4,0	1,10	1,30	1,50	2,30	1,95	0,90	0,55
51	3,2	1,15	1,40	1,40	2,60	1,70	0,80	0,60
51	4,0	1,15	1,40	1,70	2,60	2,25	0,80	0,60

Sam/MS

Tabla 6

Barrenos de postcorte

Diámetro del barreno mm	Concentración de carga kg/m	Bordo m	Espaciamiento m
30	0,10	0,5	0,7
37	0,12	0,6	0,9
44	0,17	0,6	0,9
50	0,25	0,8	1,1
62	0,35	1,0	1,3
75	0,50	1,2	1,6
87	0,70	1,4	1,9
100	0,90	1,6	2,1
125	1,40	2,0	2,7
150	2,00	2,4	3,2
200	3,00	3,0	4,0

TUNEL S A
INTERCEPTORES PROFUNDOS
MEXICO D F

79-05-24

1 (4)

Sam/

1 Anexo

3

Construcción de Túneles. Parte II

1. Planteamiento del problema.

1.1 Descripción del Proyecto

Para el ejemplo se usa un túnel de presión de 5800 m de largo y una sección de herradura de 37 m² de área. El desnivel sobre la entrada y la salida del túnel es 58 m. El túnel es recto en planta.

1.2 Tiempo de ejecución para excavación.

La excavación se va a terminar en 26 meses.

1.3 Precio por m³ (indicativo)

Se supone que un precio normal "de venta" sería de \$1000.00/m³.

2. Planeación para su ejecución.

2.1 Modificación del perfil

Para cumplir con el programa se necesita un mínimo de dos frentes. Desde la entrada se puede atacar el frente únicamente por una lumbrera, pero unos 1500 m desde la entrada hay un valle que permite el arreglo de un túnel de trabajo.

Con este túnel se obtiene 3 frentes de trabajo.

El mayor problema en las excavaciones de túneles en roca dura es la filtración de agua y consecuentemente el drenaje. Por eso se busca siempre una solución para que se pueda trabajar siempre aguas arriba con una inclinación mínima de 2%, que es el límite de auto-drenaje con cuneta suficientemente grande y bien mantenida.

En la figura se muestra una manera de obtener un perfil adecuado.

Para evitar que se forme un colchón de aire en el "peak", se hace un barreno o pozo de aireación.

2.2 Frentes de Ataque

Con el túnel de trabajo propuesto se obtiene 1 frente desde la salida y 2 frentes desde el túnel de trabajo. Se propone hacer la excavación alternada en los dos frentes (péndulo).

TUNEL S A
INTERCEPTORES PROFUNDOS
MEXICO D F

79-05-24

2 (4)

Ssr./

4

2.3 Elaboración del Programa

Se ha calculado con las siguientes capacidades:

Instalaciones y Tajo, 2 meses.

Salida, 3 meses de entrenamiento con un avance promedio de 80 m/mes. Después 120 m/mes.

Túnel de trabajo (excavación en 10% de inclinación hacia abajo), 50 m/mes.

Los frentes desde el túnel de trabajo, excavación en péndulo 80 m/mes y frente.

Ver programa anexo.

2.4 Proyecto de Diagramas de barrenación y sistemas de iniciación

2.5 Cálculo de Ventilación

Se usa únicamente inyección de aire.

2.5.1. Salida

2.5.1.1. Requerimientos de aire.

2.5.1.1.1 Personal

Se calcula con 1.5 m³/min y persona. Se supone que la plantilla completa en el frente es de 15 personas.

Requerimientos de aire 15 X 1.5 = 22.5 m³/min.

2.5.1.1.2 Voladuras

Se carga con 175.5 kg de explosivo en este frente.

t = tiempo de ventilación = 30 min

Q = 175.5 kg

Requerimientos de aire $36 \frac{Q}{t} = 36 \frac{175.5}{30} = 210 \text{ m}^3/\text{min}$

2.5.1.1.3. Maquinaria de diesel

Se calcula con 4 locomotoras con la potencia de 75 HP cada una.

Se necesita 2.5 m³/min de aire fresco por HP.

TUNEL S A
INTERCEPTORES PROFUNDOS
MEXICO D F

79405-24

3 (4)

Sam

5

Requerimientos de aire = $4 \times 75 \times 2.5 = 750 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.5.1.1.4. Requerimientos dimensionantes.

Se dimensiona la ventilación para el equipo de diesel y el personal o para los pasos de la voladura. En este caso predomina el equipo de diesel y el personal con $22.5 + 750 = 772.5 \text{ m}^3/\text{min}$ comparado con $210 \text{ m}^3/\text{min}$ para las voladuras.

Una importante observación es que con locomotoras eléctricas se hace un ahorro considerable tanto en instalación, como en el gasto de energía eléctrica.

Por la altura sobre el mar se aplica el factor 1.55.

Requerimiento dimensionado = $772.5 / 1.55 = 1200 \text{ m}^3/\text{min}$

2.5.1.2 Diámetro del tubo de ventilación

Para evitar turbulencia excesiva y pérdidas altas por fugas y fricción se limita la velocidad del aire en el tubo a 20 m/s .

para $v = 20 \text{ m/s}$.

$$d \approx 0.25 \sqrt[3]{q} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$d = 0.25 \cdot \sqrt[3]{\frac{1200}{60}} = 1.12 \text{ m}$$

Se escoge el diámetro 1.20 m y ventiladores de $2 \times 25 \text{ HP}$ cada uno.

2.5.1.3 Cálculo

Peso volumétrico del aire = $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$.

Eficiencia de los ventiladores $\eta = 80\%$.

Requerimientos de aire fresco $C = 1200 \text{ m}^3/\text{min} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

Pérdida por fricción = $P \text{ mm}$ de columna de agua

$$\text{Fórmula de cálculo} = \frac{C \times P \times \rho}{75 \times \eta} = \frac{C \times P}{50} \text{ HP}$$

$$\frac{C \times P}{50} = 50 \text{ HP} \quad \frac{P \times 20}{50} = 50$$

$$P = 125 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Pérdida de fricción por metro de tubo = $0.25 \text{ mm H}_2\text{O}$

6
TUNEL S A
INTERCEPTORES PROFUNDOS
MEXICO D F

79-05-24

Sam

(Según nomograma, ver anexo longitud efectiva entre ventiladores

$$= \frac{125}{0.25} = 500 \text{ m}$$

La distancia de 500 m entre los ventiladores implica un tubo prácticamente sin fugas.

Reducción por fugas 10% por 1000 m de tubo.

Longitud práctica entre ventiladores

$$= 0.9 \times 500 = 450 \text{ m}$$

TUNEL S A
INTERCEPTORES PROFUNDOS
MEXICO D F

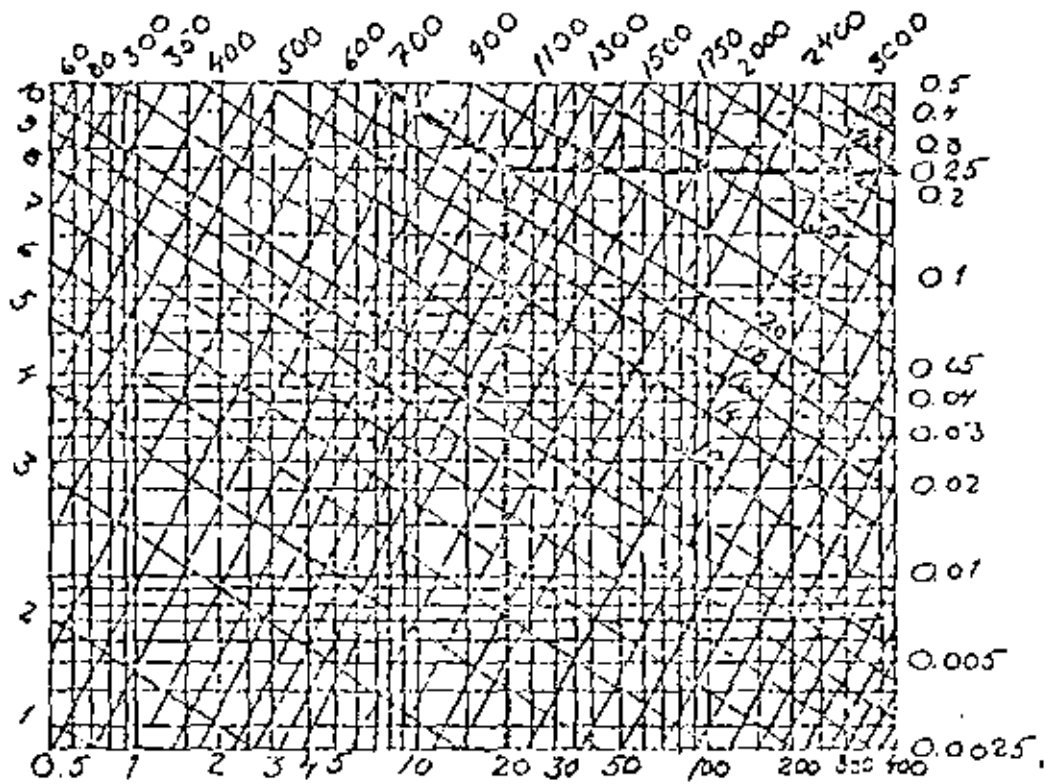
78-11-13

Sam/MS

HOMOGRAMA PARA TUPERIA DE VENTILACION

Diámetro del tubo, mm

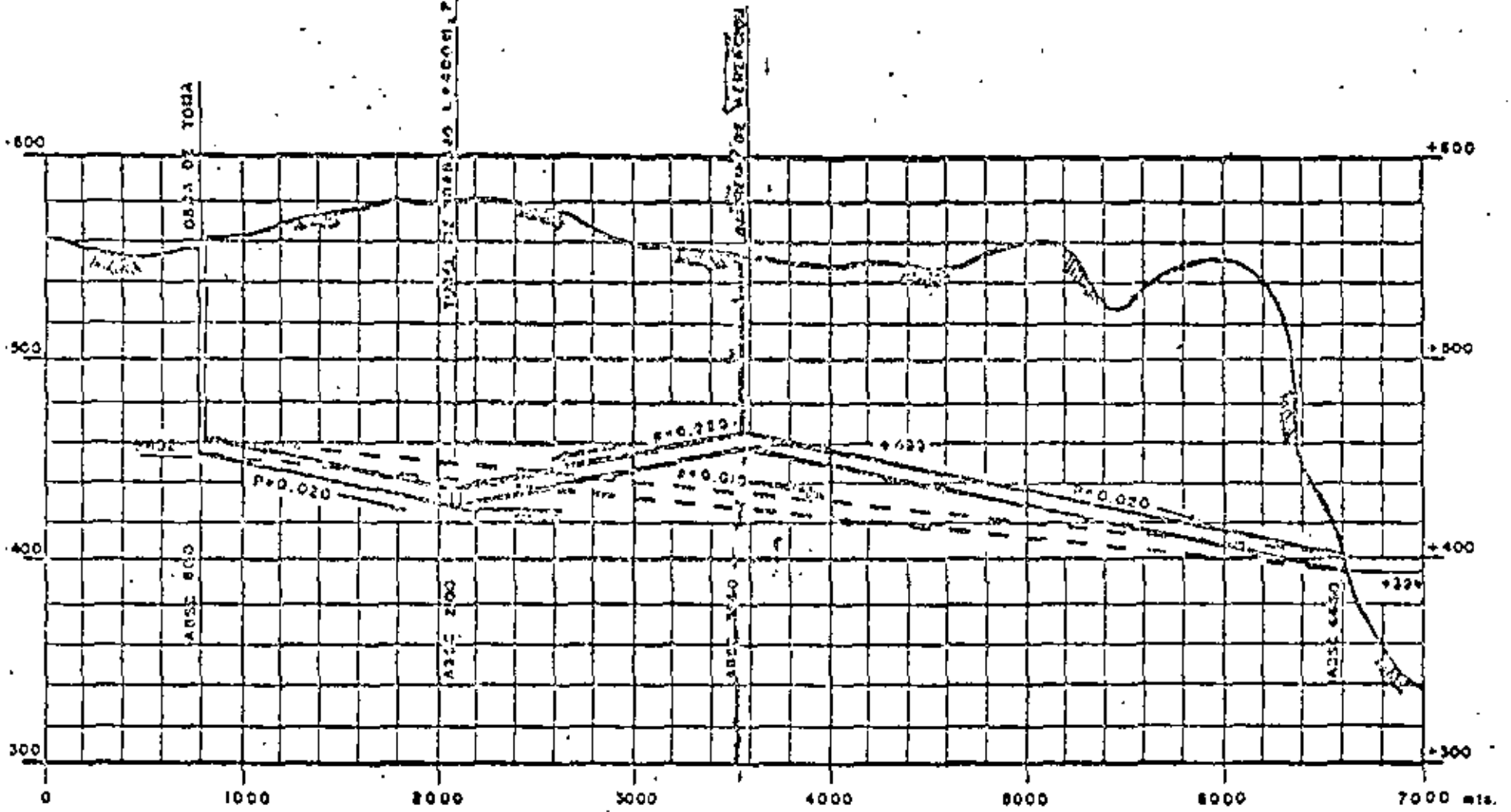
Velocidad del aire, m/s



Pérdida de fricción por metro de tubo,
mm de columna de agua

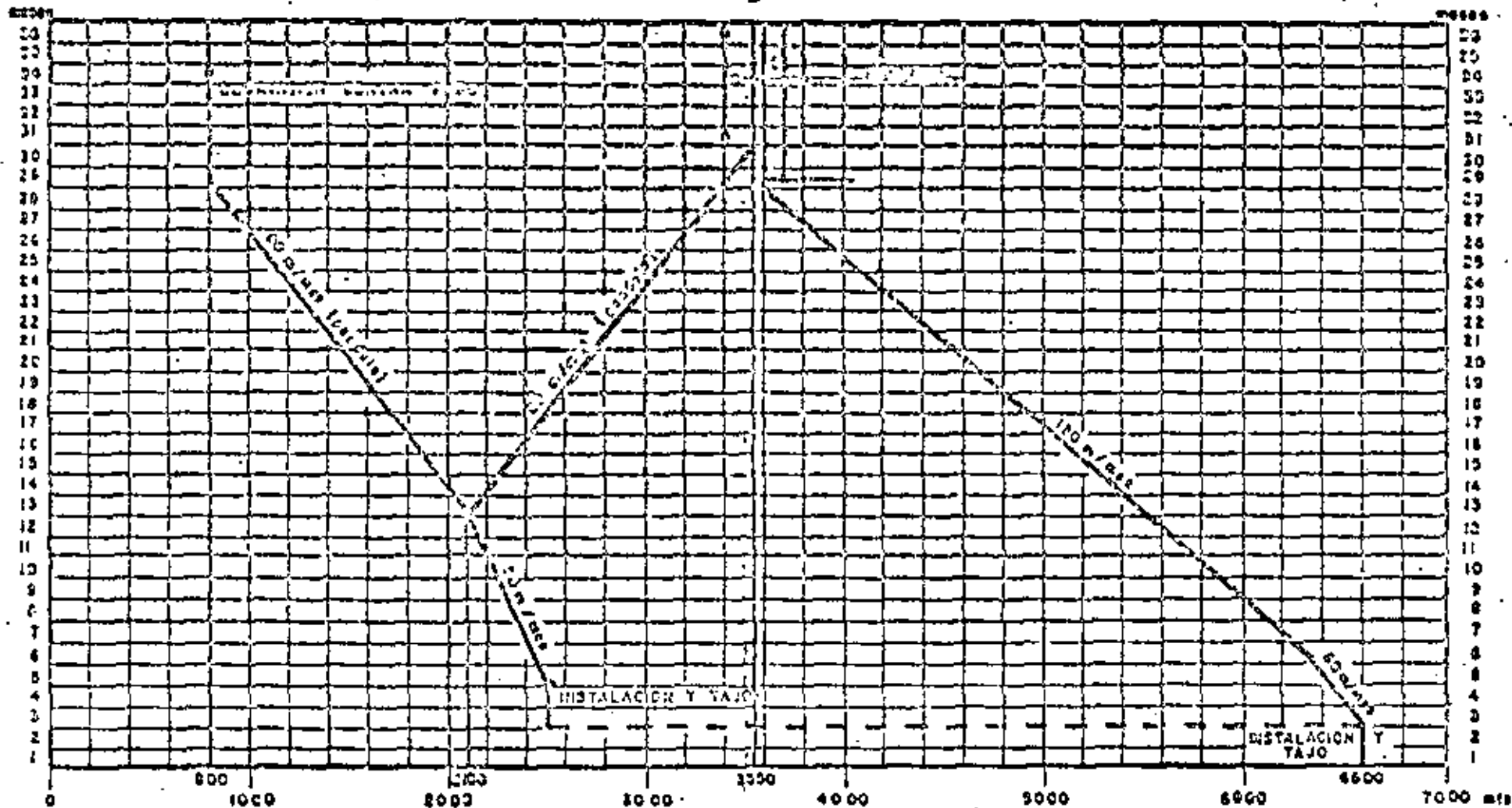
Capacidad de ventilación, m³/m

PERFIL



PROGRAMA

TIEMPO DE CONSTRUCCION = 30 MESES



Ejemplo de diagrama de barrenación y cálculo de carga

1 En general

Hasta ahora la mecanización de la barrenación ha implicado el uso de brocas de 45 a 51 mm. Por eso la aplicación de equipo mecanizado ha sido retrasada, especialmente en túneles con diámetro pequeño.

Ultimamente han salido en el mercado brazos hidráulicos que pueden barrenar con acero integral. En realidad estas máquinas salieron hace años, pero ahora han pasado el estado de experimento.

Se piensa que una comparación entre barrenación con acero integral y acero de extensión puede ser útil para escoger el procedimiento más económico.

1.1 Datos

Sección del túnel en que se va a aplicar el ejemplo, ver anexo 1.

Diámetro de barrenación

Alt 1 Acero de extensión $\beta = 1 \frac{7}{8}'' (48 \text{ mm})$

Alt 2 Acero integral, serie 12 $\beta = 40 - 29 \text{ mm}$

con barrenación de 3,20 m $\beta = 37 \text{ mm}$

Constante de roca $\sigma = 0,4 \text{ kg/cm}^3$

Explosivos Gelatina Extra 40%
Duramex G

Cuña (cuelo) cilíndrica con 2 barrenos

vacíos del diámetro 3'' (76 mm)

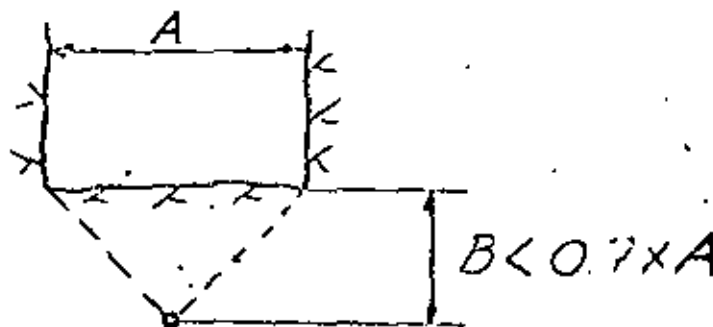
Profundidad de la barrenación = 3,20 m

Postcorte del techo

Estopines NS, Aoudet mark V o
INSTANTANEO

Bordo máximo = $0,7 \times A$, donde

A = Apertura libre (ver figura abajo)



Concentración de carga retacada

(Gelatina Extra 40 %) = 1,25 kg/litro

Desviación de la barrenación:

0,40 m en el piso y 0,20 m en techo y paredes

1.2 Diagrama de barrenación

Como en voladuras de banco hay que contar con cierta sub-barrenación para obtener el avance real. Pero en túneles lo más importante para el avance es la exactitud de la barrenación. Según una larga estadística se puede calcular con un avance de 90 % de la profundidad de la barrenación con un trabajo bien hecho.

Como un detalle práctico se puede mencionar que no es suficiente controlar los fuques sino también que se meta la barrena hasta el fondo. Existe todavía la mala costumbre de retirar la barrena cuando todavía queda 10 a 15 cm de barrenar. En un túnel de 3 km de largo se pierde en esta manera entre 100 y 150 m de avance.

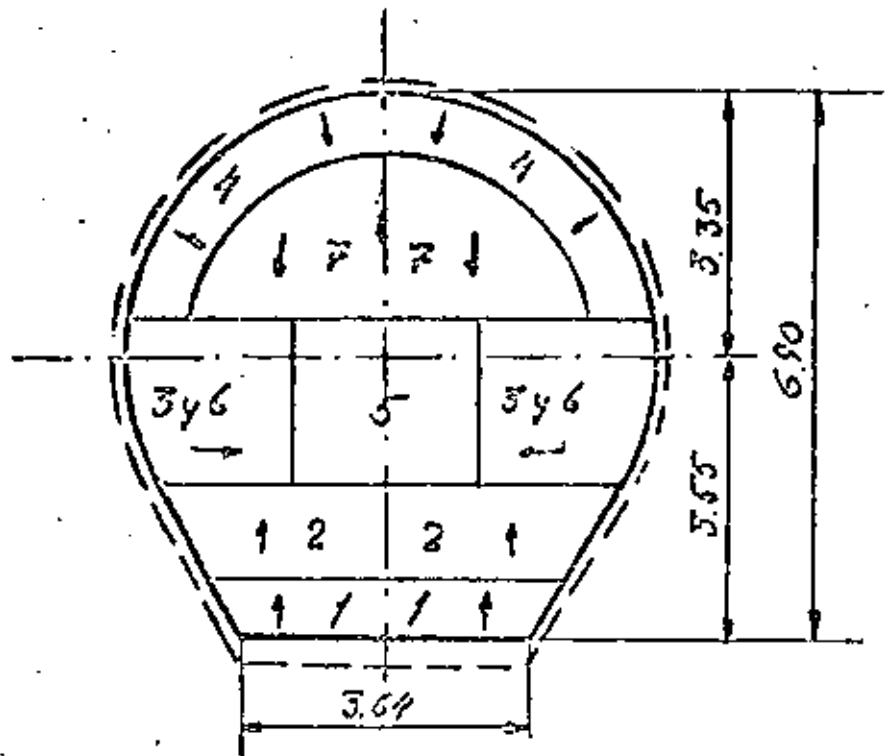
Otra mala costumbre es de tratar de rectificar un frente un poco doblado con barrenos más cortos en el centro. Con esto se pierde avance y un frente ligeramente doblado tiene además varias ventajas en cuanto a salida de los barrenos, estabilidad del frente, etc.

Avance estimado por voladura

$$= 0,9 \times 3,20$$

$$= 2,90 \text{ m}$$

1.2.1 Secuencia del cálculo



- Claves:**
- 1 Barreros de piso
 - 2 Barreros con salida hacia arriba
 - 3 Barreros de pared
 - 4 Barreros de techo
 - 5 Uña con ayudantes
 - 6 Barreros con salida horizontal
 - 7 Barreros con salida hacia abajo

Nota importante:

La secuencia mostrada es el orden de hacer el cálculo y no se debe confundir con la secuencia de iniciación.

1.3 Barrenación con acero integral

Con barrenación de 3,20 m la broca tiene el diámetro de 37 mm.

1.3.1 Barrenos de piso (ver la tabla correspondiente)

Para los barrenos con salida hacia arriba u horizontal se requiere la siguiente carga en el fondo:

$$\text{Carga específica } 1,0 + (\phi - 25) \times 0,02 \text{ kg/m}^3$$

donde ϕ es el diámetro actual del barreno

En este caso sale una carga específica de

$$1 + (37 - 25) \times 0,02 = 1,24 \text{ kg/m}^3$$

La carga de fondo tiene una altura de una tercera parte del barreno y el taco es igual a 0,5 x bordo para barrenos con salida hacia arriba. Para los barrenos de piso se reduce el taco a 0,2 x bordo.

Otra condición es que el bordo no puede ser mayor que

$$\frac{L - 0,40}{2}$$

donde L es la profundidad de la barrenación

El espaciamiento es normalmente

$$1,1 \times \text{el bordo}$$

Con esta condición se asegura que haya espacio para la carga de fondo y el taco. Se puede compararse con la voladura de bancos bajos donde el bordo no puede ser mayor que la mitad de la altura del banco.

Es muy importante que se haga el cálculo con las medidas que existen en el fondo de la barrenación. Ver la línea punteada en el anexo q, que indica donde caen los barrenos perimetrales con la desviación necesaria para dar espacio a la perforadora.

Se hace constar que esta desviación es independiente de la profundidad de la barrenación, porque depende únicamente del tamaño de la perforadora.

De la tabla se saca los datos abajo:

Diámetro de barrenación	Profundidad de barrenación	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo	Carga de columna	Taco	
mm	m	m	m	kg	kg	kg/m	m
37	3,20	1,00	1,10	1,50	1,80	0,95	0,20

Ancho del túnel en el piso = 3,64 m

Con 4 espacios sale el espaciamento

$$\frac{3,64}{4} = 0,91 \text{ m}$$

Bordo = 1,10 m, que significa que la siguiente hilera se mete 1,10 - 0,40 = 0,70 m arriba del piso

1.3.2 Barrenos con salida hacia arriba

Normalmente se mete la cuña directamente sobre el bordo de los barrenos de piso. Pero con la sección de herradura es más conveniente subir la cuña a otro bordo.

Con la cuña más arriba se obtiene la ventaja que haya más distancia hasta las paredes, que permite oscilar con la cuña más al centro.

Datos para barrenos con salida hacia arriba:

Diámetro de barrenación	Profundidad de barrenación	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo	Carga de columna	Taco	
mm	m	m	m	kg	kg	kg/m	m
37	3,20	1,00	1,10	1,50	1,15	0,70	0,50

Ancho del túnel en esta hilera = 5,00 m

Con 5 espacios sale el espaciamento

$$\frac{5,00}{5} = 1,00 \text{ m}$$

Bordo teórica 1,00 m. Se pone el bordo 0,95 m para obtener una distribución más uniforme de los barrenos.

1.3.3 Barrenos de pared

Según Gustafsson estos barrenos deben tener una carga y distribución diferente de los barrenos con salida horizontal, pero la experiencia indica que es muy difícil supervisar un trabajo con especificaciones complicadas. Por eso se recomienda calcular estos barrenos como barrenos con salida horizontal.

Datos ver 1.3.2

$$\text{Área por barreno} = 1,00 \times 1,10 = 1,10 \text{ m}^2$$

Para obtener un diagrama sencillo se mantiene la distancia entre hileros horizontales constante en 0,95 m.

Para los barrenos con salida horizontal esta se convierte en espaciamiento y el bordo puede llegar a

$$\frac{1,10}{0,95} = 1,15 \text{ m}$$

1.3.4 Barrenos de techo

En este ejemplo se va a usar pontcorte (smooth-blasting) para los barrenos perimetrales.

Datos:

Bordo	Espacia- miento	Conc. de carga Gel E 40 %	Conc. de carga Duramex G 75 %
m	m	kg/m	kg/m
0,80	0,60	0,18	0,25

El cartucho de Duramex G 7/8" x 8" pesa 0,08 kg y con espacios de 10 cm entre los cartuchos se obtiene la concentración

$$\frac{0,08}{0,20 + 0,10} = 0,27 \text{ kg/m}$$

Con cargas prefabricadas, tipo Gurit, hay un desacoplado radial (relación entre área del barreno y área de la carga).

Con cargas hechas en casa hay además un desacoplado entre los cartuchos, y se puede permitir una carga un poco arriba la teórica.

Las cargas perimetrales tienen que prepararse con primacord y es además recomendable conectar los barrenos con una antena de primacord.

Se repita que las tres condiciones para un postcorte son:

- Distribución adecuada de los barrenos
- Baja concentración de carga
- Iniciación simultánea

(Se puede permitir una dispersión de unos MS y los altos números de los Acúdet tienen una dispersión de varios 100 MS.)

Con la suposición que los barrenos son picados 0,20 m hacia fuera se marcan la línea de los ayudantes arriba en 0,60 m del perimetro.

1.3.5 La cuña y sus ayudantes

La plantilla de la cuña se muestra en el anexo 2.

Teóricamente la concentración de carga debe variar con el bordo, pero esto es muy difícil efectuar en el frente especialmente como no hay cargas prefabricadas.

En toda la cuña se carga con G E 40 % 7/8" x 8" sin retaque.

Esto da una concentración de carga de

$$5 \times 0,125 = 0,625 \text{ kg/m}$$

que puede usarse hasta bordos de 0,50 m.

1.3.6 Barrenos con salida horizontal

Ver 1.3.2

1.3.7 Barrenos con salida hacia abajo

Datos:

Bordo	Espacia- miento	Carga de fondo	Carga de columna	
m	m	kg	kg	kg/m
1,00	1,20	1,50	1,15	0,70

Estos barrenos se distribuyen uniformemente en el espacio que queda.

1.3.8 El diagrama de barrenación

Ahora se puede marcar los barrenos según los datos obtenidos, ver anexo 3.

También se muestra la secuencia de ignición. Es importante siempre usar todo el rango de intervalos desde el INSTANTANEO hasta número 9 del Loudet. La razón de esto es que la roca abundada necesita tiempo para salir hacia el frente para no perturbar la salida de los barrenos siguientes.

En voladuras de banco el principio es totalmente diferente, porque allí se aprovecha el esponjamiento y la interacción para mejorar la fragmentación.

1.3.9 Tabla de carga

En el anexo 4 se presenta el resumen de los datos de carga.

1.4 Barrenación con acero de extensión

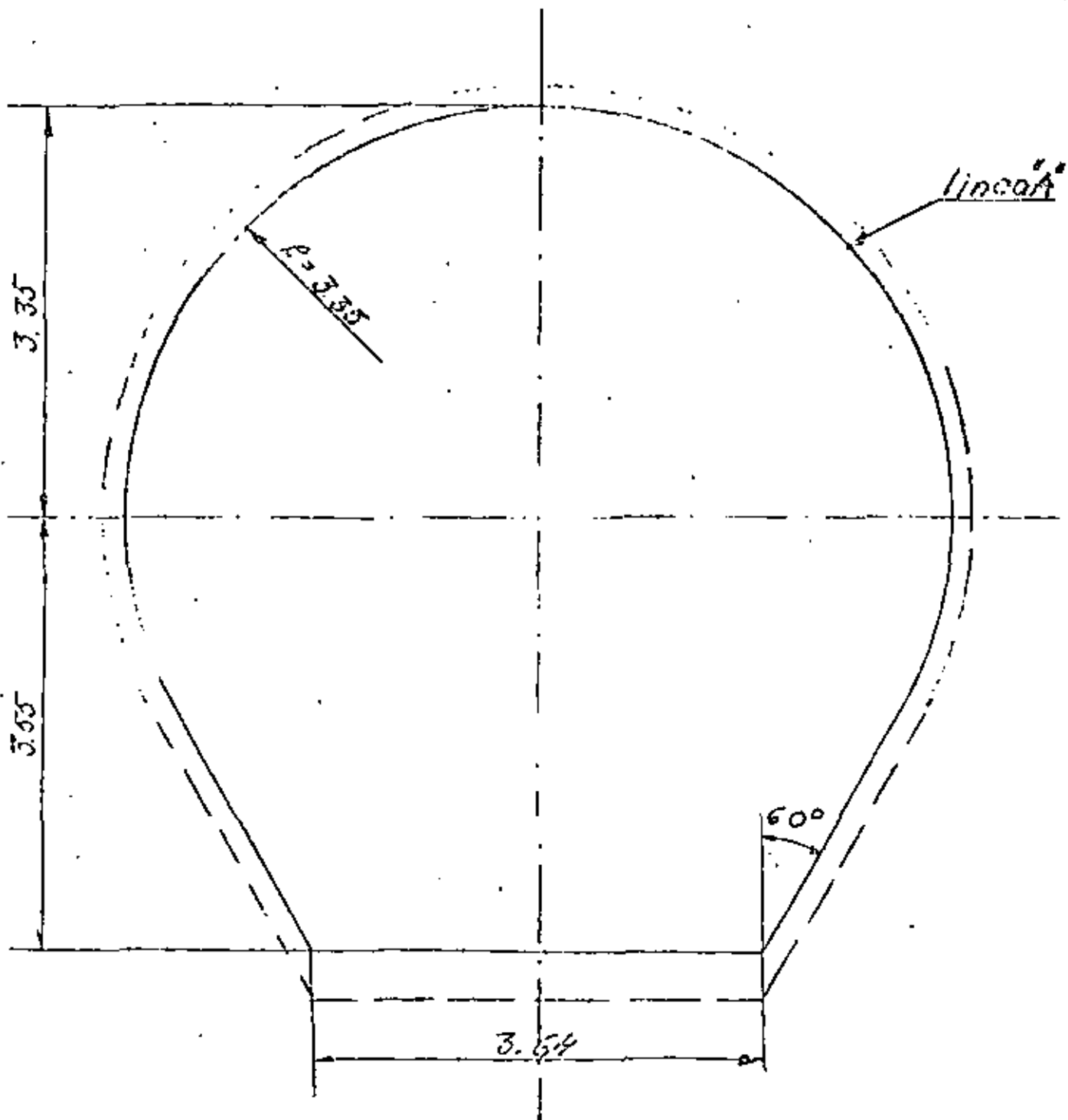
Se puede trabajar con diámetros de 45 a 51 mm.

En este ejemplo se usa la barrenación de 48 mm.

1.4.1 Resultado

El cálculo es idéntico y por falta de tiempo no se repite aquí.

El resultado se muestra en los anexos 5, 6 y 7.



Sección del túnel

Barrenación con broca de 37 mm (serie 12)

Tabla de carga

Datos:

Ancho = 6,70 m Altura = 6,90 m Área ≈ 37,0 m² (línea A)Barrenación = 3,20 m, ϕ = 37 mm (serie 12)

Avance estimado por voladura = 0,90 x 3,20 = 2,90 m

Volumen por voladura = 2,90 x 37,0 = 107,3 m³

Explosivos: Gelatina Extra 40 % y Duramex G

Pesos: Gelatina Extra 40 %, 1 1/8" x 8" = 0,200 kg/cart.

Gelatina Extra 40 %, 7/8" x 8" = 0,125 kg/cart

Duramex G, 7/8" x 8" = 0,080 kg/cart

Tipo de barrenos	Estopín no.	Número de barrenos	Carga por barreno			Carga total kg
			con retaque cart	sin retaque cart	≈ cart	
			G E 40 %	7/8"		
Cuña	INST	1	1	13	14	1,75
Cuña	MS 50	1	1	13	14	1,75
Cuña	MS 100	1	1	13	14	1,75
Cuña	MS 150	1	1	13	14	1,75
Cuña	MS 200	1	1	13	14	1,75
Cuña	MS 250	1	1	13	14	1,75
Cuña	MS 300	4	1	13	14	1,75
Cuña	Ac 1	4	1	13	14	1,75
Ayudantes	Ac 2	4	3	12	15	1,88
			G E 40 %	1 1/8"		
Ayudantes	Ac 3	4	7	8	15	3,00
Ayudantes	Ac 4	5	7	8	15	3,00
Ayudantes	Ac 5	6	7	8	15	3,00
Ayudantes	Ac 6	6	7	8	15	3,00
Ayudantes y pared	Ac 7	10	7	8	15	3,00
Ayudantes	Ac 8	2	7	8	15	3,00
Piso	Ac 8	3	10	6	16	3,20
Piso	Ac 9	2	10	6	16	3,20
Techo	Ac 9	15				0,92 x)
Total		71				138,82

x) cargas preparadas de Duramex G 7/8" x 8"

$$\text{Coeficiente de carga} = \frac{138,82}{107,3} = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Coeficiente de barrenación} = \frac{71 \times 3,20}{107,3} = 2,12 \text{ m/m}^3$$

Barrenación con broca de 1 7/8" (48 mm)

Tabla de carga

Datos:

Ancho = 6,70 m Altura = 6,90 m Área = 37,0 m² (línea A)Barrenación = 3,20, β = 1 7/8" (48 mm)

Avance estimado por voladura = 0,90 x 3,20 = 2,90 m

Volumen por voladura = 2,90 x 37,0 = 107,3 m³

Explosivos: Gelatina Extra 40 % y Duranex G

Pesos: Gelatina Extra 40 %, 1 1/8" x 8" = 0,200 kg/cart

Gelatina Extra 40 %, 7/8" x 8" = 0,125 kg/cart

Duranex G, 7/8" x 8" = 0,080 kg/cart

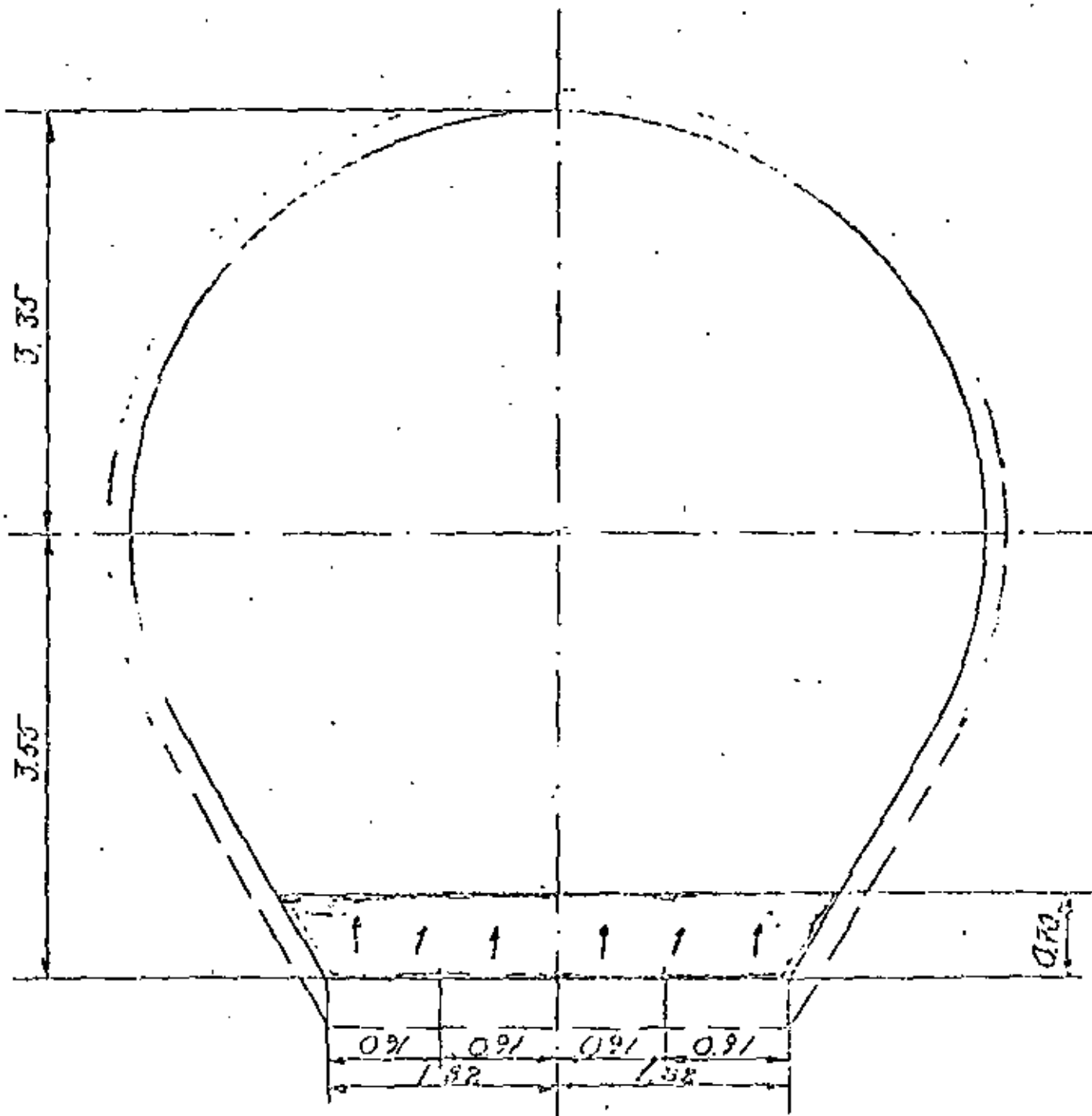
Tipo de barrenos	Estopin no.	Número de barrenos	Carga por barrenos				Carga total
			con retaque cart	sin retaque cart	≅ cart	kg	
			G E 40 %	7/8"			
Cuna	INST	1	1	13	14	1,75	1,75
Cuna	MS 100	1	1	13	14	1,75	1,75
Cuna	MS 150	1	1	13	14	1,75	1,75
Cuna	MS 200	1	1	13	14	1,75	1,75
Cuna	MS 250	1	1	13	14	1,75	1,75
Cuna	MS 300	1	1	13	14	1,75	1,75
Cuna	Ac 1	4	1	13	14	1,75	7,00
Cuna	Ac 2	4	4	12	16	2,00	8,00
			G E 40 %	1 1/8"			
Ayudantes	Ac 3	4	12	7	19	3,80	15,20
Ayudantes	Ac 4	4	12	7	19	3,80	15,20
Ayudantes	Ac 5	6	12	7	19	3,80	22,80
Ayudantes	Ac 6	8	12	7	19	3,80	30,40
Ayudantes							
y pared	Ac 7	8	12	7	19	3,60	30,40
Piso	Ac 8	3	16	6	22	4,40	13,20
Piso	Ac 9	2	16	6	22	4,40	8,80
Techo	Ac 9	13				1,08 x)	14,04
Total		62					175,54

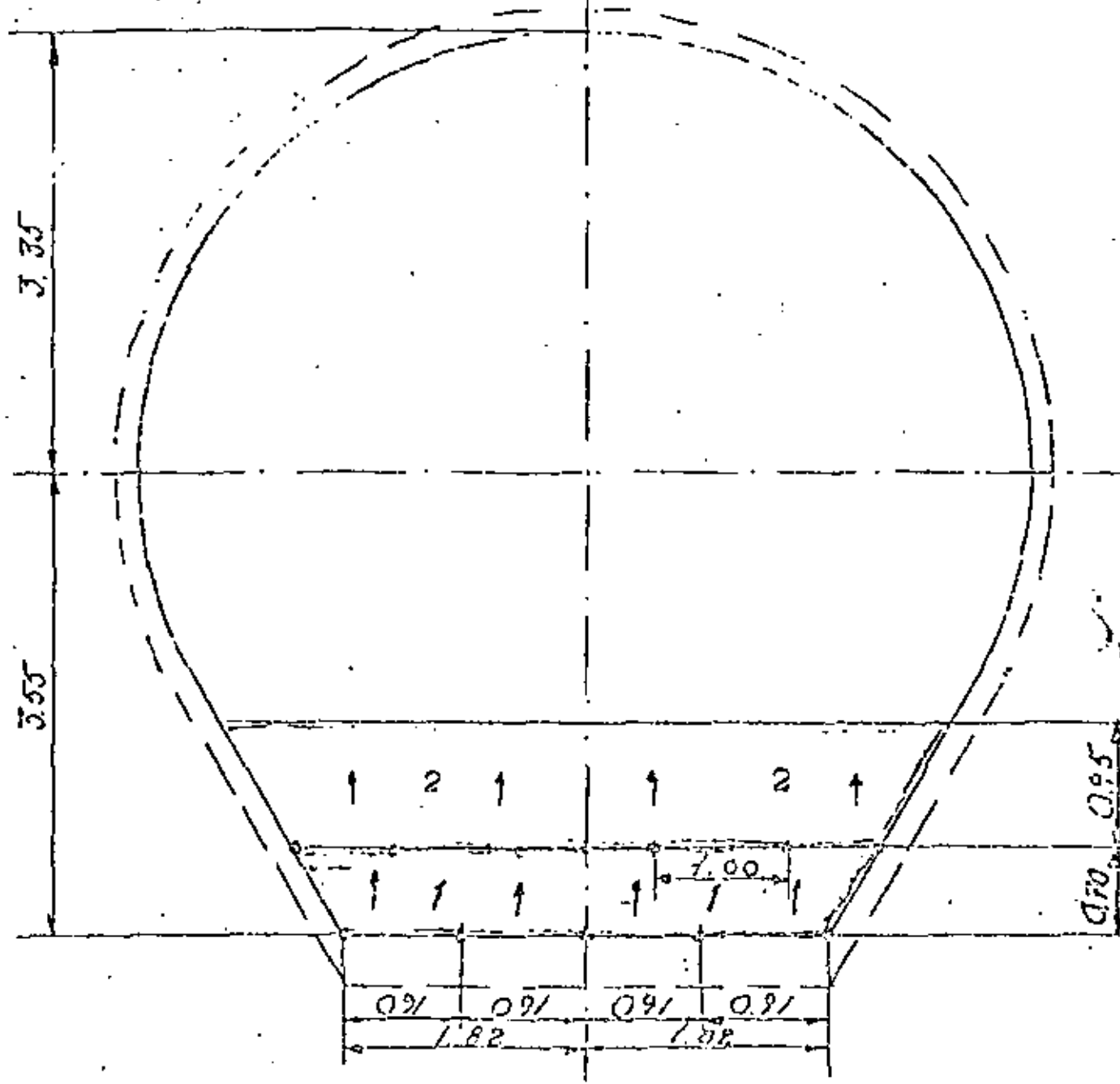
x) cargas preparadas de Duranex G 7/8" x 8"

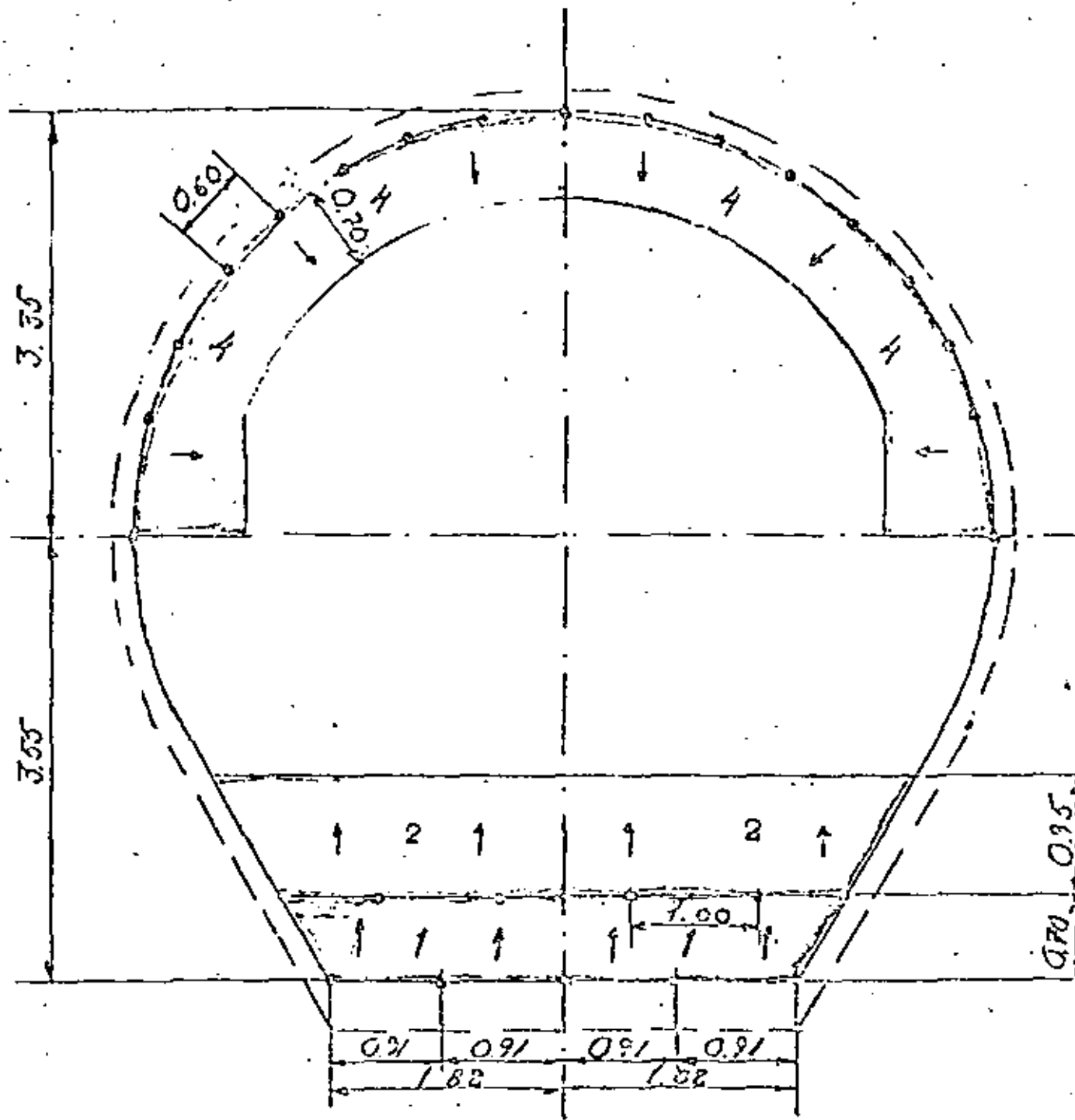
$$\text{Coeficiente de carga} = \frac{175,54}{107,3} = 1,64 \text{ kg/m}^3$$

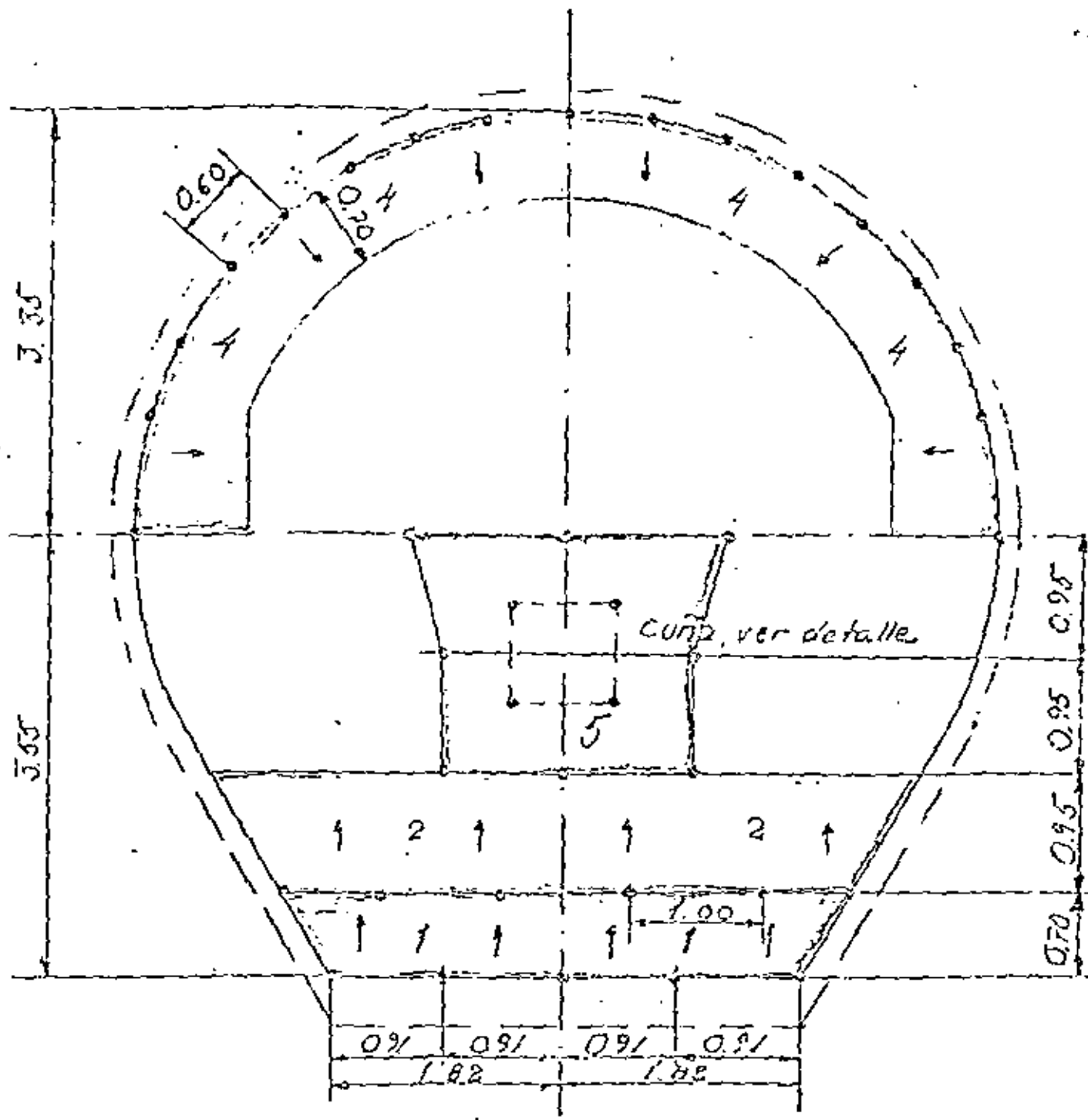
$$\text{Coeficiente de barrenación} = \frac{62 \times 3,20}{107,3} = 1,85 \text{ m/m}^3$$

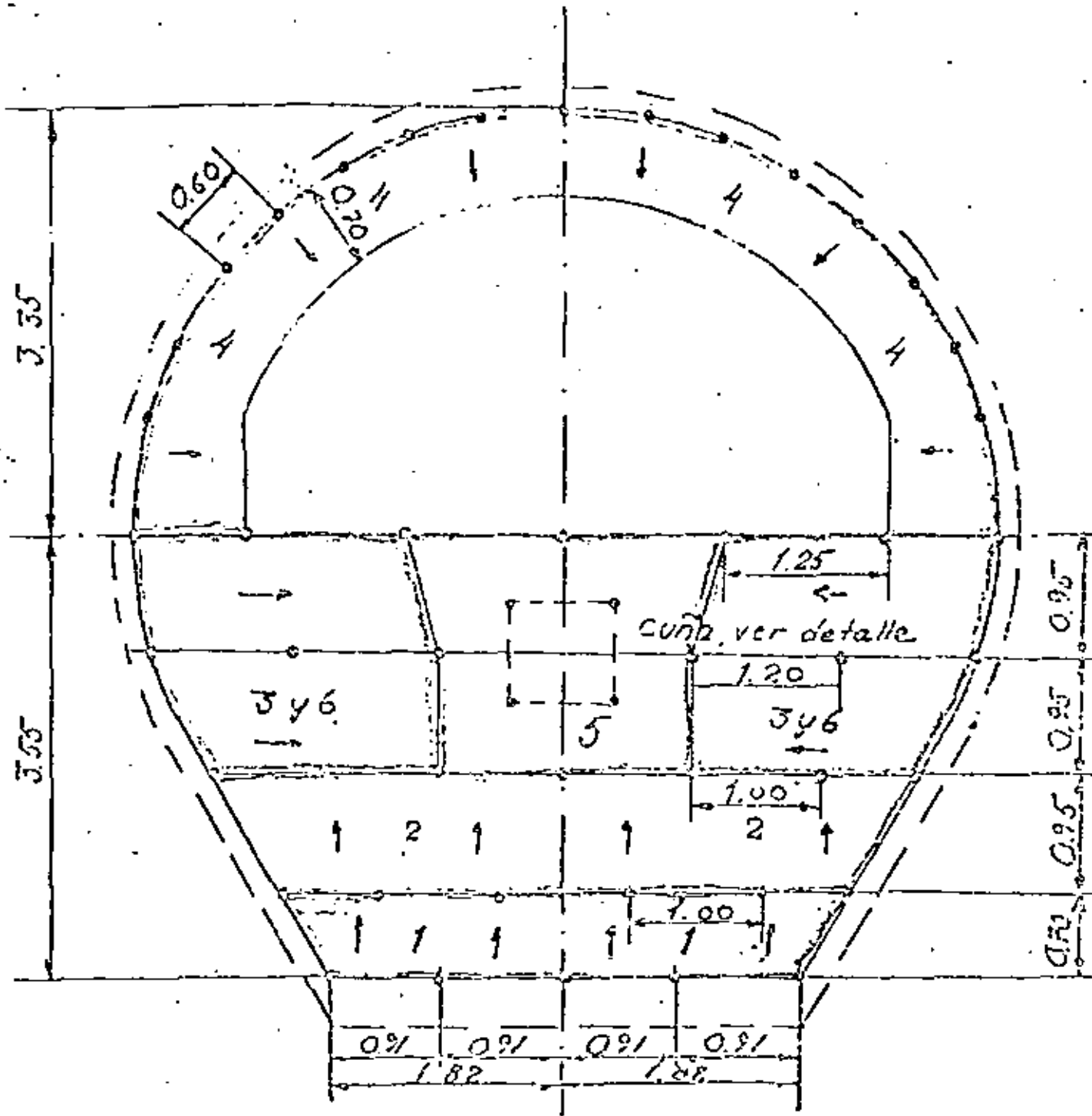
21

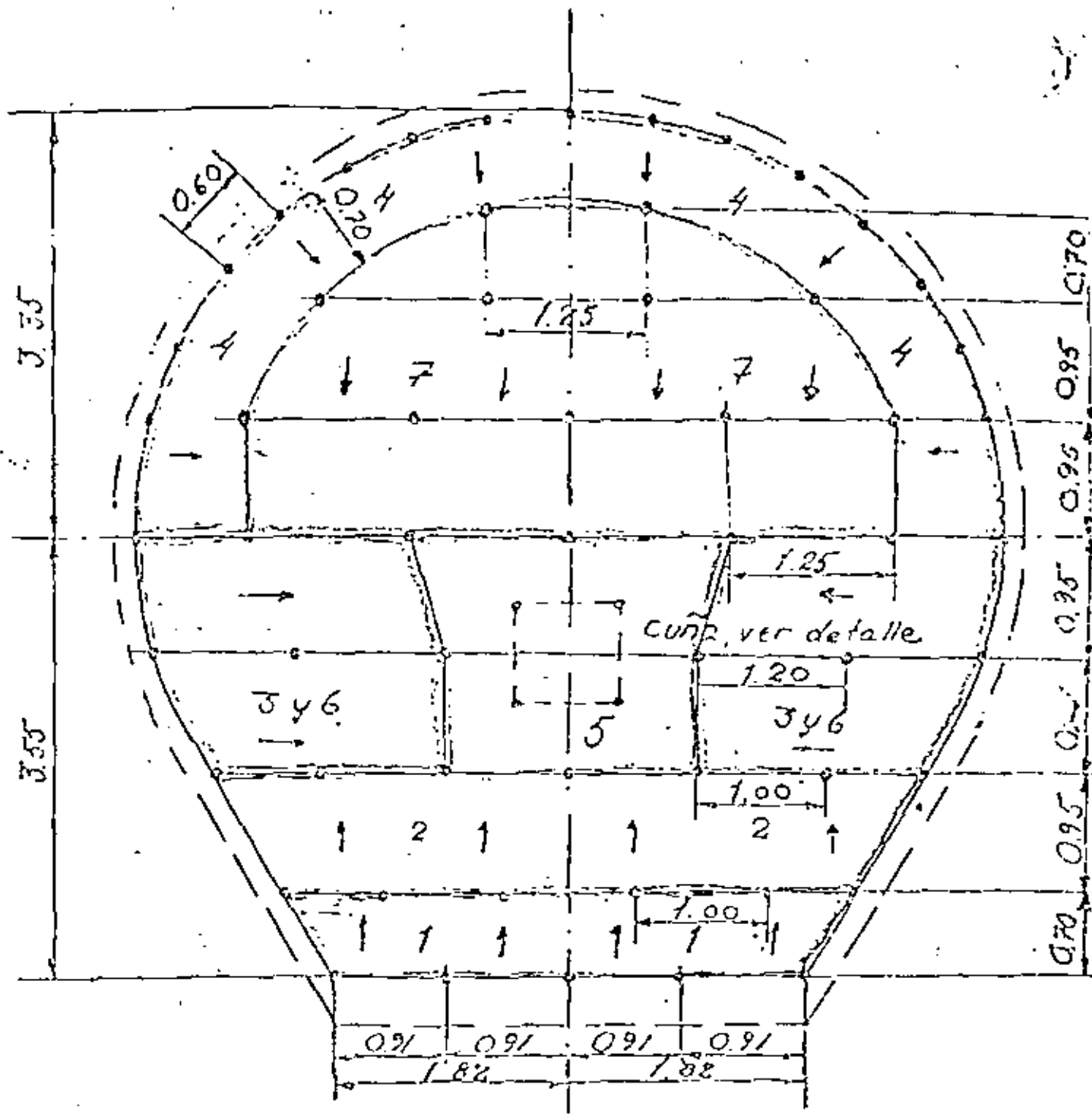




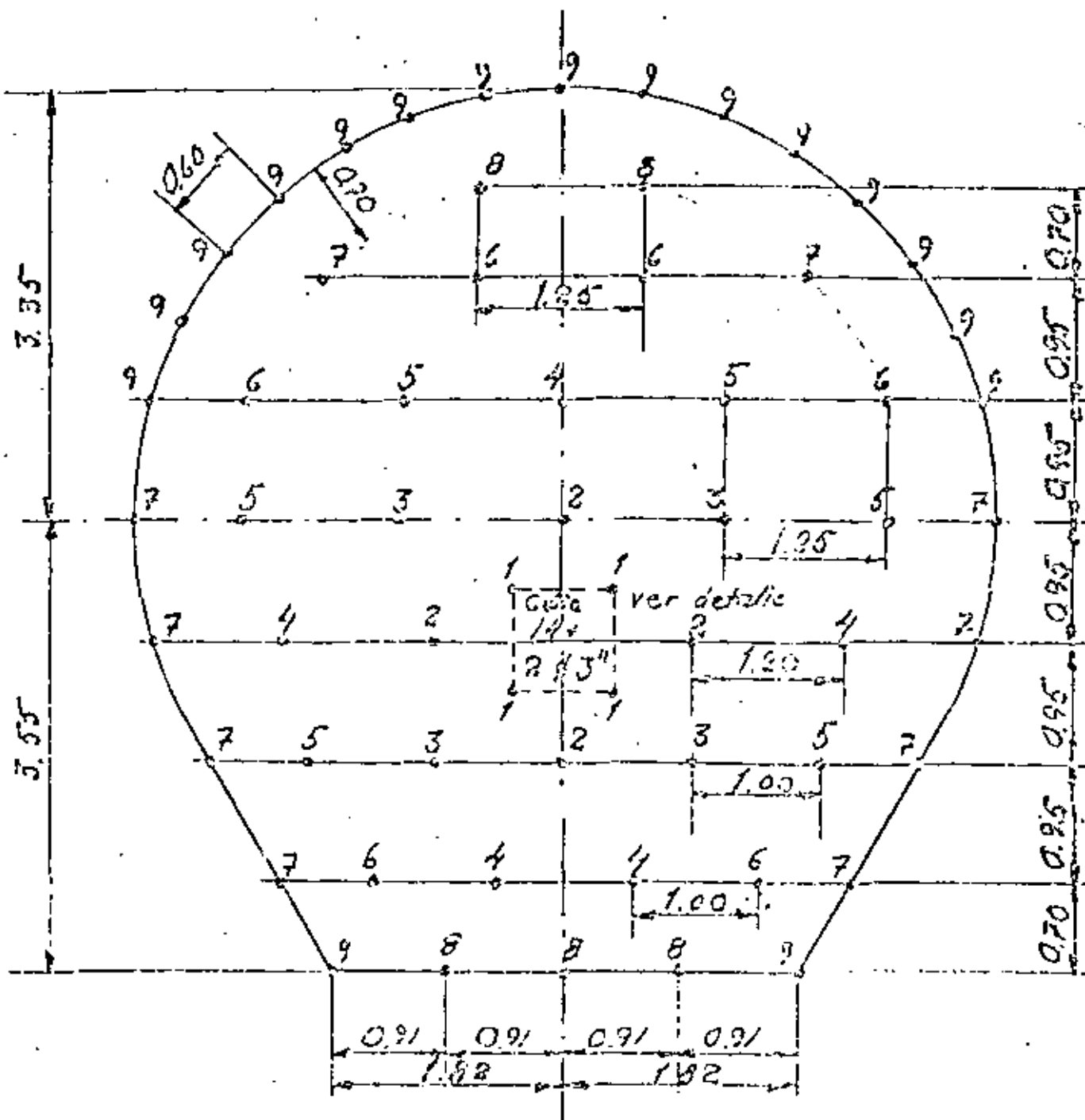








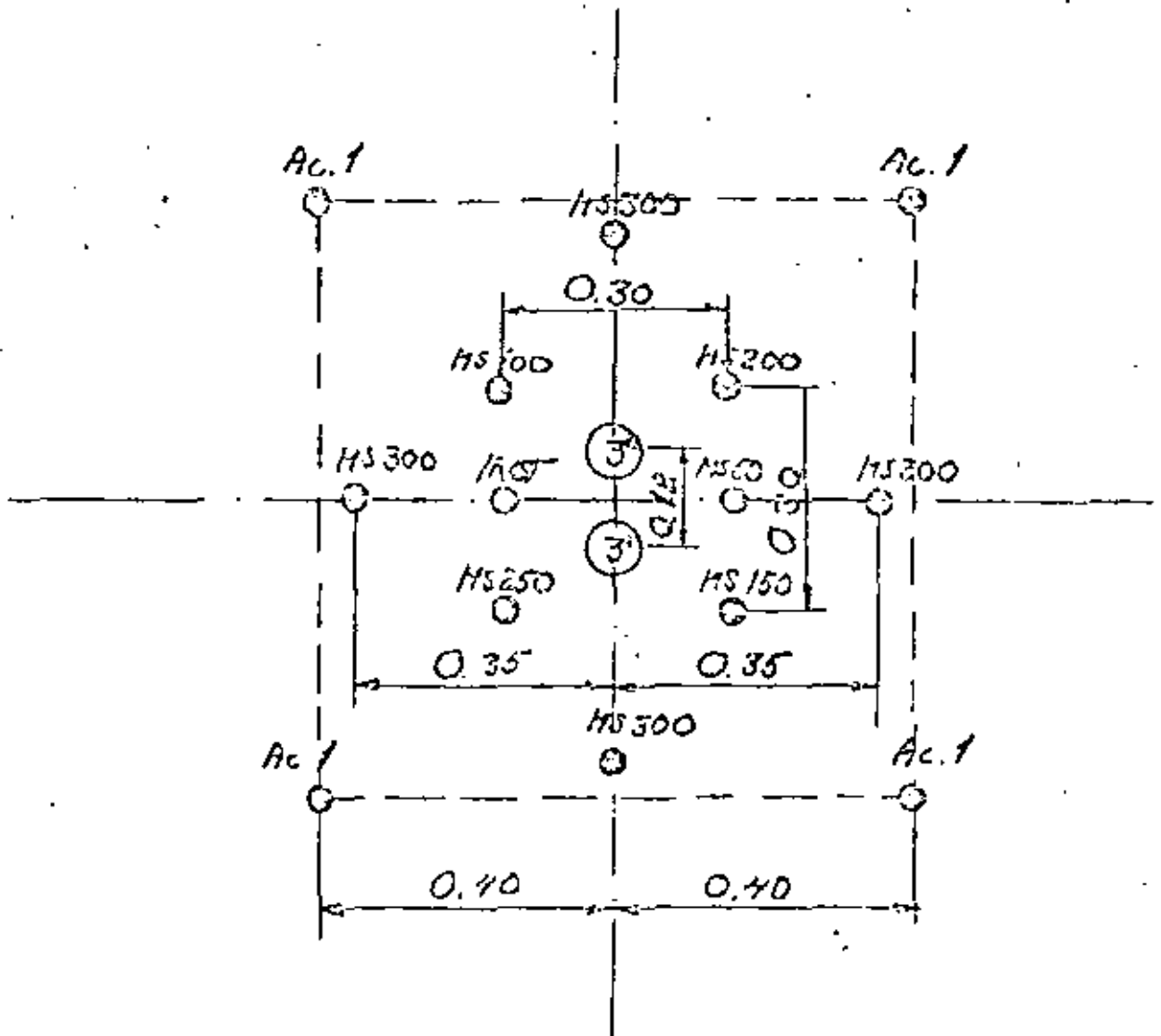
RESULTADO CON SECUENCIA DE IGNICION



BARRENACION: 37 mm (SERIE 12)

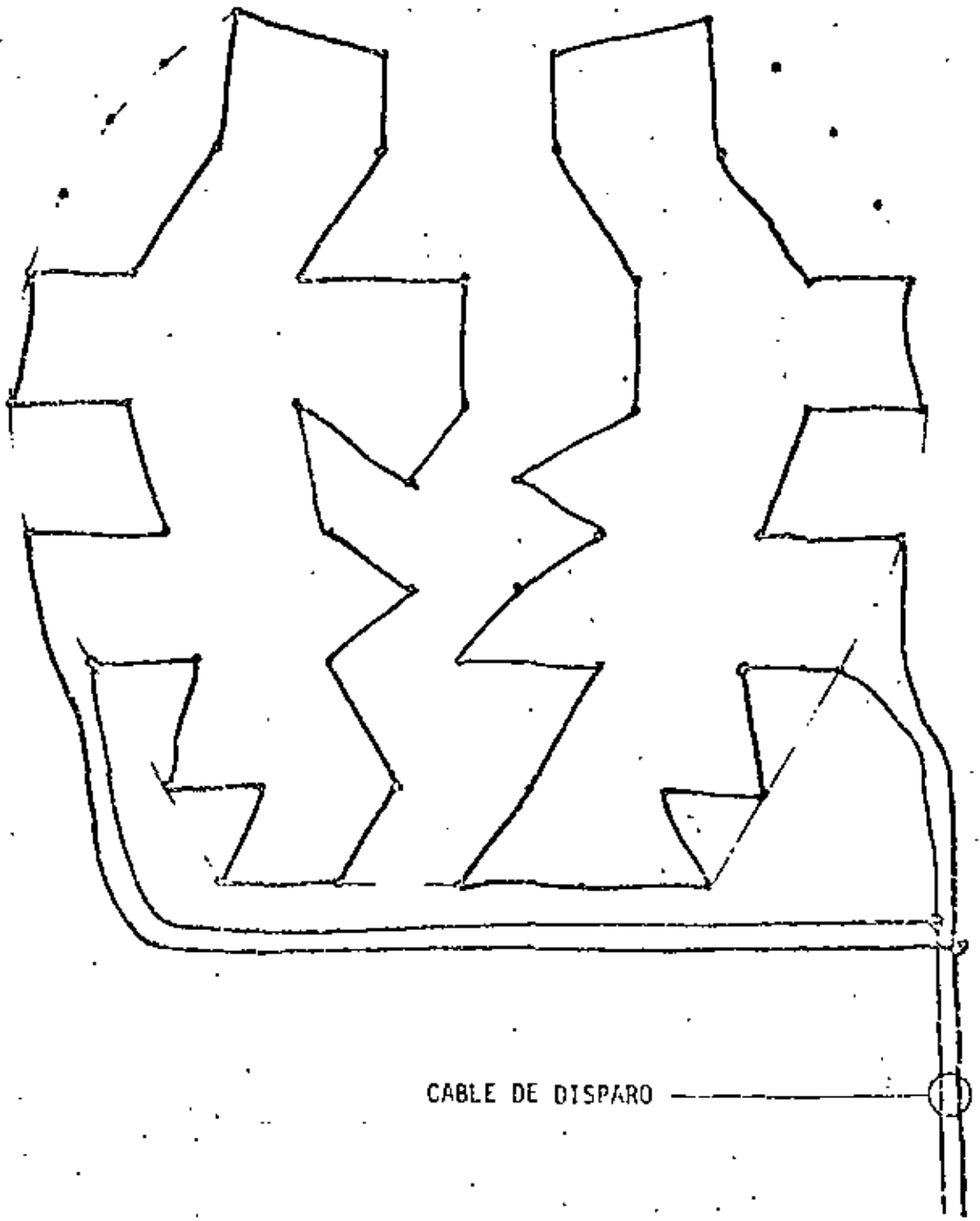
NUMERO DE BARRENOS: 71+ 2 VACIOS

DETALLE DE LA CURA PARALELA
CON 2 BARRENOS VACIOS DE 3"



ESTOPINES: INST, HS y ACUDET MARK V
BARRENACION: 37 mm (SERIE 12)

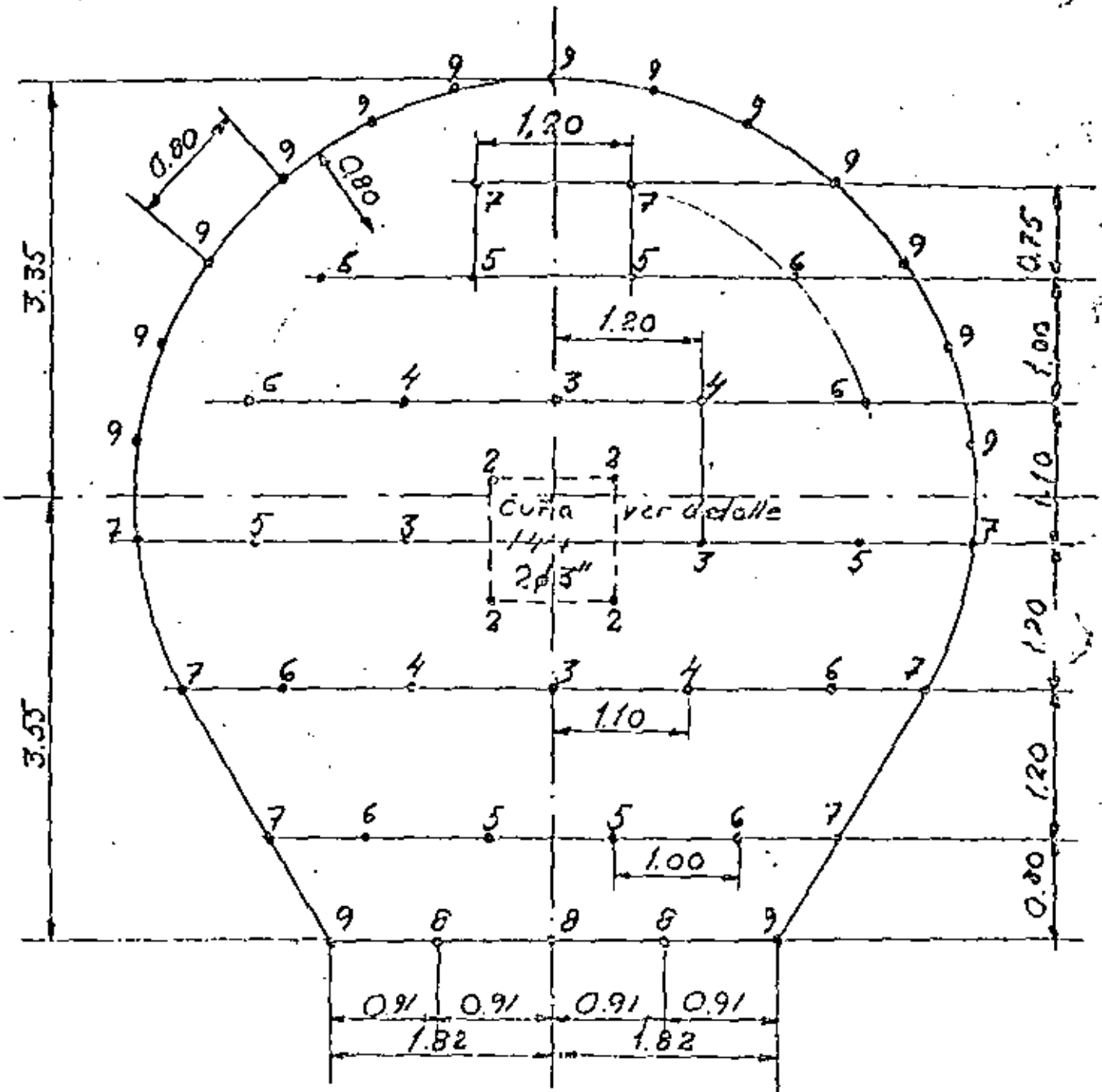
CONEXION DE LOS ESTOPINES



CABLE DE DISPARO

AL EXPLOSOR

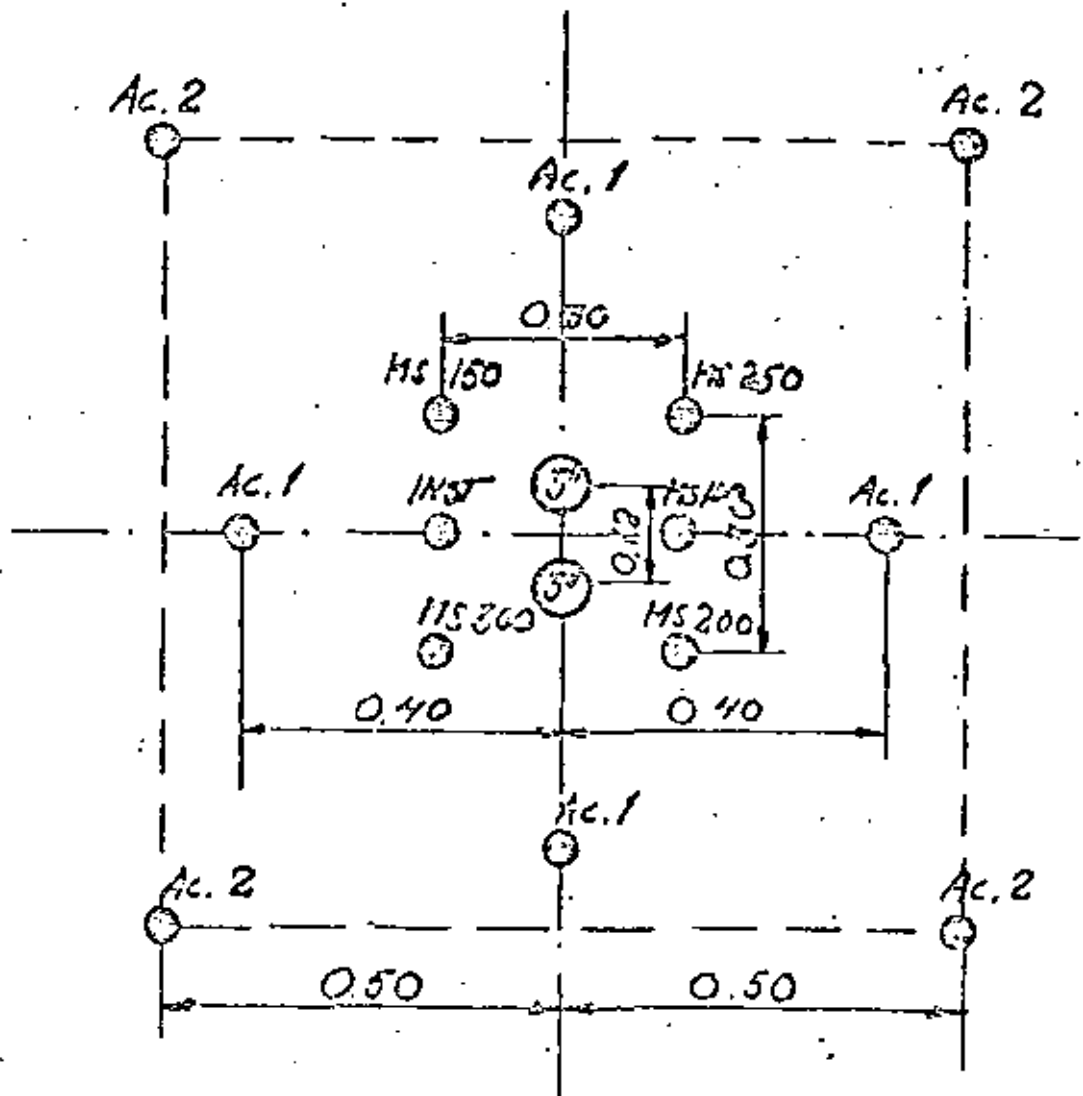
RESULTADO CON SECUENCIA DE IGNICION



BARRENACION: 1 7/8" (48 mm)

NUMERO DE BARRENOS: 62 + 2 VACIOS

DETALLE DE LA CURA PARALELA
CON 2 BARRENOS VACIOS DE 3"



ESTOPINES: INST, MS y ACUDET MARK V

BARRENACION: 1 7/8" (48 mm)

La Salida.-
Equipo Sobre Vía
Ciclo de Trabajo

Datos.

Volumen de roca en banco por voladura = 107.3 m³.

Avance por voladura = 2.90 m en promedio.

Avance programado por mes = 120 m.

Avance por día = $\frac{120}{25} = 4.8$ m en promedio

Avance por día = $1.20 \times 4.8 \approx 5.80$ m peak

Significa una voladura de 2.90 por turno de 10 horas.

Equipo

Jumbo de barrenación con 4 brazos, diámetro de barrenación 1 7/8"
 Rezagadora con bote de 0.6 m³ (ejemplo: Atlas Copco LM 250 H.

Locomotoras de 10 ton con motor de 75 HP.

Vagonetas Granby de 4.5 m³.

Distancia entre rieles 900 mm.

La vía desplazada a un lado y 2 cambios laterales (car pasers).

Cambios fijos a 700 m de distancia

Cálculo

Barrenación

La voladura tiene 62 barrenos más 2 de 3". Cada barreno de 3" corresponde a 3 barrenos de 1 7/8". Entonces hay $62 + 2 \times 3 = 68$ barrenos.

Barrenos por brazo = $\frac{68}{4} = 17$

Tiempo por barreno = 9 min.

Tiempo de barrenación $17 \times 9 = 153$ min

Topografía 15 "

Meter y sacar Jumbo 30 "

Carga $\frac{175.5}{6} + \frac{62 \times 0.5}{6} = 35$ "

Conexión y disparo 15 "

Ventilación 30 "

278 "

Tiempo reserva, 22 min.

Tiempo por voladura $278 + 22 = 300$ min = 5 horas

Rezaga

Volumen a rezagar por voladura = 107.3 m^3 .

Capacidad de la rezagadora = $25 \text{ m}^3/\text{h}$ en banco

Tiempo de rezaga = $\frac{107.3}{25} \times 60 = 258$ min.

Meter y sacar rezagadora = 15 "

Tiempo reserva = 17

Total 300 min

Tiempo del ciclo total $5 + 5 = 10$ h.

Para obtener la capacidad necesaria se tiene que contar con tiempo efectivo, es decir, que el cambio de turno se haga en el frente.

Túnel de Trabajo.

Equipo sobre llantas.

Ciclo de trabajo.

Datos.

Volumen de roca en banco por voladura = 107.3

Avance por voladura = 2.90 en promedio

Avance programado por mes = 2×80 m

Avance por día y frente $\frac{80}{25} = 3.2$ m en promedio

Avance por día y frente = $1.30 \times 3.20 = 4.20$ m peak

(más imprevistos con sistema de péndulo)

Significa = $\frac{4.20}{2.90} = 1.5$ voladuras de 2.90 por día.

Equipo

Jumbo de barrenación con 3 brazos, diámetro de barrenación 37 mm (serie 12)

Cargador sobre neumáticos con bote de 1.7 m^3 (ej. CAT 930).

Dumptorers de 18 ton (ej.: Kockums 412 T con doble manejo)

Cálculo

Barrenación

La voladura tiene 71 barrenos más 2 de 3". Con estas máquinas

cada barreno de 3" corresponde a 5 barrenos de 37 mm

Entonces hay $71 + 2 \times 5 = 81$ barrenos

Barrenos por brazo = $\frac{81}{3} = 27$

Tiempo por barreno = 6 min

Tiempo de barrenación = $27 \times 6 = 162$ min

Topografía 20 "

Meter y sacar jumbo 30 "

Carga $\frac{138.2}{4} + \frac{71 \times 0.5}{4} = 43$ "

Conexión y disparo 20 "

Total 275 "

Disturbios 25 "

Tiempo por voladura 300 " = 5 h

Tiempo de ventilación 30 " = 0.5 h

Tiempo

Rezaga

Volumen a rezagas por voladura = 107.3 m^3

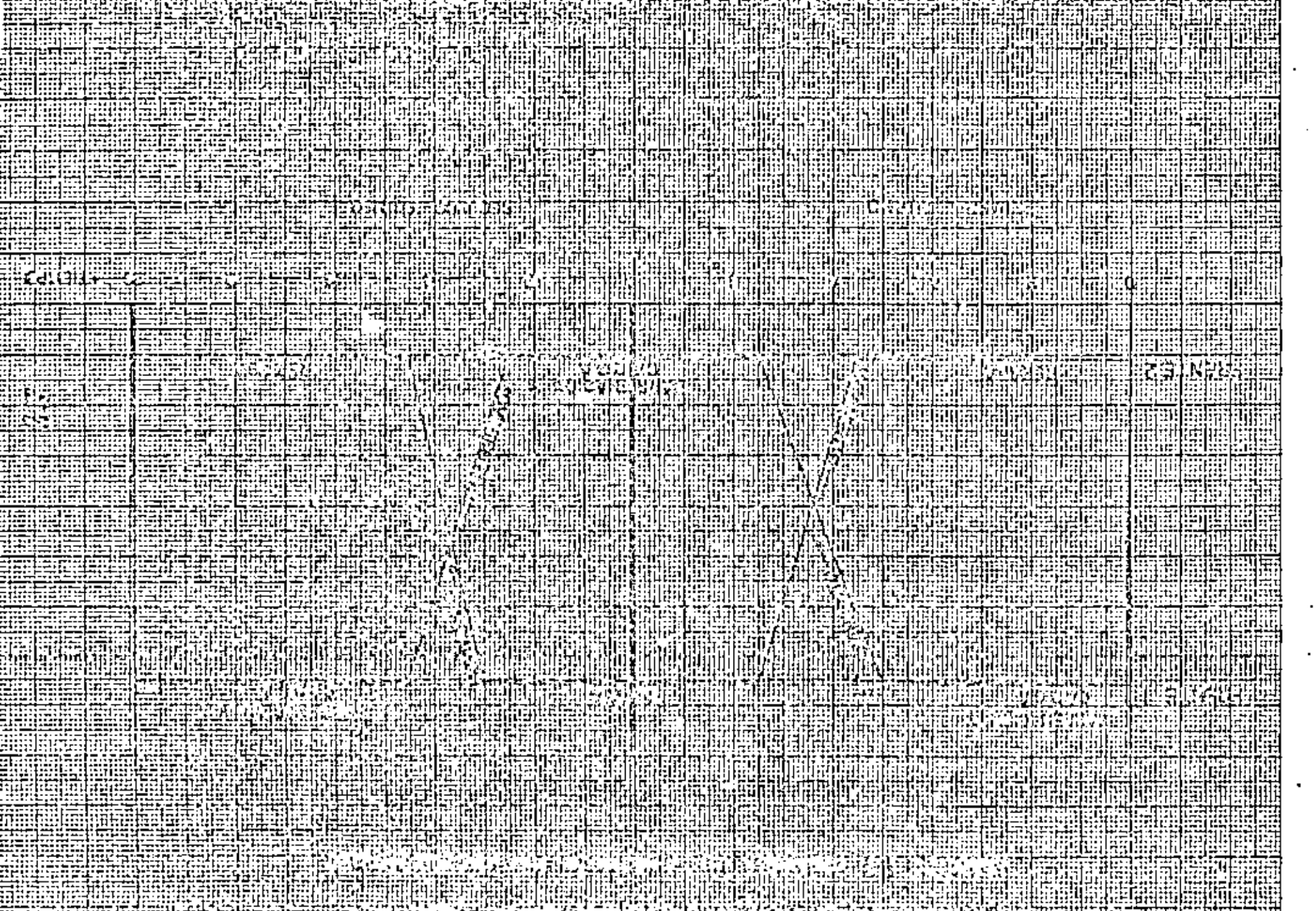
Capacidad del cargador $22 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tiempo de rezaga = $\frac{107.3}{22} \times 60 = 293$ min

Meter y sacar cargador 10 "

Tiempo reserva 27 "

330 min = 5.5 h



COMPARISON OF THREE METHODS OF EXCAVATION FOR 3 - 4 M DIAMETER TUNNELS

Item		Drill & Blast	Roadheader	Full Face Machine
Costs 1978 Great Britain	Initial Cost	Low	Low	High
	Running Cost	High	Low	Medium
Typical Progress of/100 ^m Working by 12 (Gt Britain)	Favourable Ground	50	70	130
	Badly Faulted Ground	30	35	Highly Variable 0 - 35
Installation	Equipment Delivery Time	1 month	2 months	12 months
	Installation Time	2 weeks	2 weeks	6 weeks
	Space Required	No Restrictions	Must not be installed within tunnel diameter	Requires erection chamber 1.5-3 times greater than tunnel diameter
	Operating Angle	No Restrictions	90°	About 10 - 20°
	Gradient	Any	14°	Generally 10°
	Tunnel shape	Any	Flat	Circular
Application		Most Rock Types	Dependent upon rock hardness and abrasivity	Most Rock Types
Mining Application		Normal Method of Excavation	Selectively can excavate mineral bands. Adequately flexible for complex mineral roadways	Limited to driving long access roadways
Ground Disturbance		High	Low	Low
Overhead		High	Low	Low
General Report for tunneling operations and maintenance		Good	Good	Fair to Very Poor
Support	Quantity	Can be high	Minimum	Minimum
	Position Installed	Face	Face	3 - 12 metres behind face
	Type	Any	Any	Most machines restrict use of chiselbit, some prevent installation of wedges
Faulted Ground		No Major Restrictions	No Major Restrictions	Some machines have severe restrictions to cutting and support
Ground Treatment and Advance Probing		No Major Restrictions	No Major Restrictions	Severe Restrictions
Geometry		Generally unlimited	Continually Variable within limits	Circular profile unchangeable once fixed

The selection and application of roadheaders for rock tunnelling by
 Ian de Waal-Geldt and Robert J Powell.

Explo Excavation and Tunneling Conference 1975.

Sam/MS

CAPACITY

Time studies have been made. The results from a 4-week-period, after the excavation of approx. 3.300 m of tunnel, may be regarded as a representative average for the total tunnel works. Time studies from a one-week-period, approx. two km further ahead, show the efficiency in one of the best working weeks.

Tunnel at:	<u>3.300 m</u>	<u>5.300 m</u>
Drilling, charging, blasting		
- rigging	11 min	9 min
- drilling (and charging)	75 "	67 "
- charging	15 "	8 "
- waste of time	9 "	5 "
Ventilation time	27 "	17 "
Mucking and hauling (incl some scaling)		
- rigging	11 "	7 "
- mucking and hauling	51 "	45 "
- waste of time	7 "	7 "
Scaling	<u>24 "</u>	<u>15 "</u>
Cyclus of round	<u>230 min</u>	<u>175 min</u>

Table 1 Time studies. Results in a week with normal advance (tunnel at 3.300 m), and results in a week with advance record (tunnel at 5.300 m).

Sam/MS

1979 RETC PROCEEDINGS, VOL 1

By combining the meal breaks with the ventilation time 8-hour-shifts are easily obtained. A normal shift will give two rounds. In the cases when three rounds per shift are achieved, a certain amount of overtime has been necessary

Normal advance per week with 10 shifts:	
20 rounds x 3,54 m =	70,8 m
Advance record per week with 10 shifts:	
28 rounds x 3,66 m =	102,5 m
Advance record per week with 15 shifts:	
39 rounds x 3,72 m =	145,0 m

Average advance in 1978 was 70 m per week (10 shifts) including blasting of recesses and the installing of rock bolts. The blasting of the recesses corresponds to 5 m of tunnel per week. The results per shift is about 70 % higher than scheduled. The tunnels were completed earlier than originally planned, even though the number of shifts available was reduced by one third from January 1, 1978.

Drilling, blasting, mucking, hauling, scaling and work with the fixed installations were carried out with a total of 7,7 man-hours per tunnel metre. Payment to the tunnelworkers has been approx. \$ 13 per hour.

COSTS

Wages	7 143,00
Costs of machines, incl of spare parts and maintenance, ex electric energy	" 217,00
Materials	" 171,00
Various costs	" 25,00
Total costs of production (ex overhead and profit)	7 556,00

Table 2 Contractors cost per tunnel metre.

From "Tunnelling with hydraulic drills in Norway".