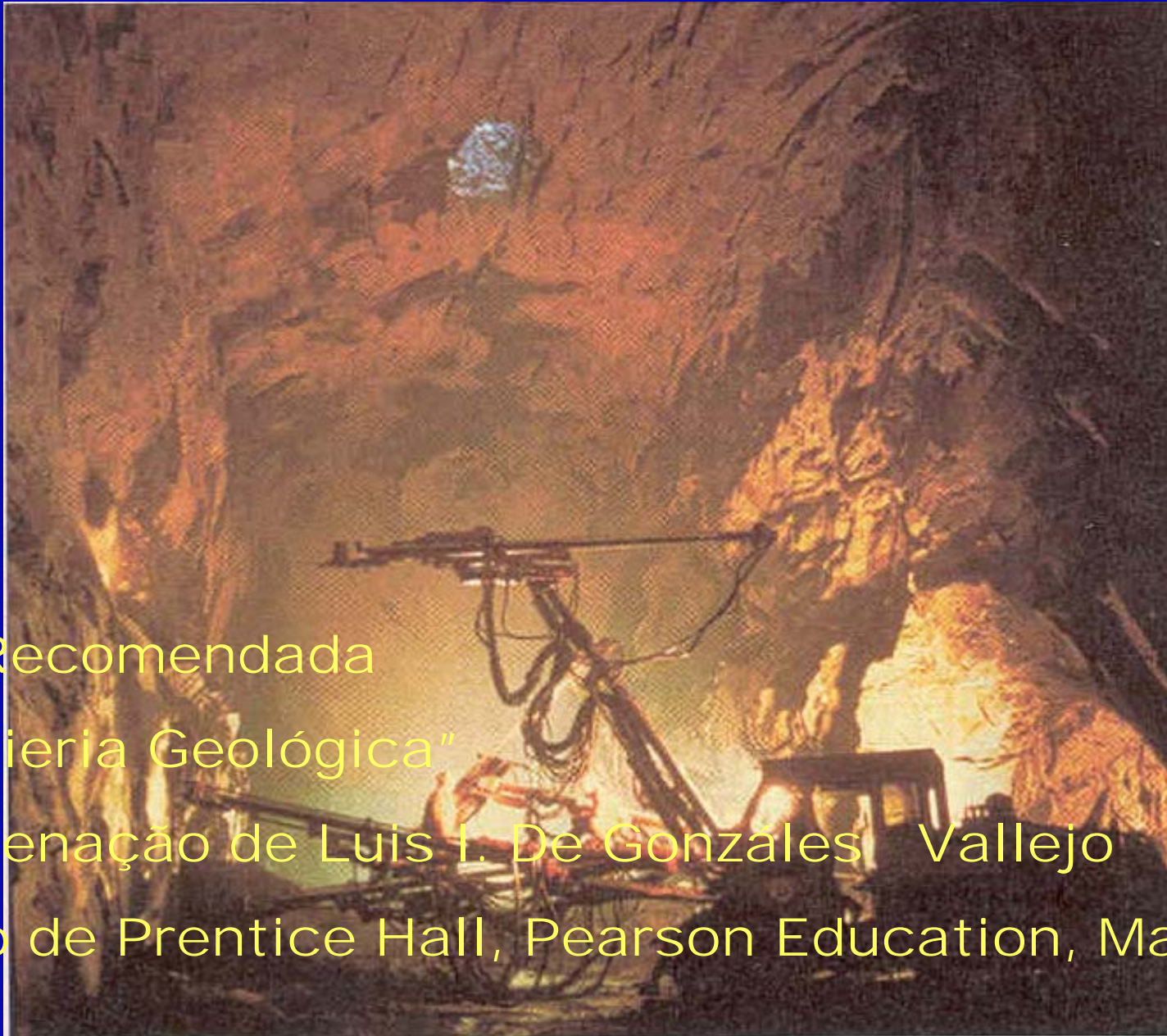


TUNEIS



Obra Recomendada

“Ingeniería Geológica”

Coordenação de Luis I. De Gonzales Vallejo

Edição de Prentice Hall, Pearson Education, Madrid,
2002

TUNEIS

OS TÚNEIS COMO ESTRUTURAS GEOTÉCNICAS

➤ Falsos Túneis (Metodo "Cut and Cover")

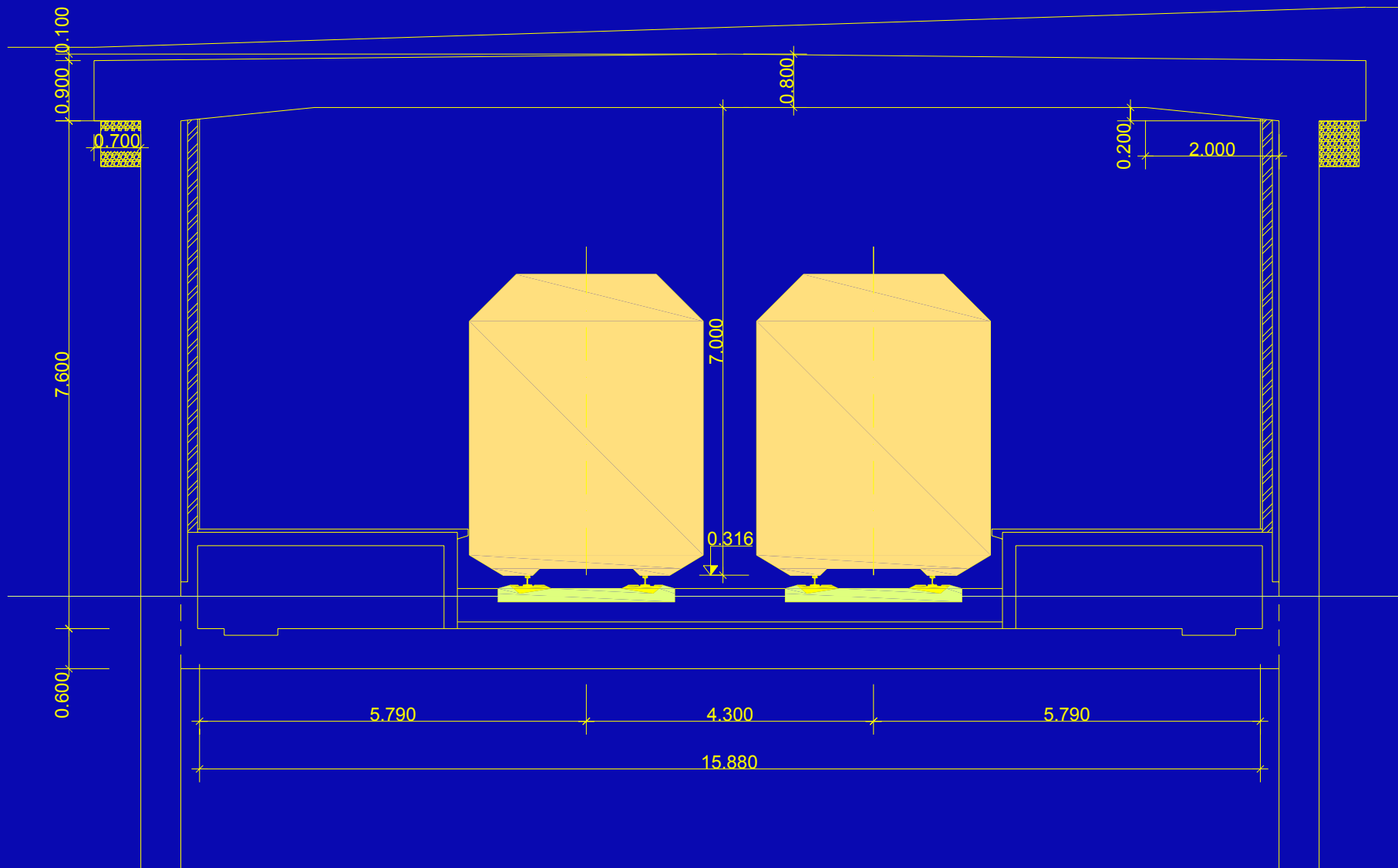
O suporte do túnel é constituído por uma estrutura em quadro introduzida no terreno por abertura de vala com posterior reaterro (pequenas profundidades)

➤ Túneis (propriamente ditos)

O maciço de encaixe constitui o suporte principal do túnel, complementado com uma estrutura introduzida no terreno (pequenas e grandes profundidades)

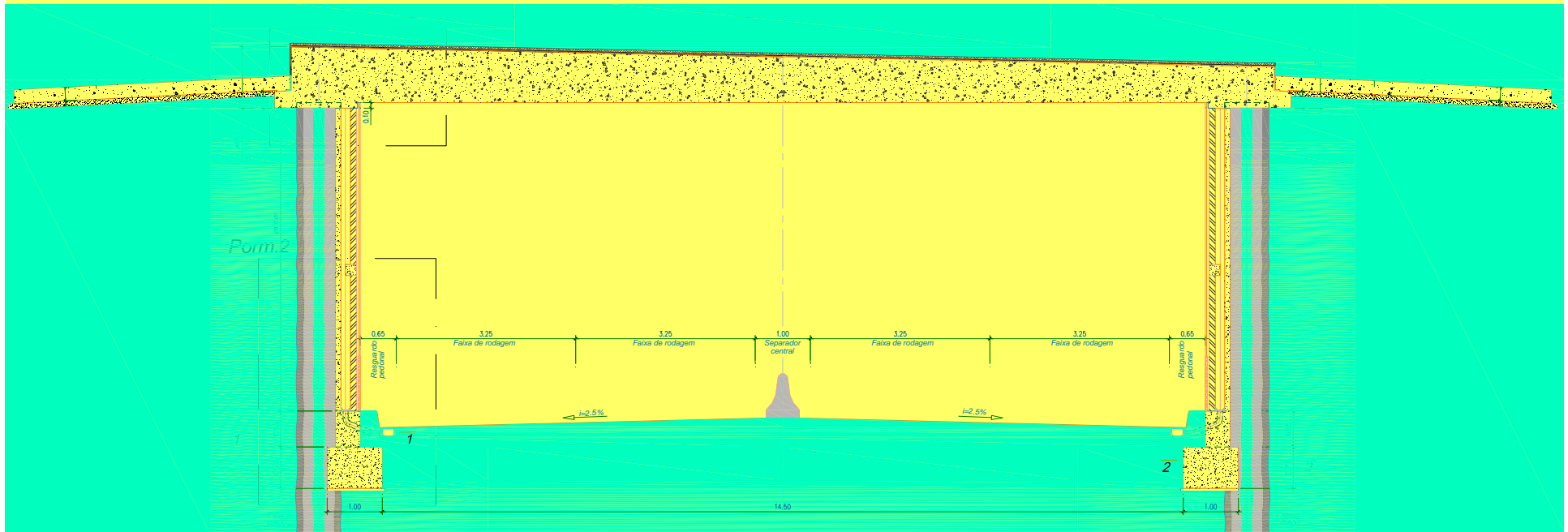
Obs: Imagens obtidas da obra recomendada e de projectos de STA

TUNEIS (Cut & Cover)



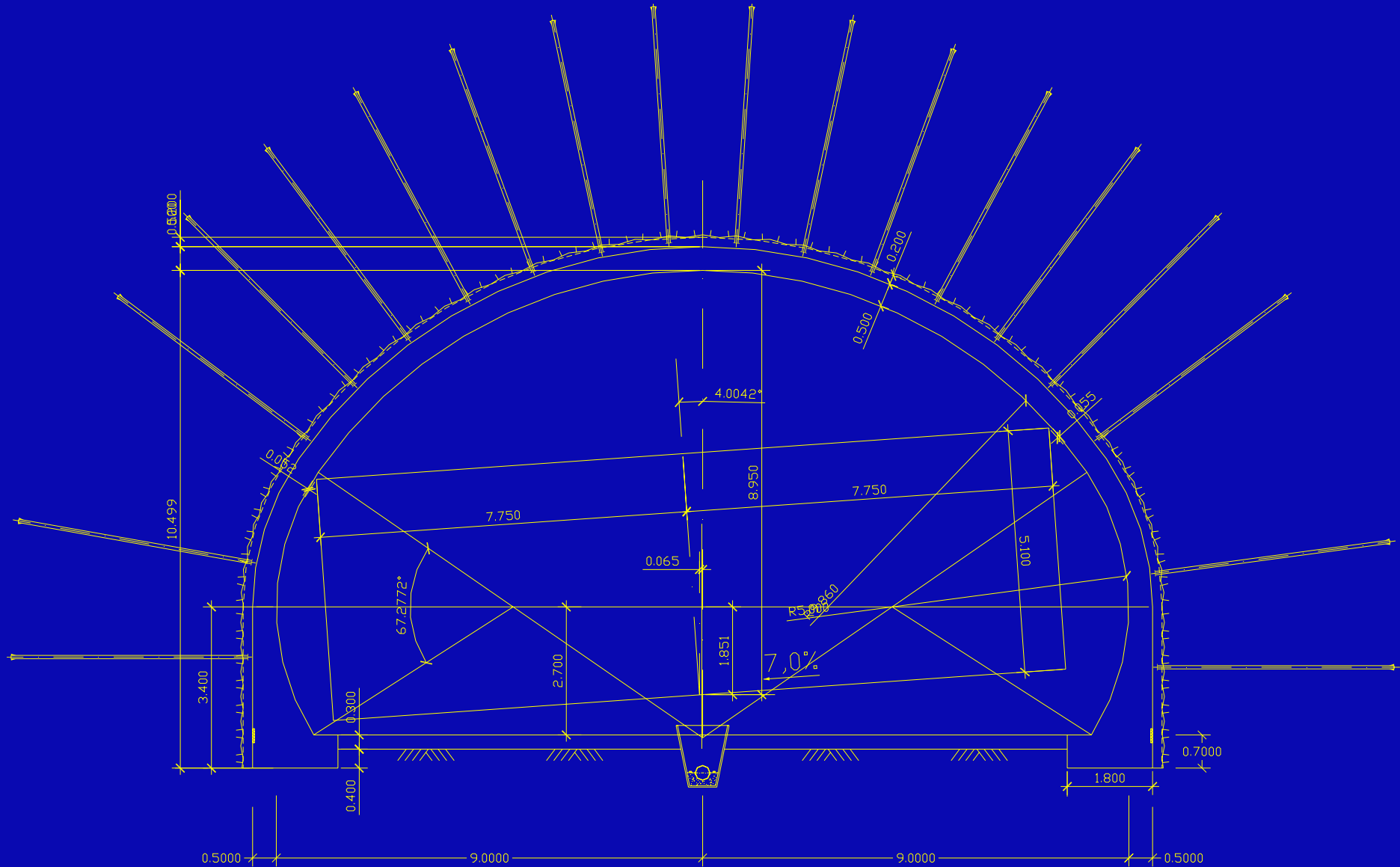
TUNEL FERROVIÁRIO - Exemplo

TUNEIS (Cut & Cover)



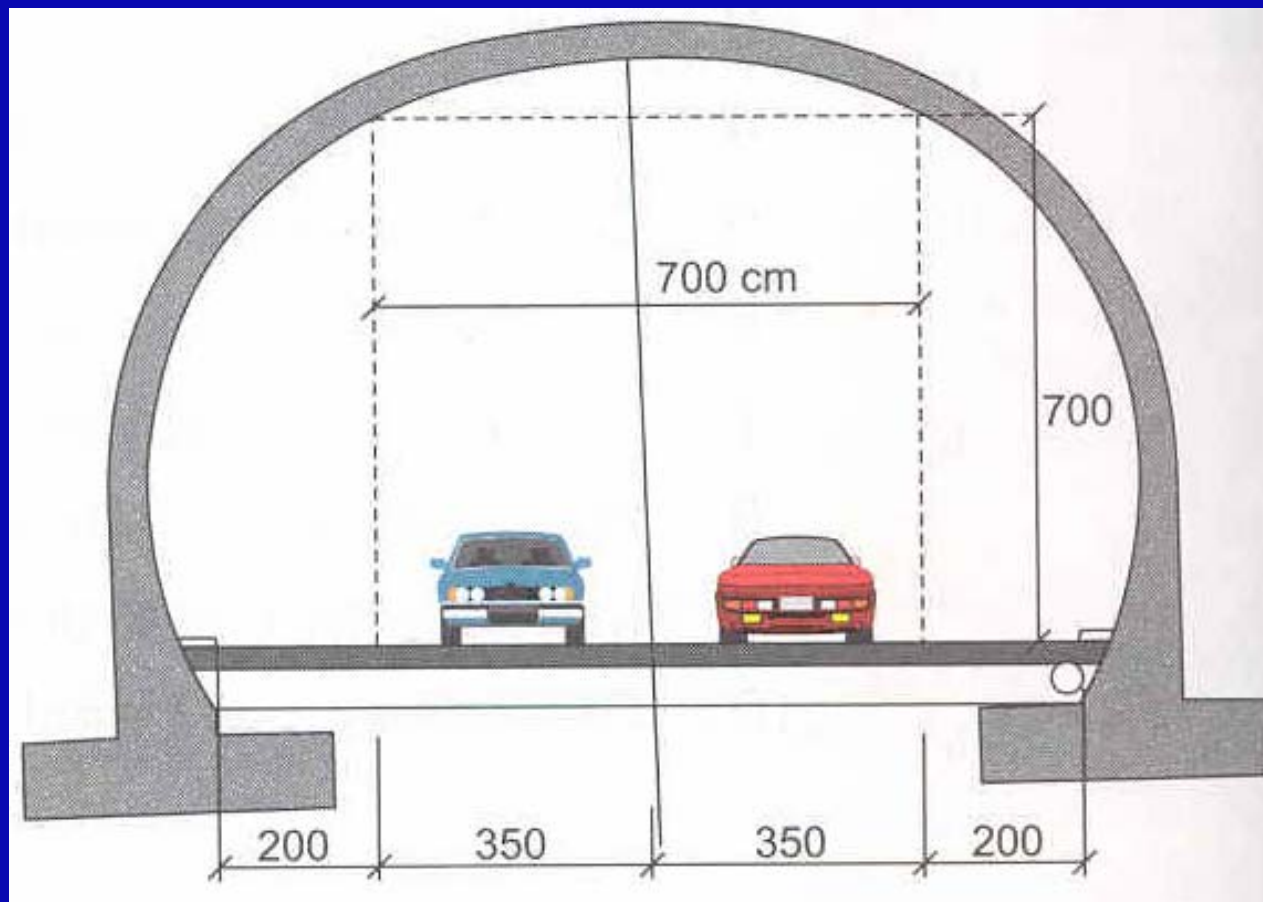
TUNEL RODOVIÁRIO - Exemplo

TUNEIS



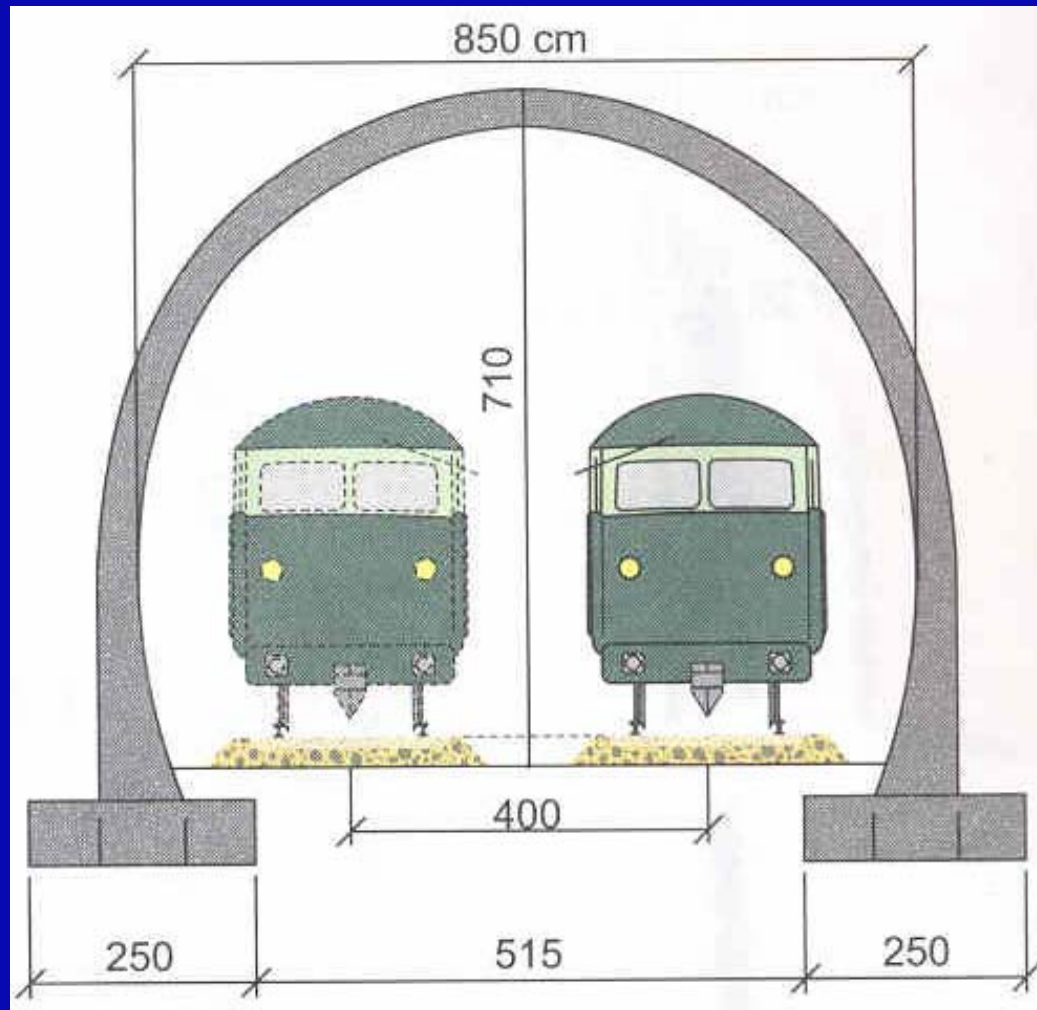
TUNEL RODOVIÁRIO - Exemplo

TUNEIS



TUNEL RODOVIÁRIO - Secção Típica

TUNEIS



TUNEL FERROVIÁRIO - Secção Típica

TUNEIS

GLOSSÁRIO:

CLAVE - ABÓBADA

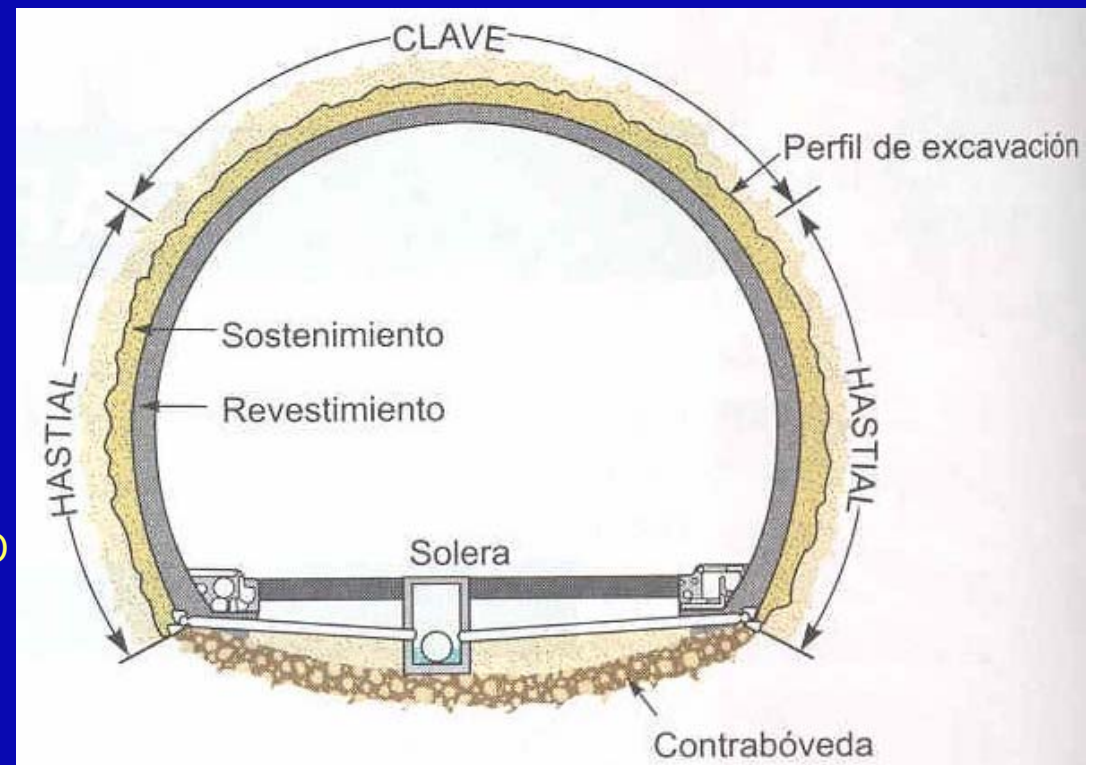
HASTIAL - HASTEAL

CONTRABÓVEDA -
CONTRABÓBADA

SOSTENIMIENTO - SUSTIMENTO

REVESTIMIENTO - REVESTIMENTO

SOLERA - SOLEIRA

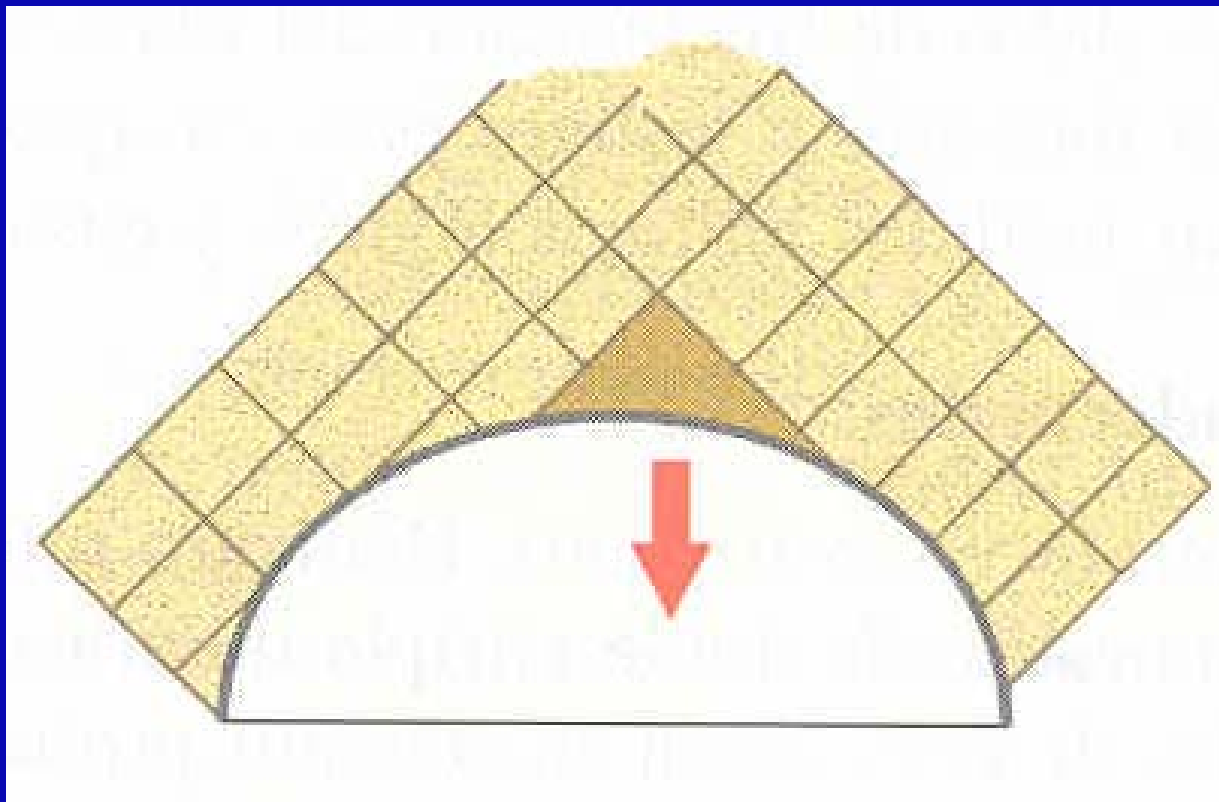


TUNEIS

INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES GEOLÓGICAS PROBLEMAS DE ESTABILIDADE

PERDA DE RESISTÊNCIA DO MACIÇO POR CONDIÇÕES NATURAIS

- ✓ ORIENTAÇÃO DESFAVORÁVEL DE DESCONTINUIDADES (Falhas, fracturas e diaclases)

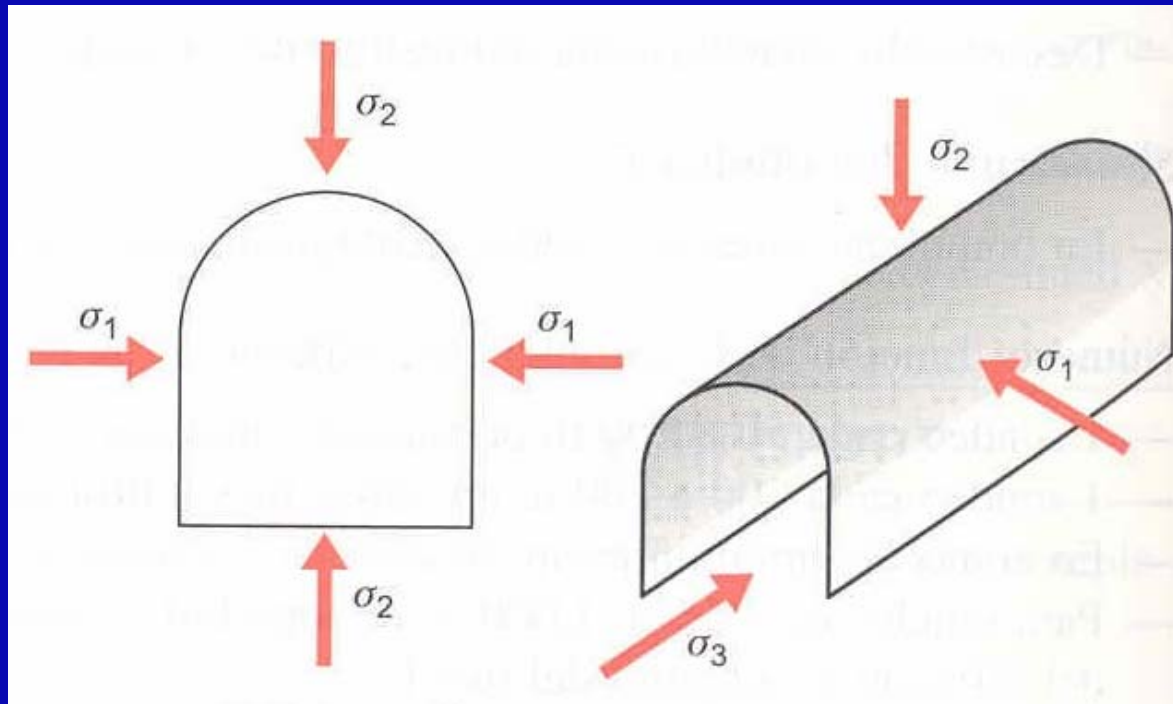


TUNEIS

INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES GEOLÓGICAS PROBLEMAS DE ESTABILIDADE

PERDA DE RESISTÊNCIA DO MACIÇO POR CONDIÇÕES NATURAIS

- ✓ ORIENTAÇÃO DESFAVORÁVEL DAS TENSÕES NO MACIÇO
(Relativamente ao eixo do túnel)

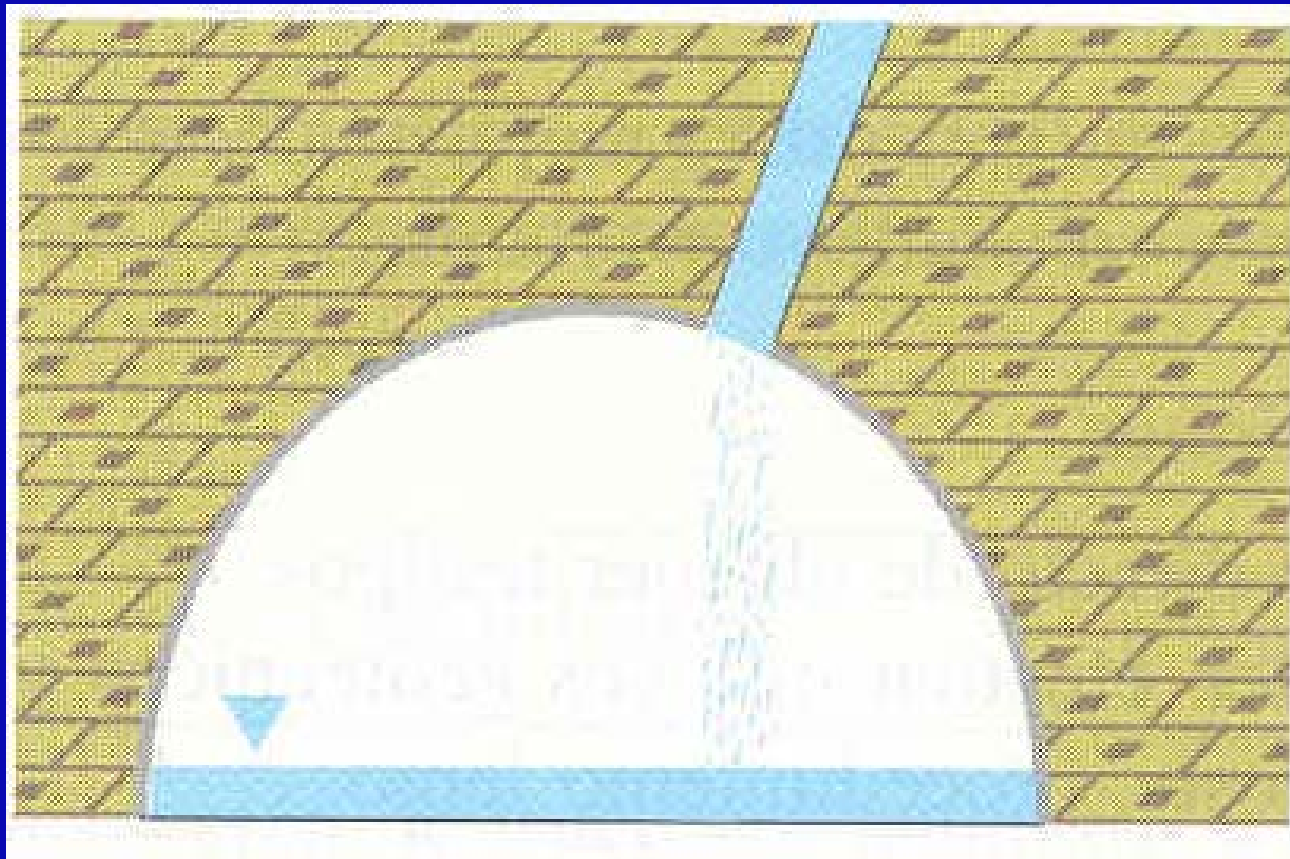


TUNEIS

INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES GEOLÓGICAS PROBLEMAS DE ESTABILIDADE

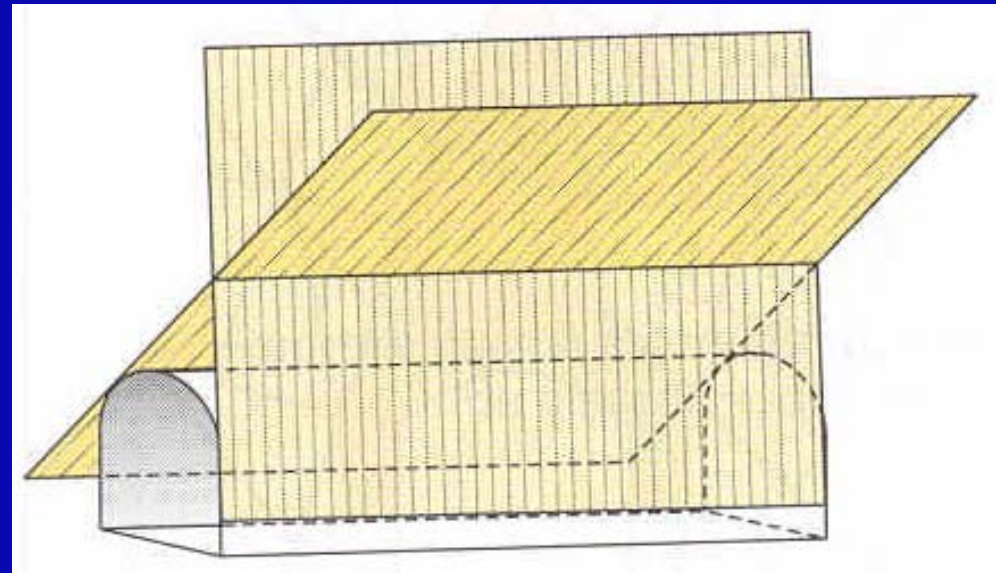
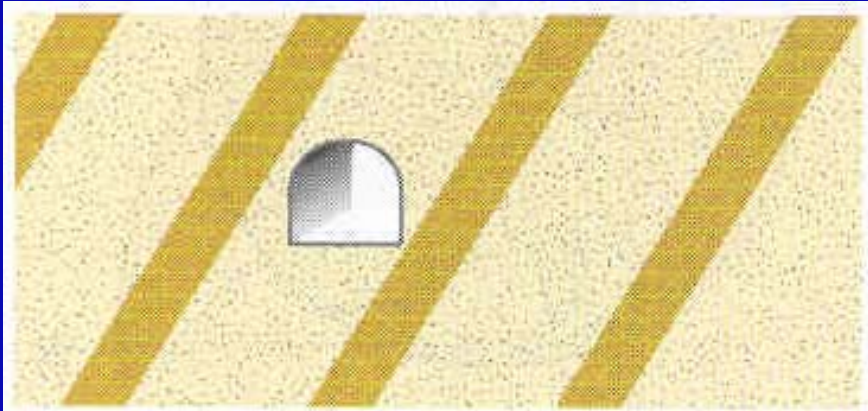
PERDA DE RESISTÊNCIA DO MACIÇO POR CONDIÇÕES NATURAIS

- ✓ FLUXOS DE ÁGUA PARA O INTERIOR DA ESCAVAÇÃO (Falhas, aquíferos, rochas carsificadas)



TUNEIS

INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES GEOLÓGICAS
ORIENTAÇÃO ESTRUTURAL DESFAVORÁVEL
SINCLINAL - TUNEL PARALELO À ESTRUTURA DO MACIÇO DE ENCAIXE
✓ Distribuição de tensões desfavorável

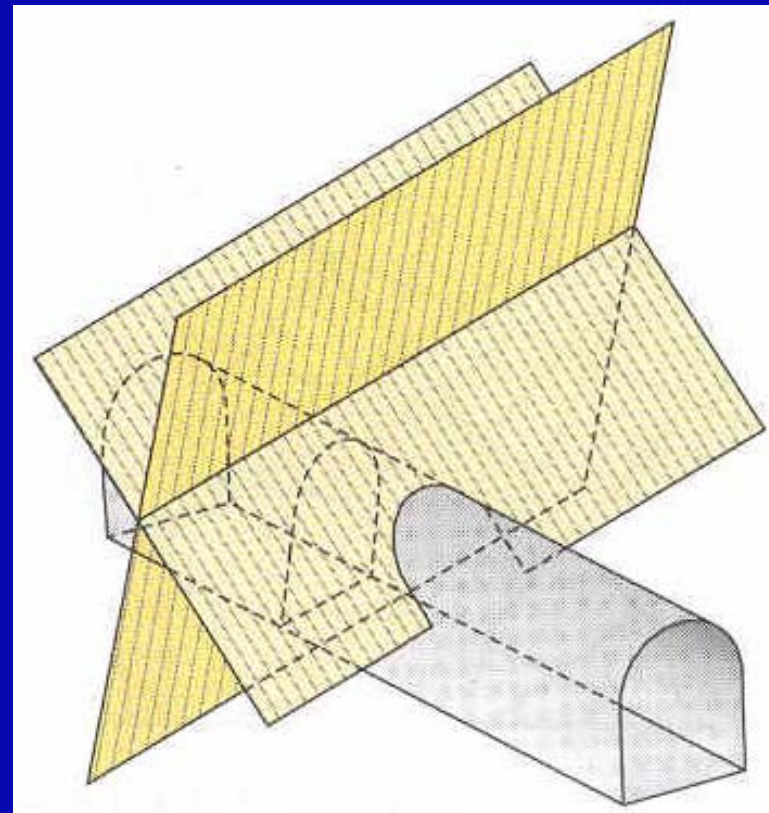
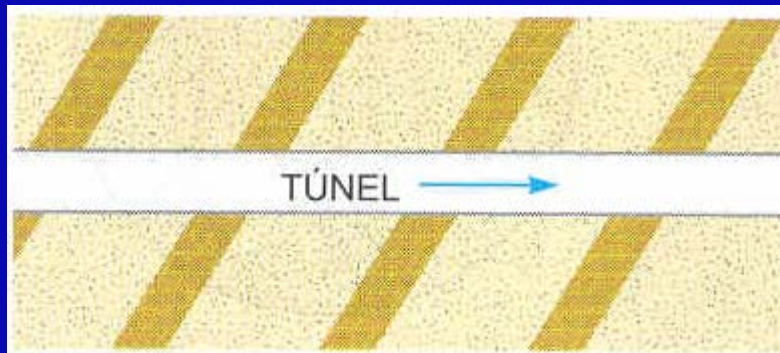


TUNEIS

INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES GEOLÓGICAS ORIENTAÇÃO ESTRUTURAL FAVORÁVEL

ANTICLINAL – TUNEL PERPENDICULAR À ESTRUTURA DO MACIÇO DE ENCAIXE

- ✓ Distribuição de tensões favorável

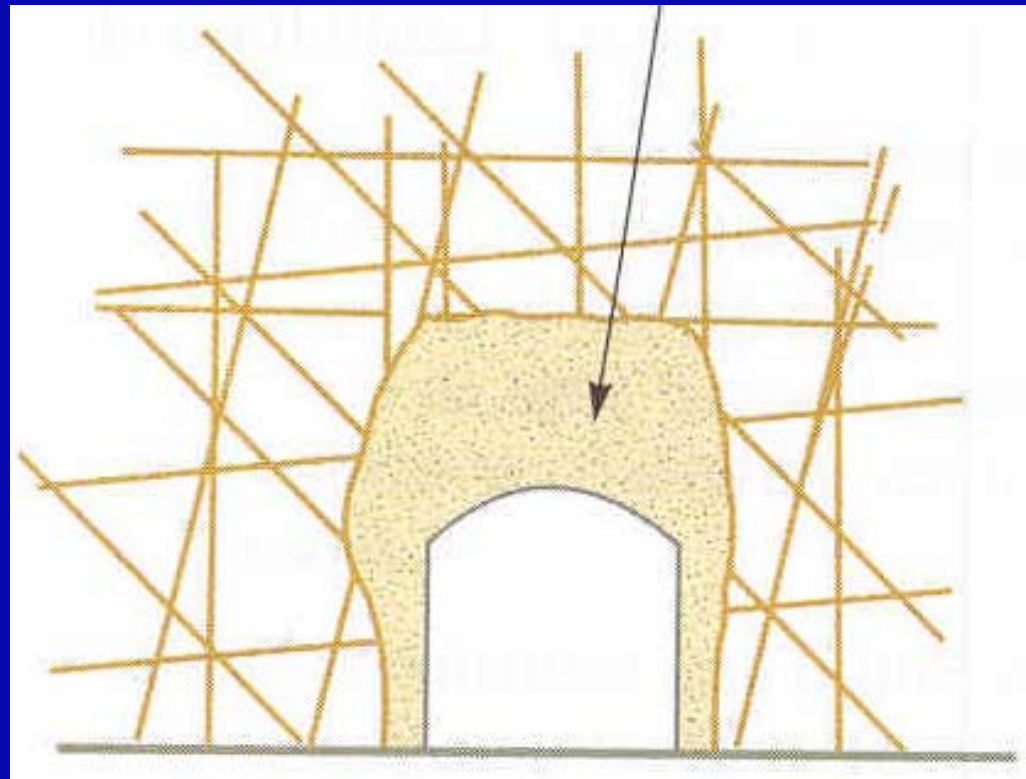


TUNEIS

INCIDÊNCIA DAS FALHAS NA ESTABILIDADE DA ESCAVAÇÃO ESTRATIFICAÇÃO HORIZONTAL

- Queda de blocos
- Roturas por flexão

Sobreescavação

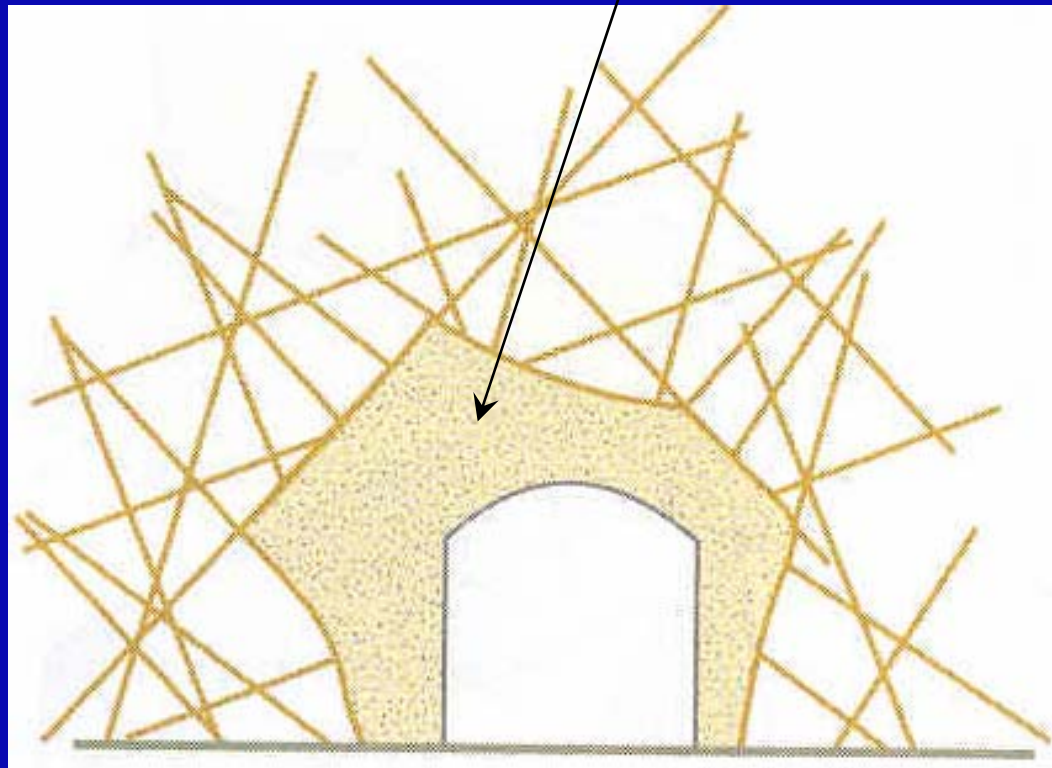


TUNEIS

INCIDÊNCIA DAS FALHAS NA ESTABILIDADE DA ESCAVAÇÃO ESTRATIFICAÇÃO INCLINADA

- Queda de blocos
- Queda de cunhas

Sobreescavação

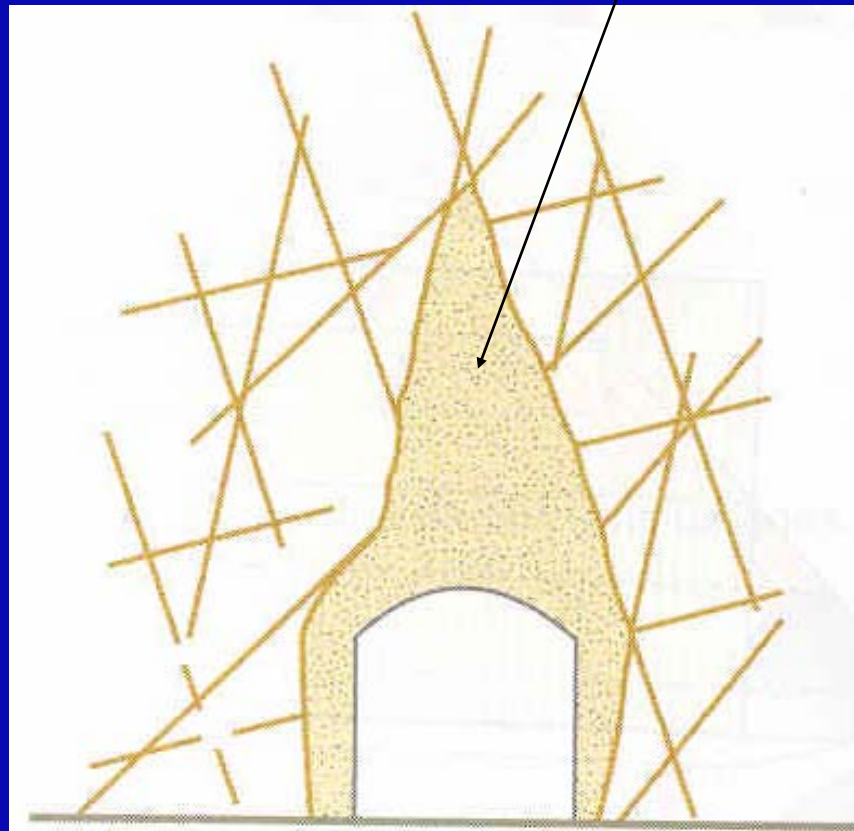


TUNEIS

INCIDÊNCIA DAS FALHAS NA ESTABILIDADE DA ESCAVAÇÃO ESTRATIFICAÇÃO VERTICAL E SUBVERTICAL

- Formação de chaminés
- Instabilidade dos estratos (encurvadura)

Sobreescavação



TUNEIS

RESISTÊNCIA DA MATRIZ ROCHOSA FACTOR DE COMPETÊNCIA $F_c = \sigma_{ci} / \sigma_v$

σ_{ci} - Resistência da Matriz Rochosa

$$F_c = \sigma_{ci} / \sigma_v$$

σ_v - Tensão vertical máxima

- $F_c > 10$ A matriz rochosa tem resistência muito superior às tensões no maciço e a escavação é estável
- $10 > F_c > 2$ A estabilidade está condicionada pelo tempo e propriedades da rocha, podendo ocorrer deformações elásticas, deformações plásticas e roturas frágeis com risco de explosões de rocha (*rock burst*)
- $F_c < 2$ A escavação pode ser instável se as tensões ultrapassarem a resistência do maciço

A estabilidade estimada a partir de F_c não tem em conta a presença de descontinuidades, situação que pode ocorrer em maciços muito homogéneos, rochas maciças cristalinas ou em rochas a grandes profundidades, em que as descontinuidades são muito próximas

TUNEIS

CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

A escavação de um túnel cria um grande dreno para o qual afluem as águas dos aquíferos intersectados, com consequências

- Diminuição da Resistência do maciço
- Aumento das pressões sobre o sustimento e revestimento
- Expansão e amolecimento das argilas
- Possibilidade de cavernas em materiais salinos
- Problemas grandes no avanço da escavação

A circulação de água nos maciços rochosos provém principalmente de

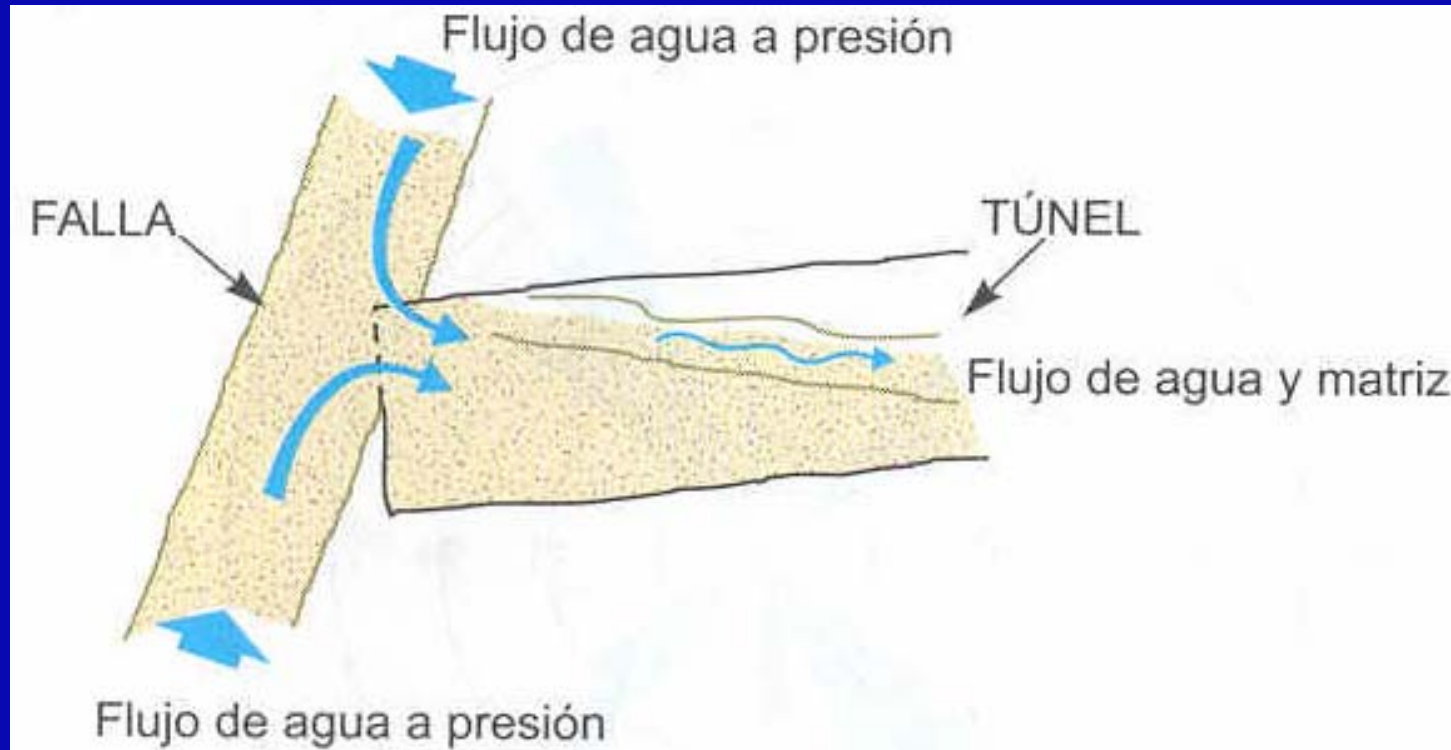
- Falhas e fracturas
- Rochas brechóides, preenchimentos de falhas, zonas alteradas
- Contacto entre rochas de permeabilidades muito diferentes
- Formações cársticas, chaminés vulcânicas, etc. As locas e cavernas cársticas, com ou sem intercomunicação indicam risco elevado de infiltrações e são difíceis de localizar

TUNEIS

ESTABILIDADE DAS ROCHAS DE UMA FALHA NUM TÚNEL

(Hansen e Martna, 1988)

- Matriz com fluência

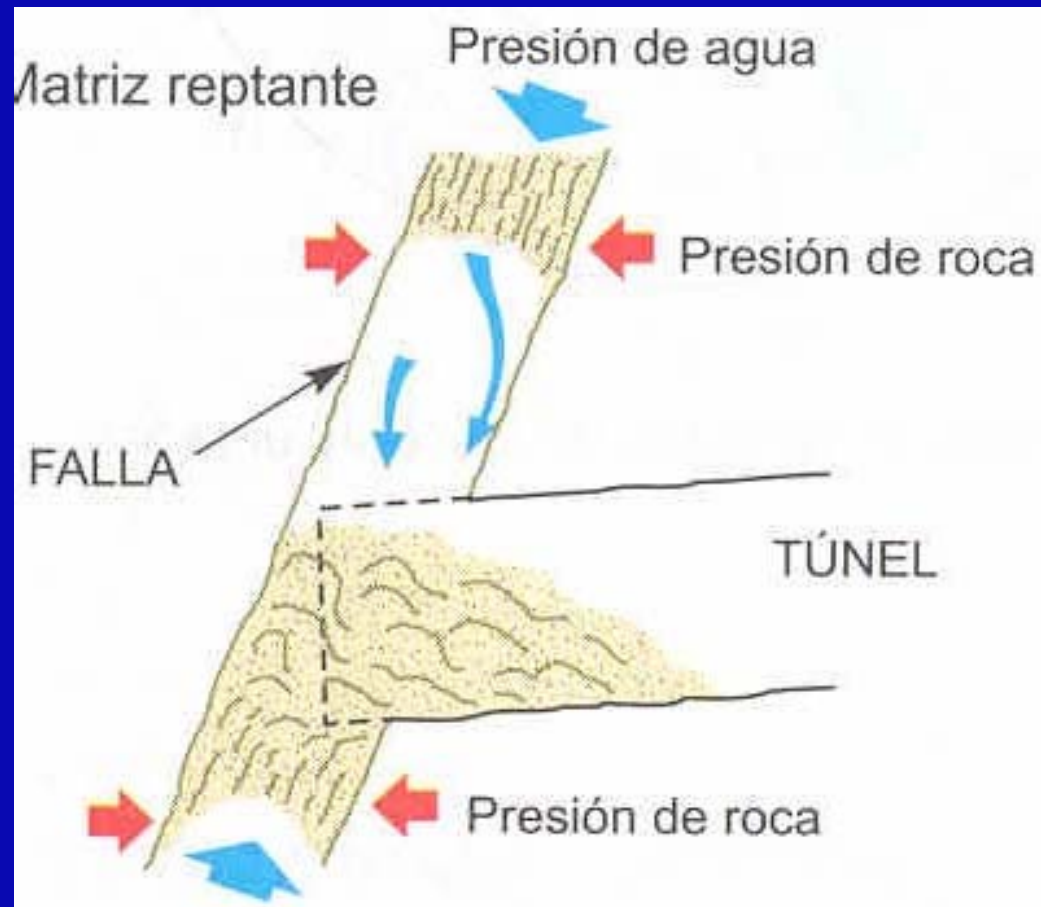


TUNEIS

ESTABILIDADE DAS ROCHAS DE UMA FALHA NUM TÚNEL

(Hansen e Martna, 1988)

- Matriz reptante

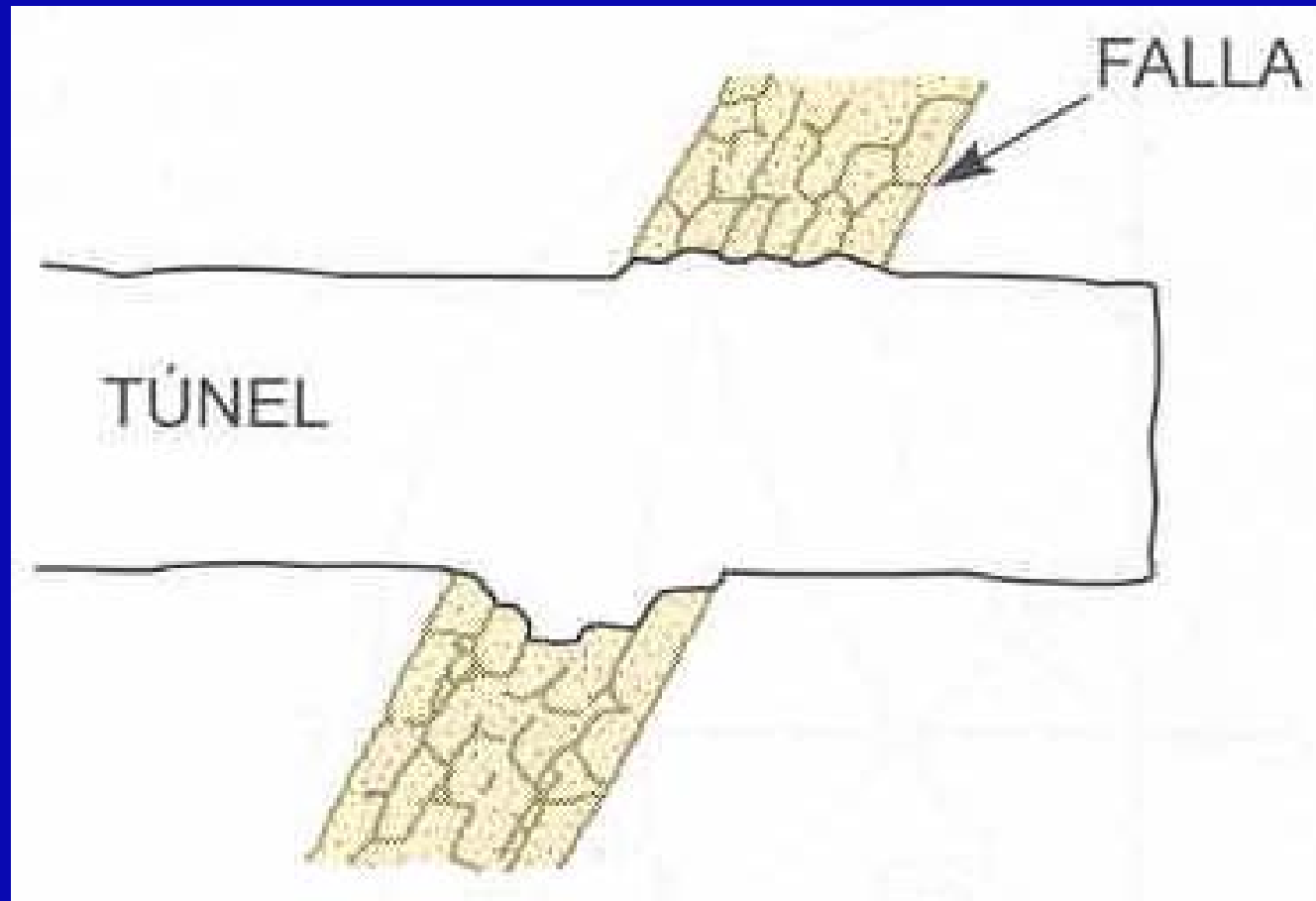


TUNEIS

ESTABILIDADE DAS ROCHAS DE UMA FALHA NUM TÚNEL

(Hansen e Martna, 1988)

- Matriz estável

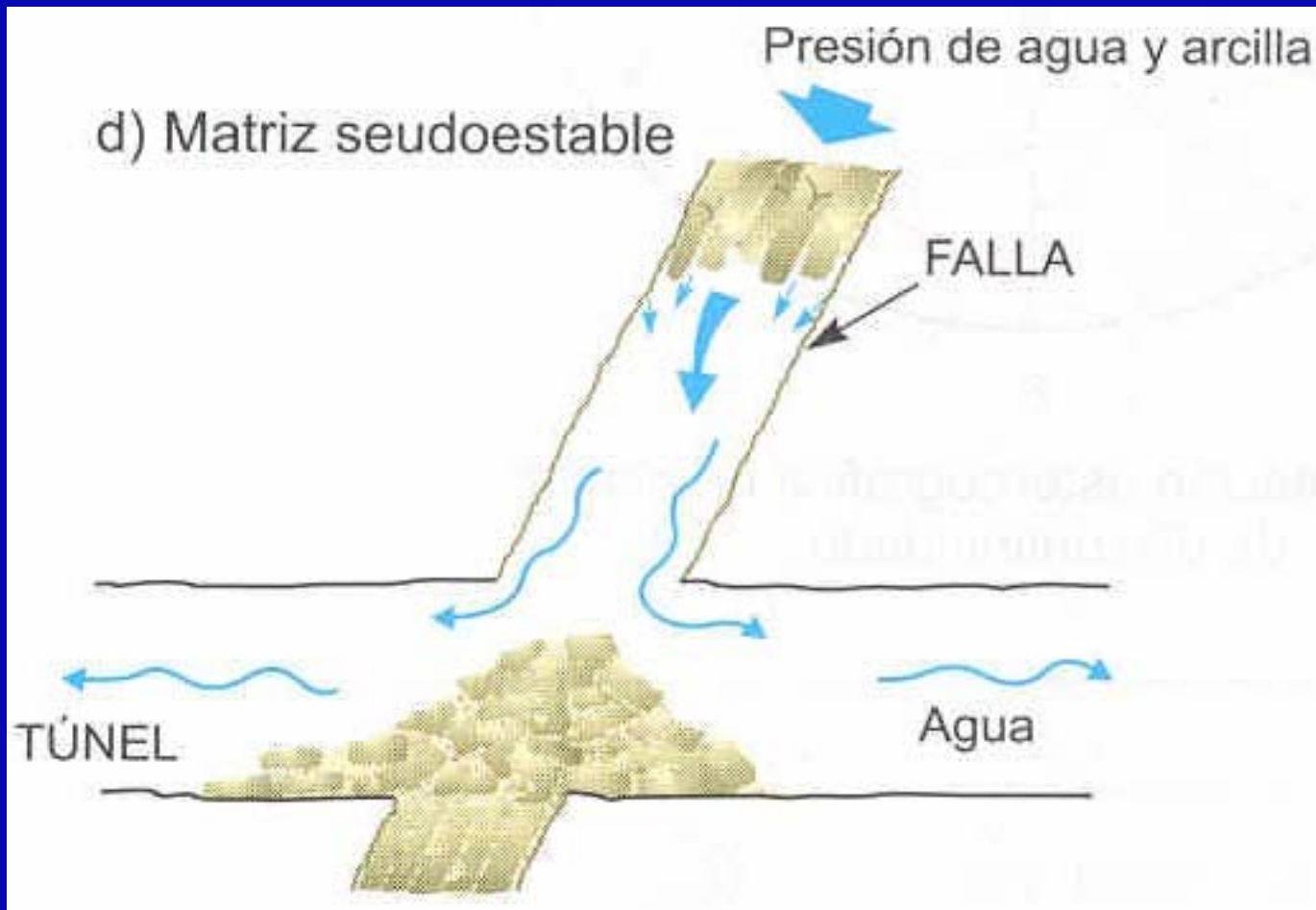


TUNEIS

ESTABILIDADE DAS ROCHAS DE UMA FALHA NUM TÚNEL

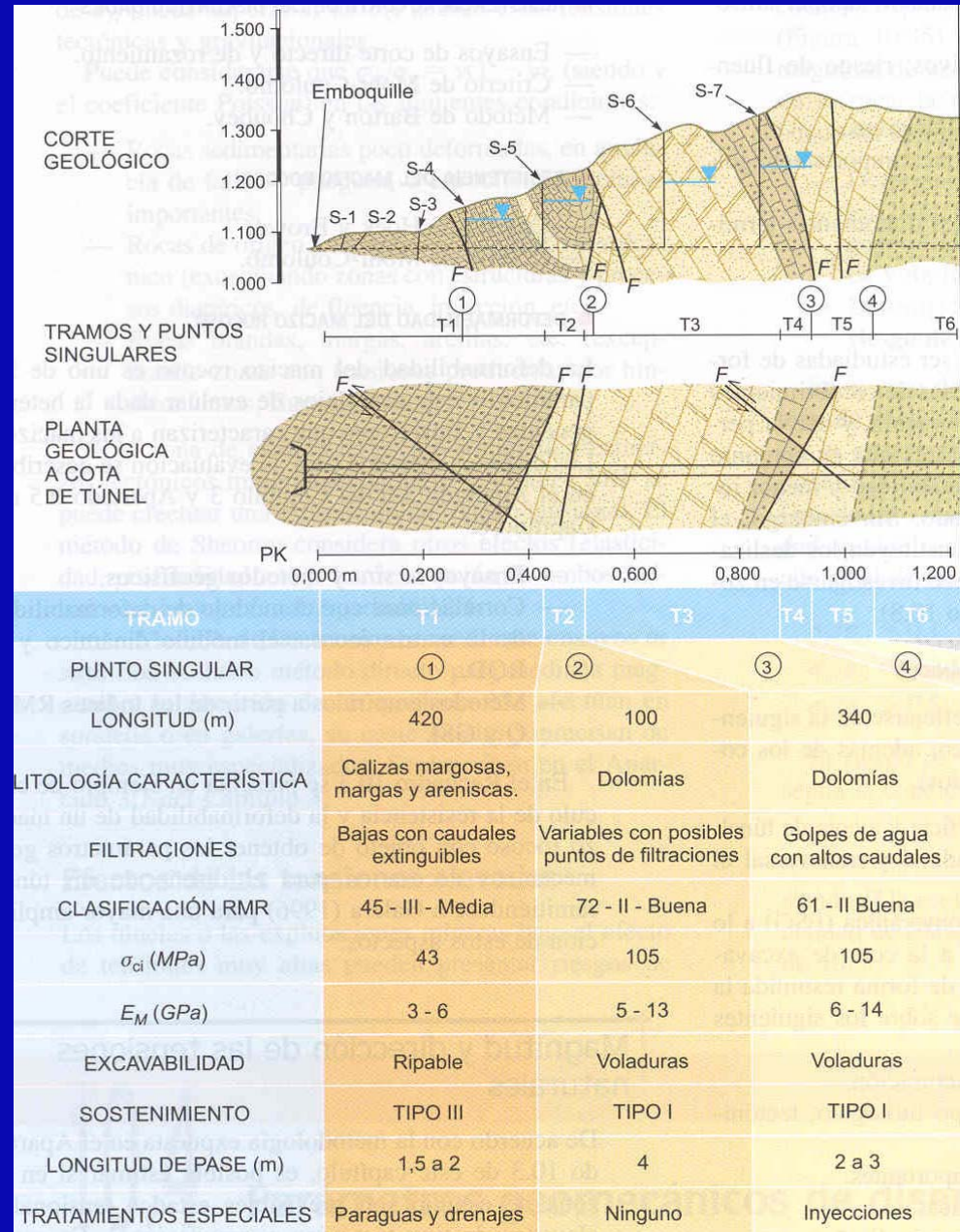
(Hansen e Martna, 1988)

- Matriz pseudo-estável



TUNEIS

Exemplo de perfil
e planta de
zonamento
geomecânico



TUNEIS

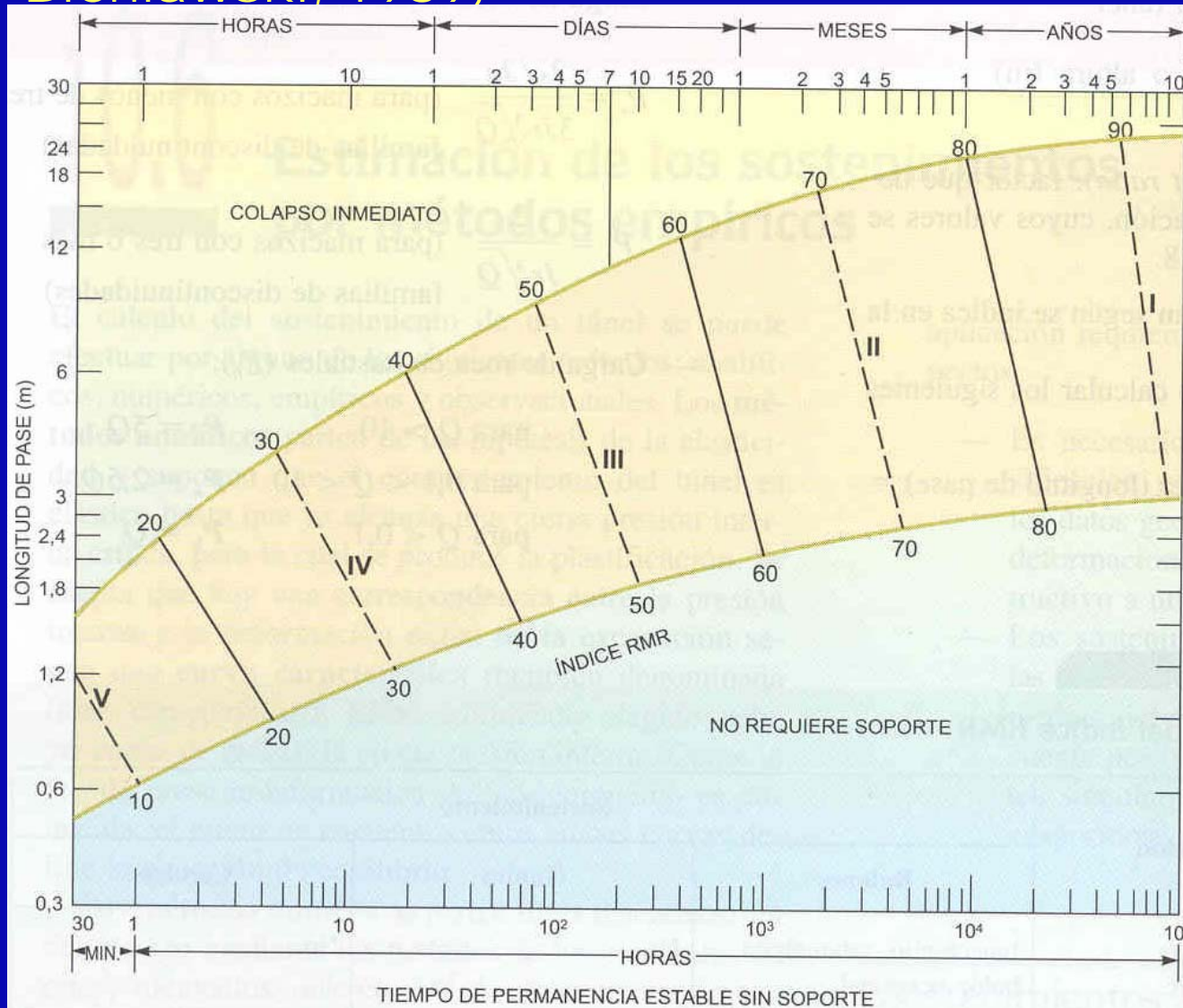
SUSTIMENTOS A PARTIR DO ÍNDICE RMR

Classe RMR	Escavação	Sustimento		
		Pregagens	Gunitagens	Cambotas
I 100 - 81	Escavação completa.	Desnecessárias, salvo uma ou outra pregagem ocasional	Não	Não
	Avances de 3 m.			
II 80 - 61	Escavação completa.	Pregagens locais na abóbada, com comprimentos de 2 a 3 m e afastadas de 2 a 2,5 m, eventualmente com malhas de aço	5 cm na abóbada para impermeabilização	Não
	Avances de 1 - 1,5 m.			
III 60 - 41	Avanços e desmontes	Pregagens sistemáticas de 3 - 4 m afastadas de 1,5 - 2,0 m na abóbada e hasteais. Malhas de aço.	5 a 10 cm na abóbada e 3 a 5 cm nos hasteais	Não
	Avances de 1,5 a 3 m.			
	Completar o sustimento a 20m da frente			
IV 40 - 21	Avanços e desmontes	Pregagens sistemáticas de 4 - 5 m afastadas de 1 - 1,5 m na abóbada e hasteais, com aplicação de malhas de aço.	10 a 15 cm na abóbada e 10 cm nos hasteais.	Cambotas ligeiras afastadas de 1,5m quando necessário
	Avances de 1,5 a 3 m.			
	Sustimento imediato da frente de avanço		Aplicação acompanhando o avanço da escavação	
	Completar o sustimento a menos de 10m da frente			
V ≤ 21	Fases múltiplas	Pregagens sistemáticas de 5 - 6 m afastadas de 1 - 1,5 m na abóbada e hasteais, com aplicação de malhas de aço. Pregagens na soleira	15 a 20 cm na abóbada, 15 cm nos hasteais e 5 cm na frente.	Cambotas pesadas afastadas de 0,75m com blindagem de chapas e recalces na soleira
	Avances de 0,5 a 1 m.			
	Gunitar imediatamente a frente depois de cada avanço		Aplicação acompanhando o avanço da escavação	

TUNEIS

COMPRIMENTOS DE AVANÇO E TEMPOS DE ESTABILIDADE SEM SUPORTE (Sustimento)

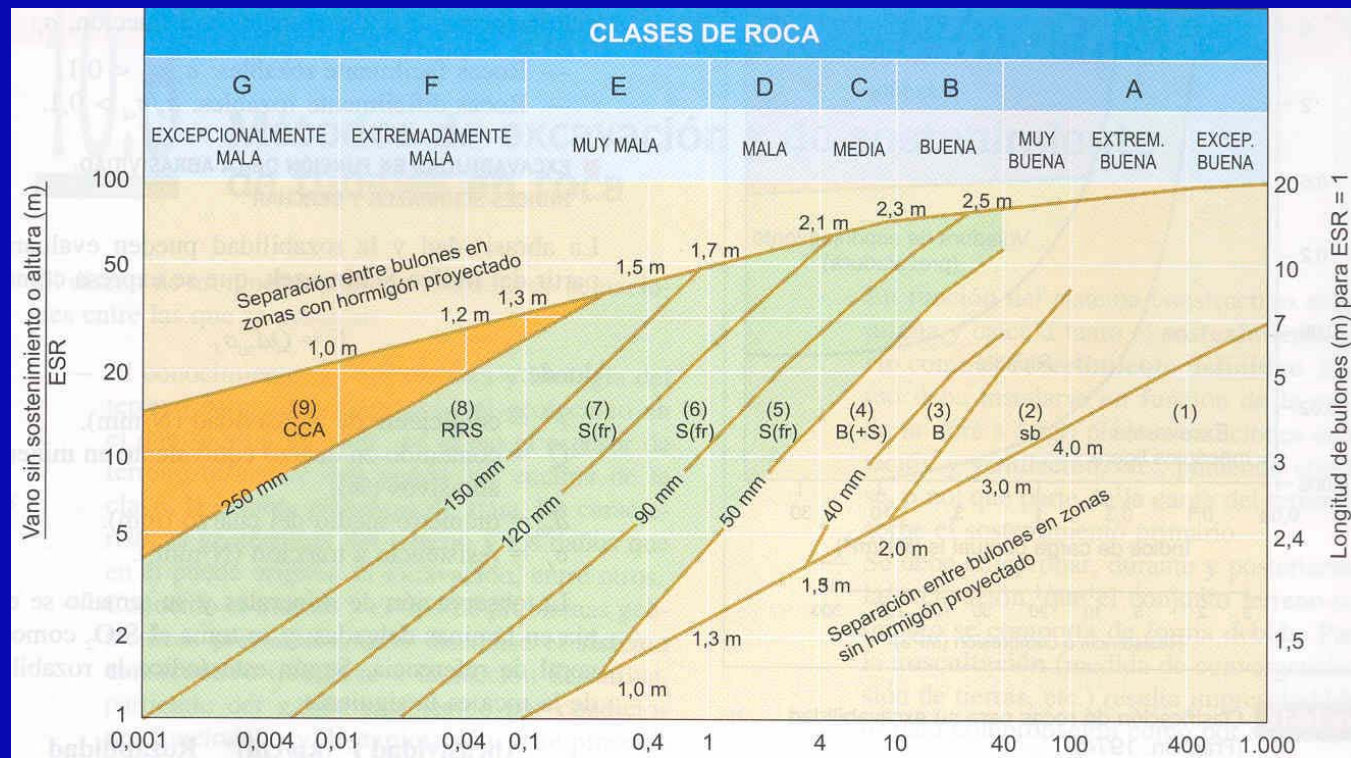
Segundo Bieniawski, 1989)



TUNEIS

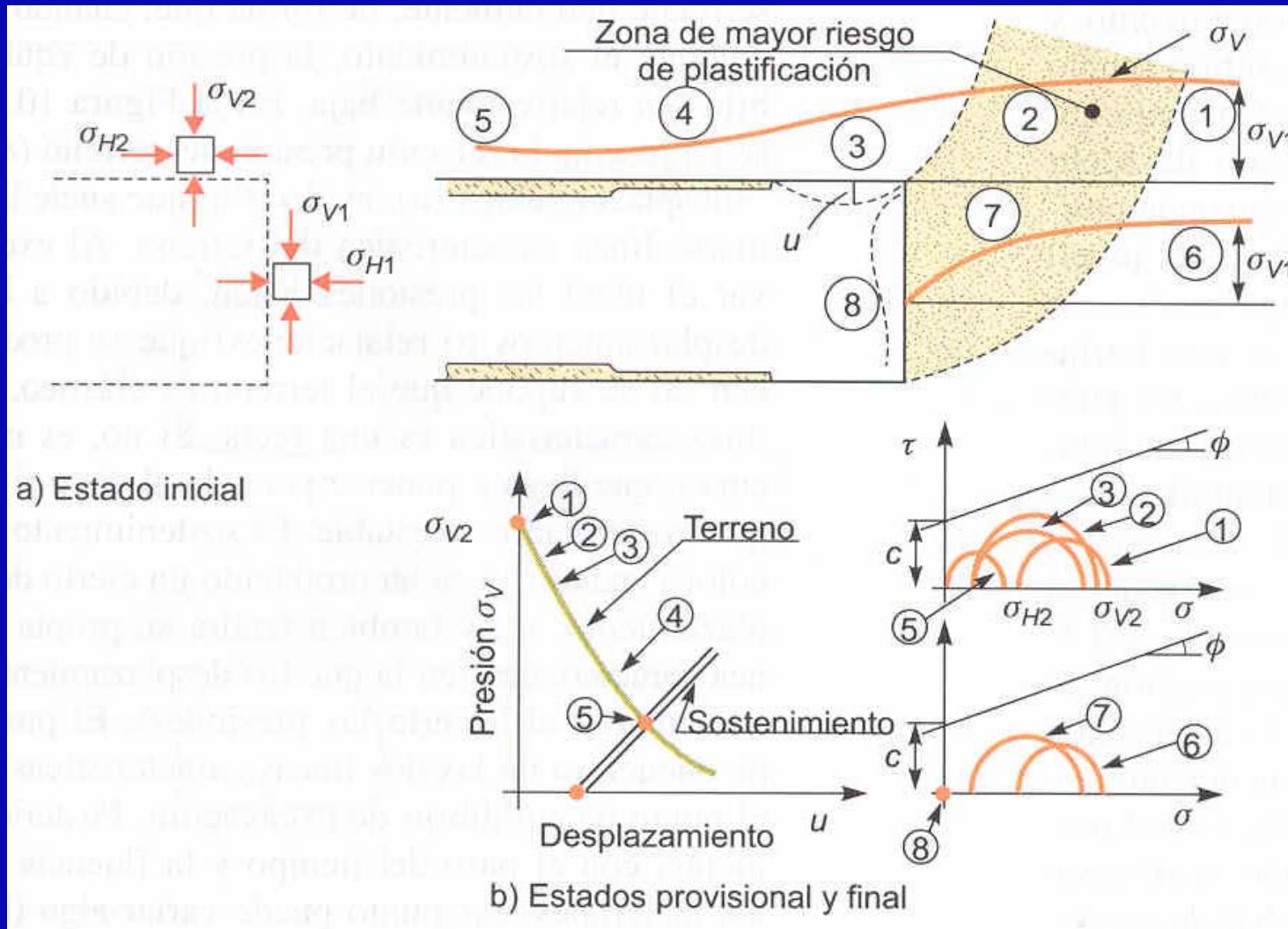
CATEGORIAS DE SUSTIMENTO Conforme índice Q (Barton, 2000)

1. Sem sustimento
2. Pregagens ocasionais
3. Pregagens sistemáticas
4. Pregagens sistemáticas e gunitagens 40-100mm
5. Pregagens sistemáticas e gunitagens com fibras 50-90mm
6. Pregagens sistemáticas e gunitagens com fibras 90-120mm
7. Pregagens sistemáticas e gunitagens com fibras 120-150mm
8. Pregagens sistemáticas e gunitagens com fibras > 150mm e cambotas reforçadas
9. Revestimento de Betão



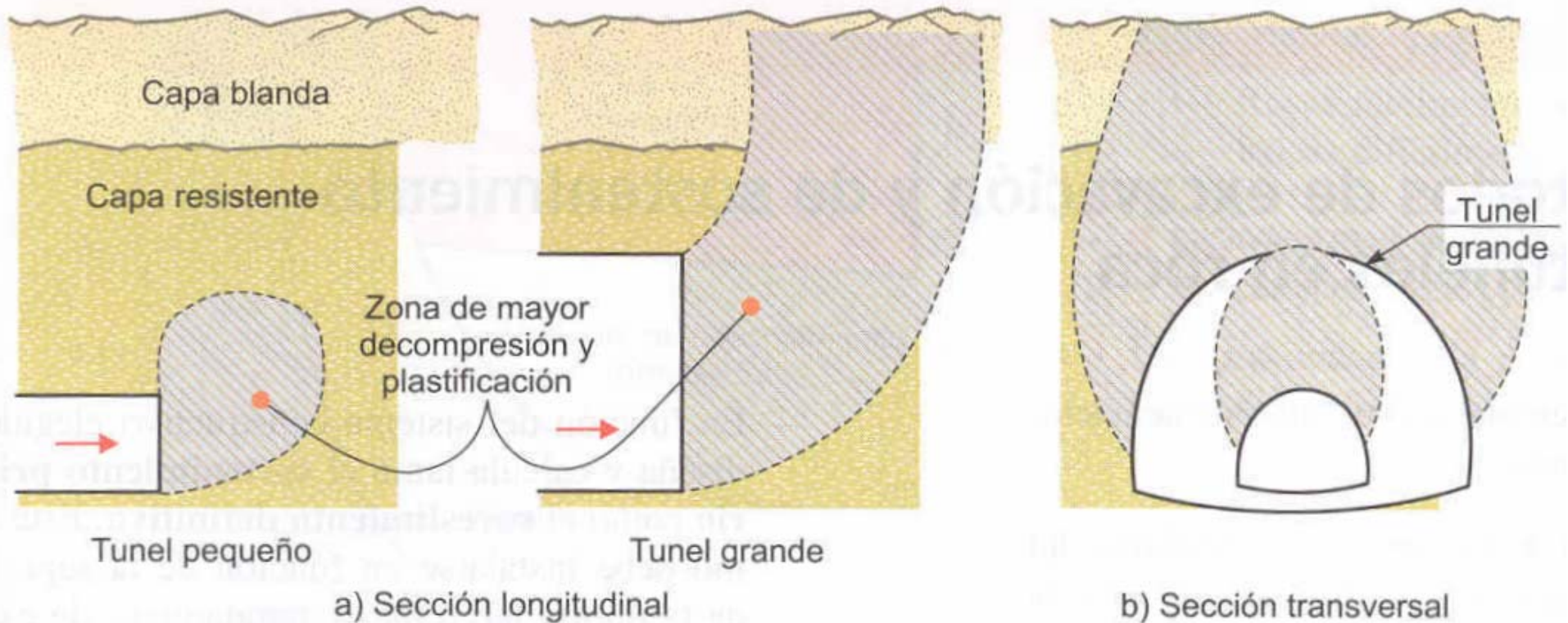
TUNEIS

EVOLUÇÃO DAS TENSÕES NA FRENTE DE AVANÇO DO TÚNEL



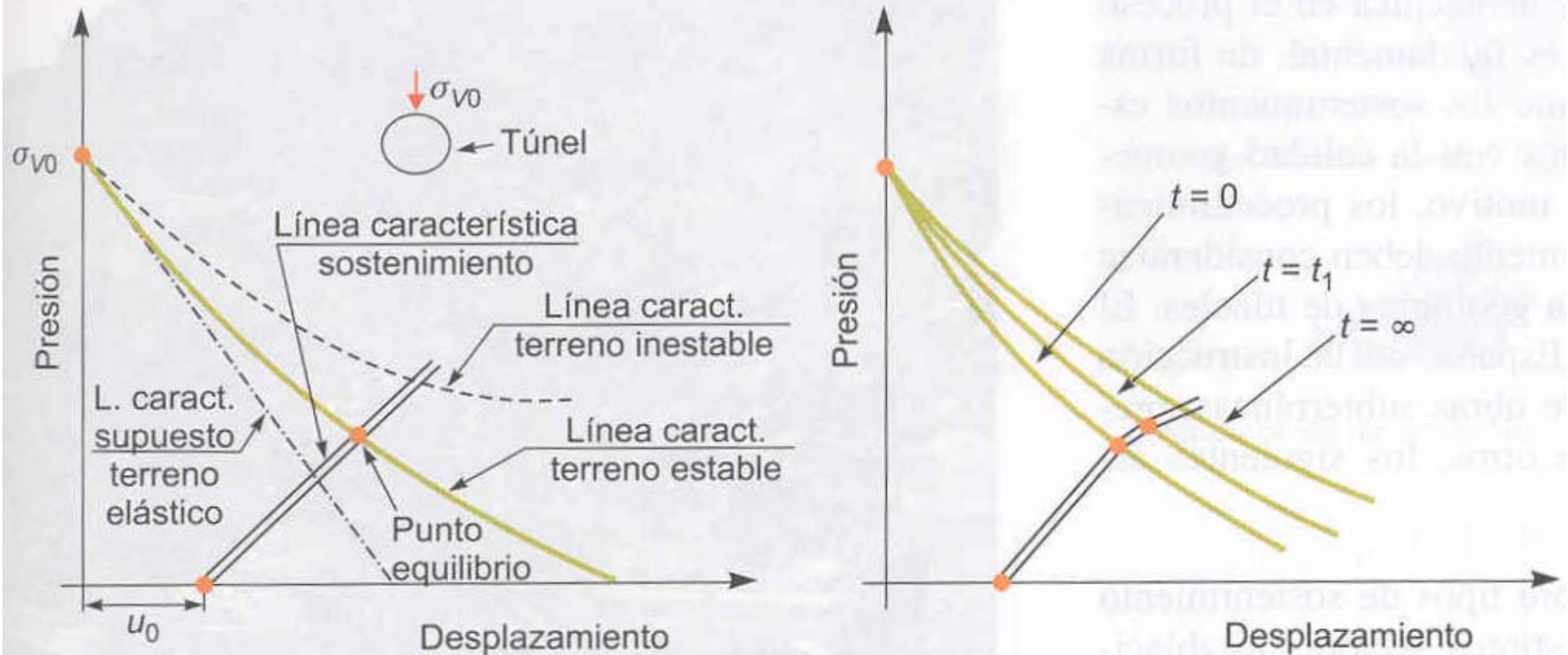
TUNEIS

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO TÚNEL NA ESTABILIDADE



TUNEIS

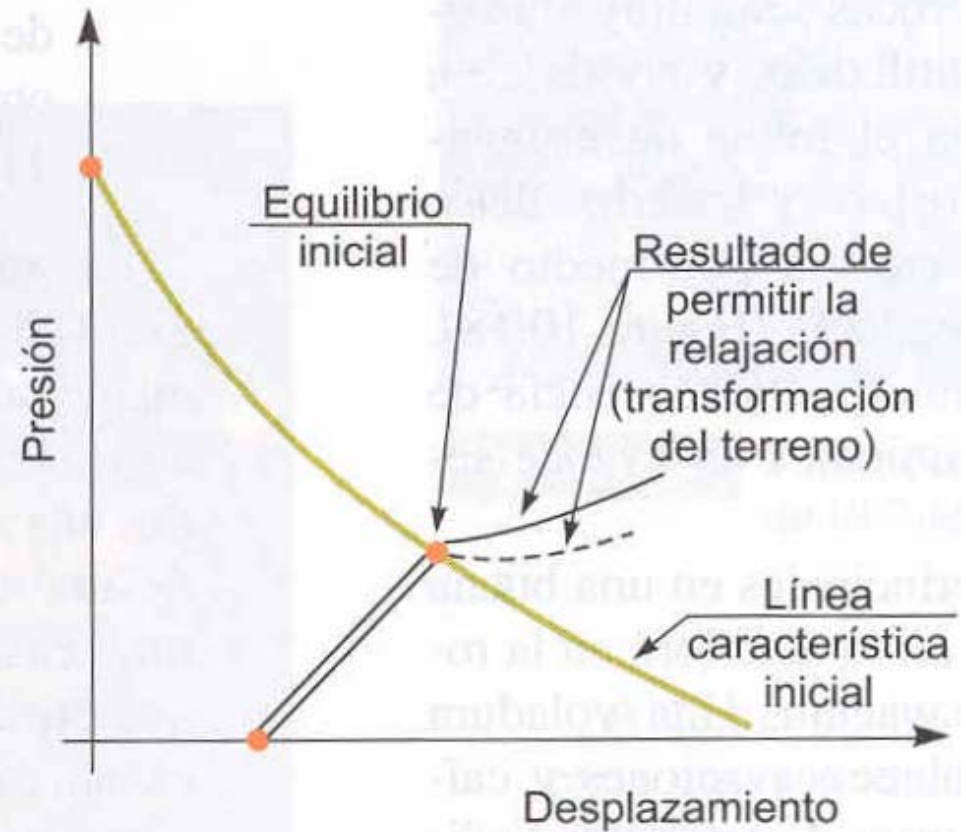
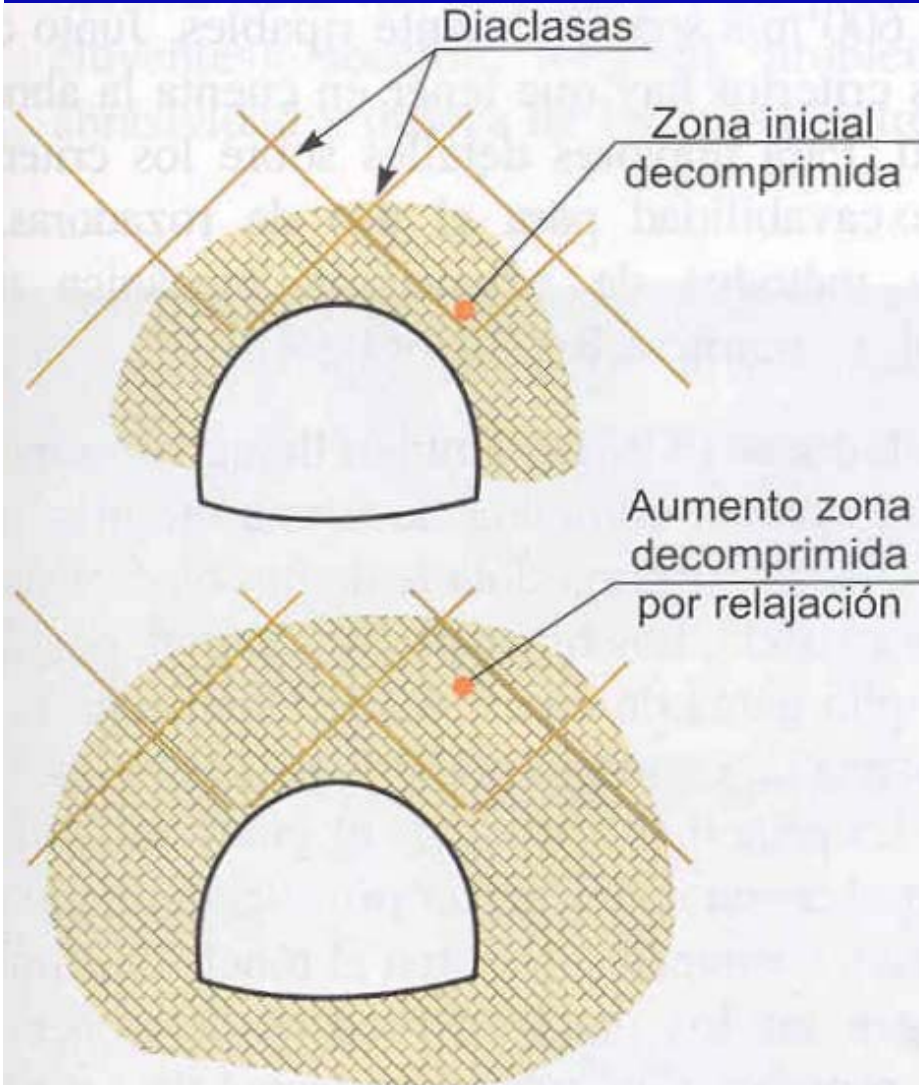
DESLOCAMENTOS NO AVANÇO – LINHAS CARACTRÍSTICAS



(Desplazamiento cuando empieza a actuar el sostenimiento = u_0)

TUNEIS

DESCOMPRESSÃO À VOLTA DE UMA ESCAVAÇÃO
EFEITOS EM ROCHAS MUITO FRACTURADAS OU POUCO CIMENTADAS



TUNEIS

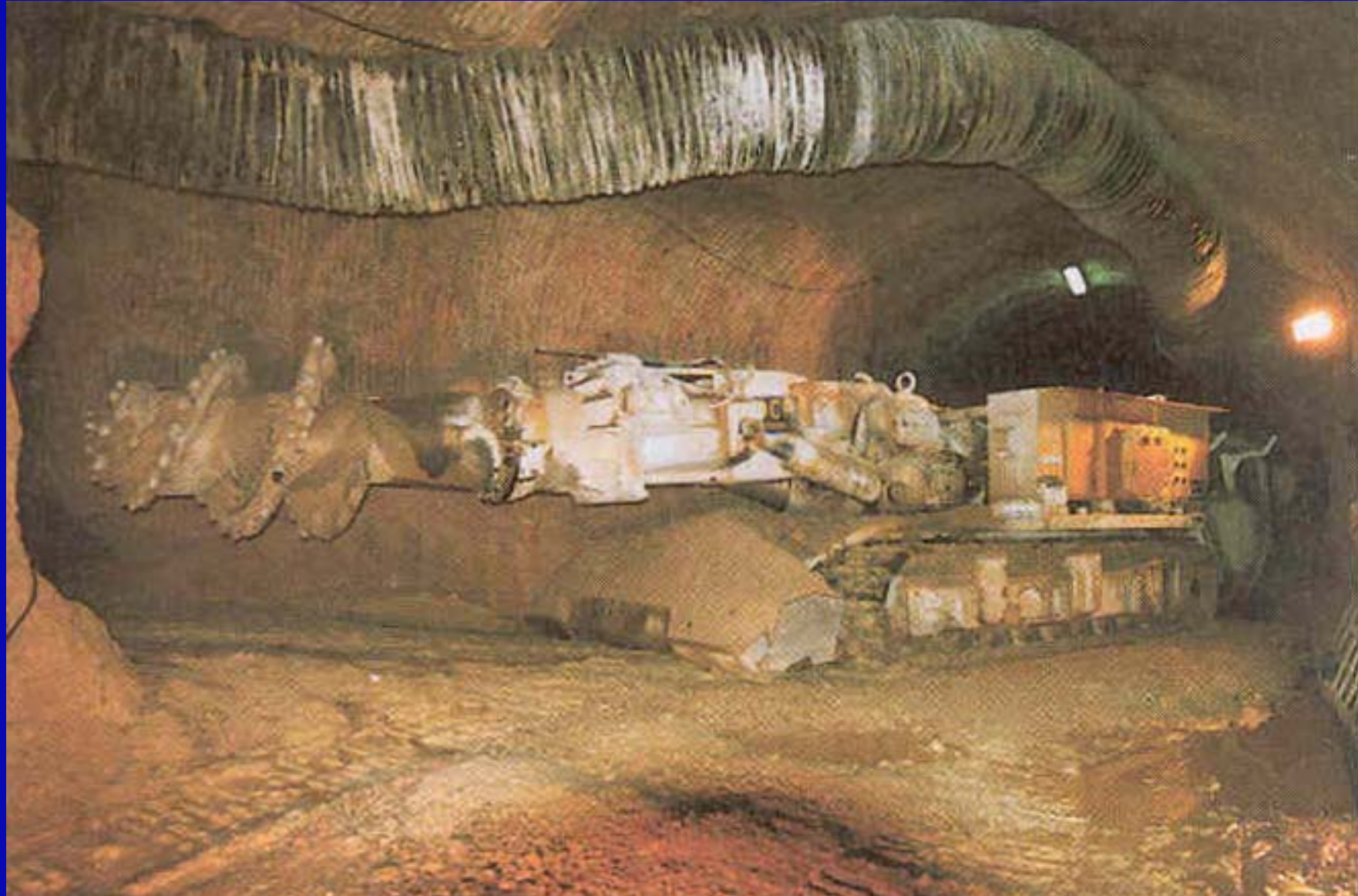
EQUIPAMENTO

MÁQUINA PERFURADORA DE 4 BRAÇOS



TUNEIS

EQUIPAMENTO
FREZA DE GRANDE POTÊNCIA



TUNEIS

EQUIPAMENTO
TUNELADORA TBM "ROBINS" PARA ROCHA



TUNEIS

EQUIPAMENTO

ESCAVAÇÃO COM MARTELO PNEUMÁTICO
(SUSTIMENTO COM CMBOTAS HEB E CHAPAS BERNOLD)



TUNEIS

EQUIPAMENTO

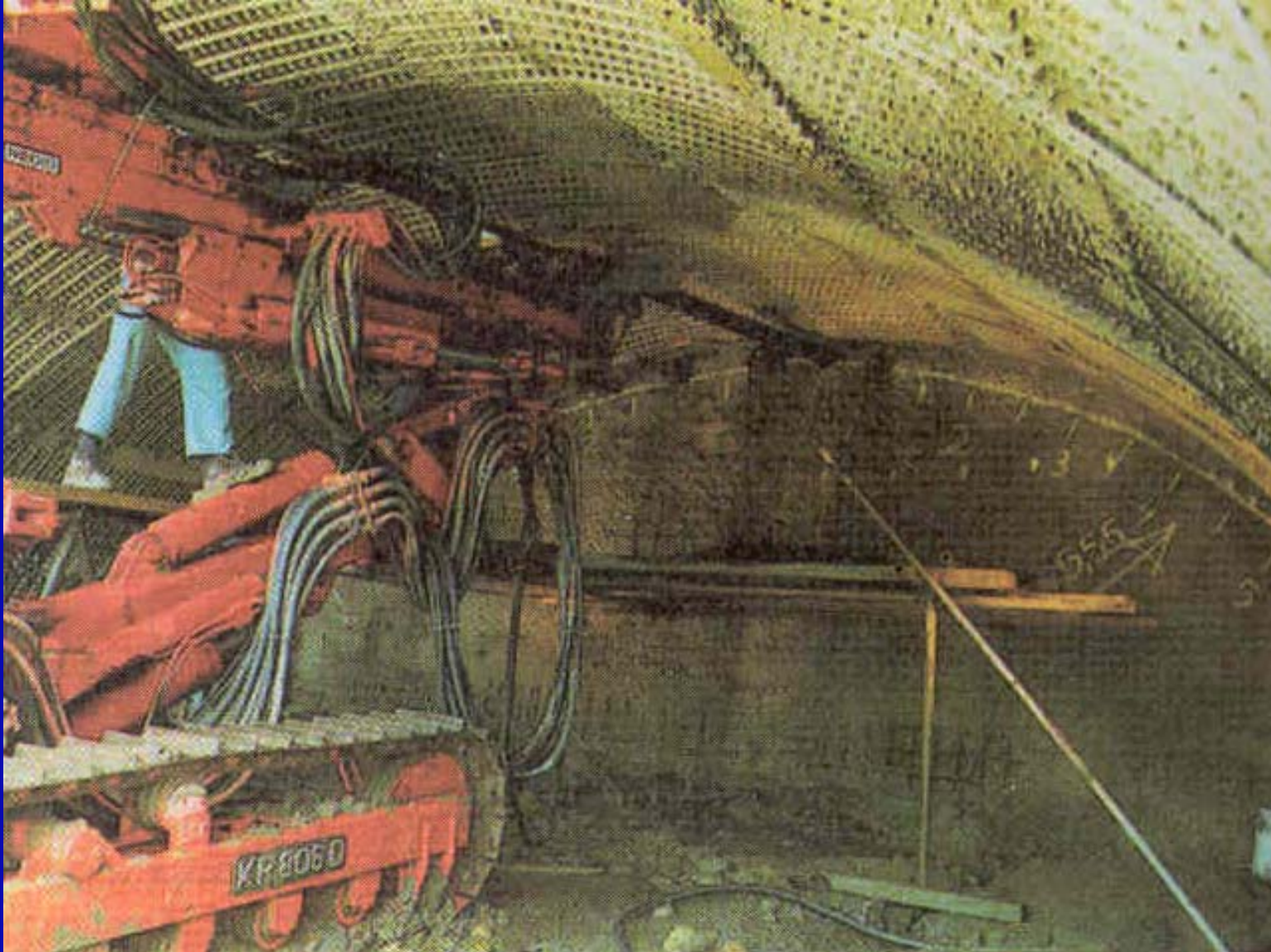
INSTALAÇÃO DE PREGAGENS DE ATRITO TIPO "SWELLEX"



TUNEIS

EQUIPAMENTO

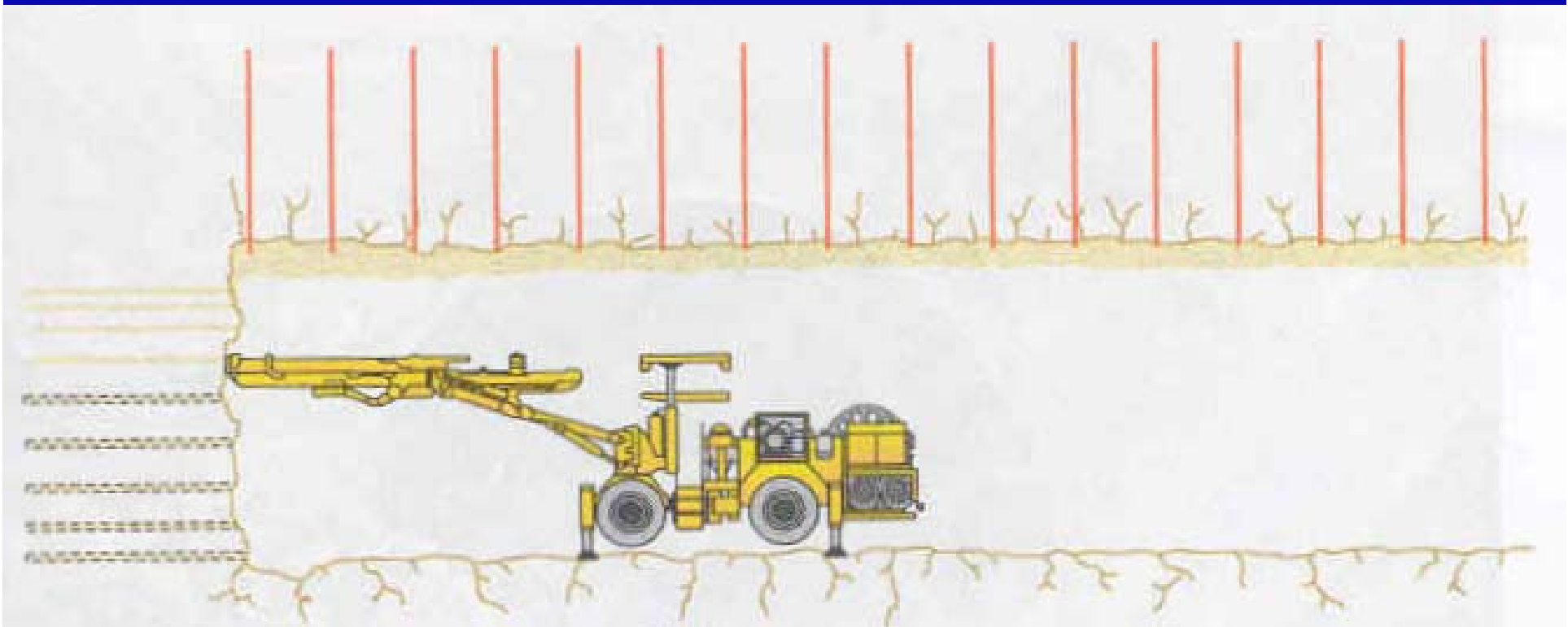
INSTALAÇÃO DE "GUARDA CHUVA" COM MICROESTACAS



TUNEIS

AVANCE POR PERFURAÇÃO E EXPLOSIVOS SEQUÊNCIA DA EXECUÇÃO

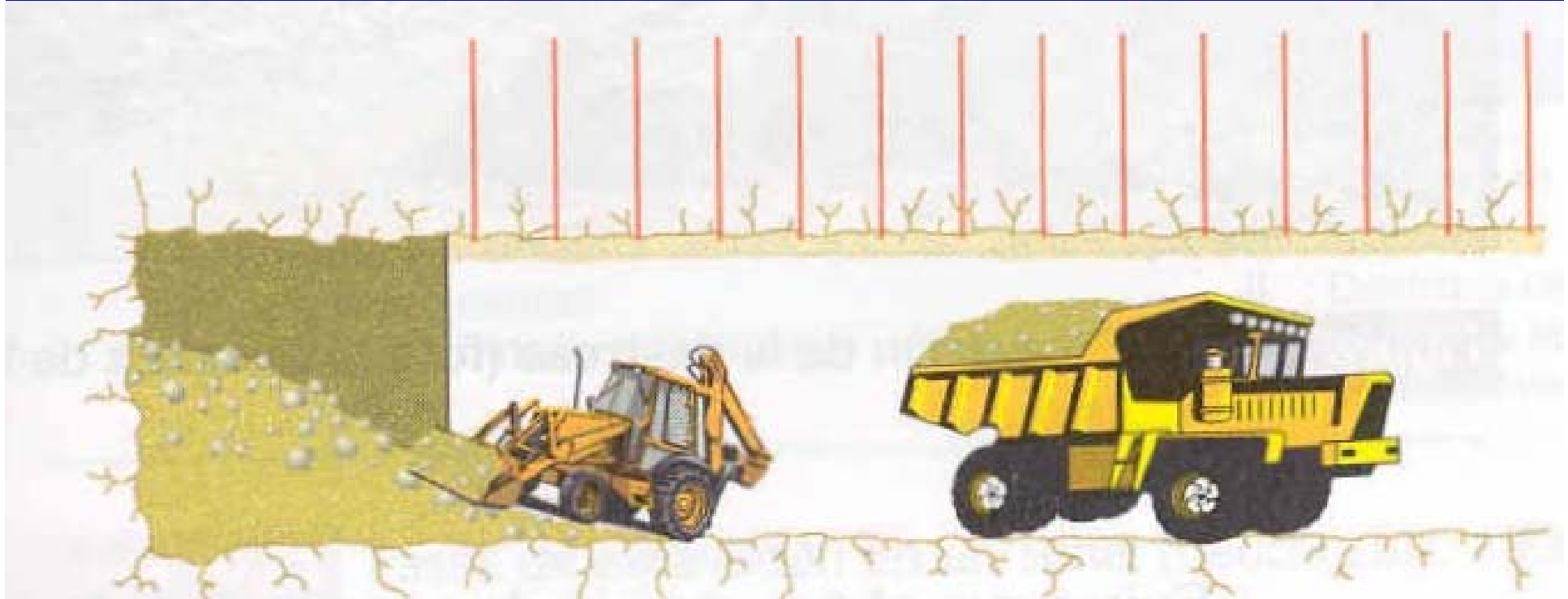
- Perfuração e colocação de explosivos



TUNEIS

AVANCE POR PERFURAÇÃO E EXPLOSIVOS
SEQUÊNCIA DA EXECUÇÃO

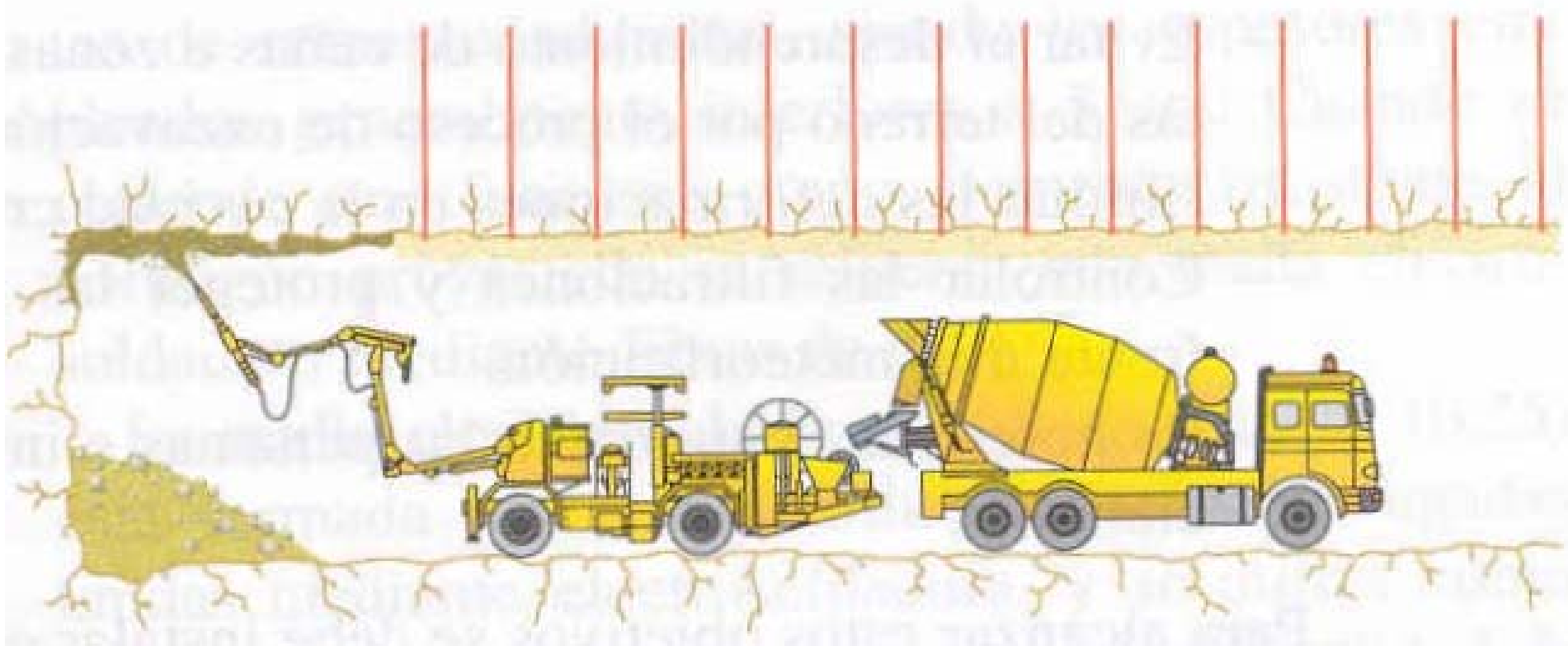
- Baldeação e retirada de escombros



TUNEIS

AVANCE POR PERFURAÇÃO E EXPLOSIVOS SEQUÊNCIA DA EXECUÇÃO

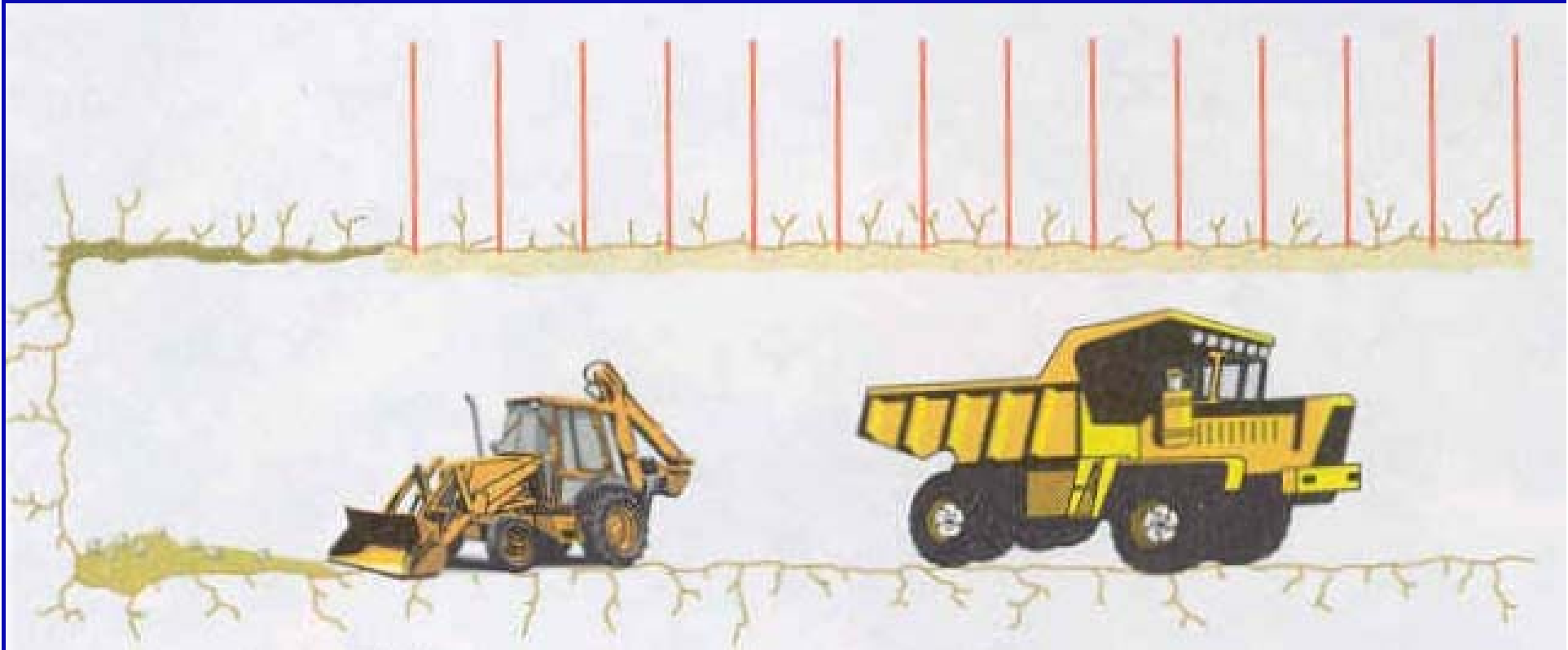
- Selagem com argamassa projectada



TUNEIS

AVANCE POR PERFURAÇÃO E EXPLOSIVOS
SEQUÊNCIA DA EXECUÇÃO

- Conclusão da remoção de escombros



TUNEIS

AVANCE POR PERFURAÇÃO E EXPLOSIVOS SEQUÊNCIA DA EXECUÇÃO

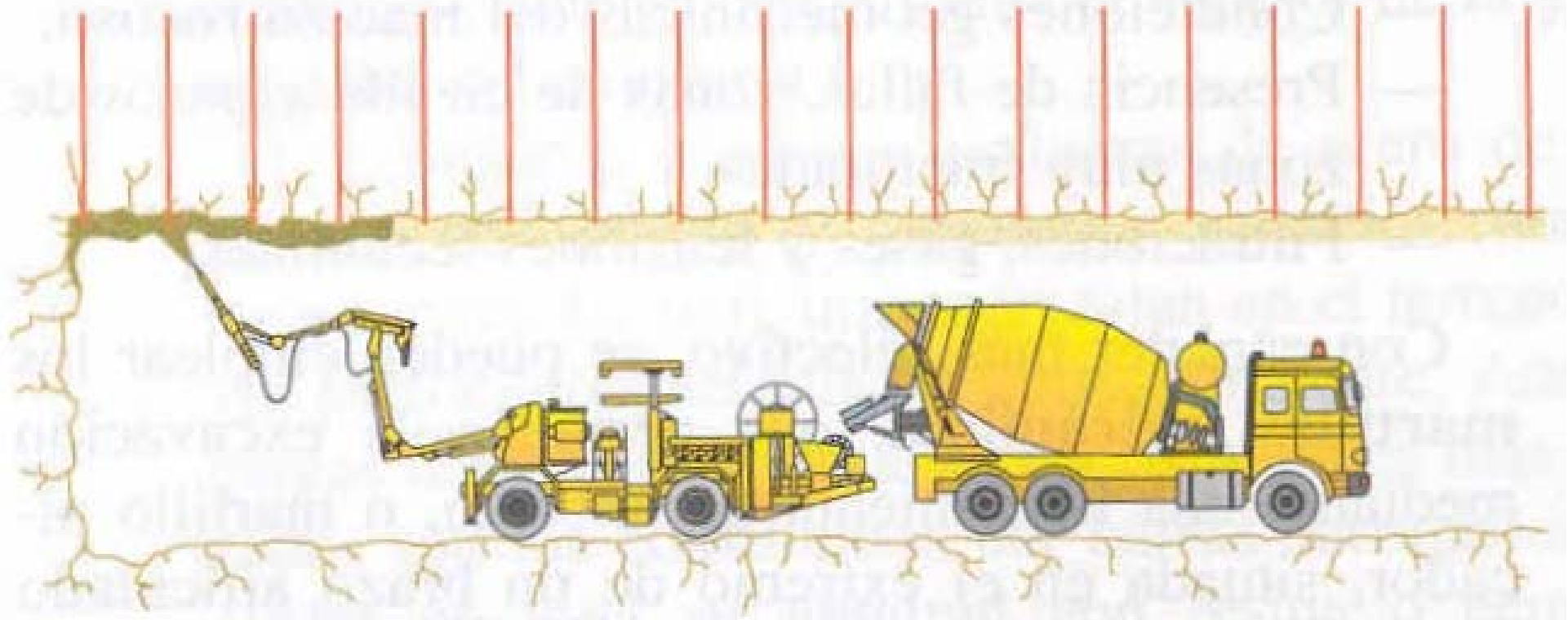
- Sustimento com pregagens



TUNEIS

AVANCE POR PERFURAÇÃO E EXPLOSIVOS
SEQUÊNCIA DA EXECUÇÃO

- Sustimento com betão projectado

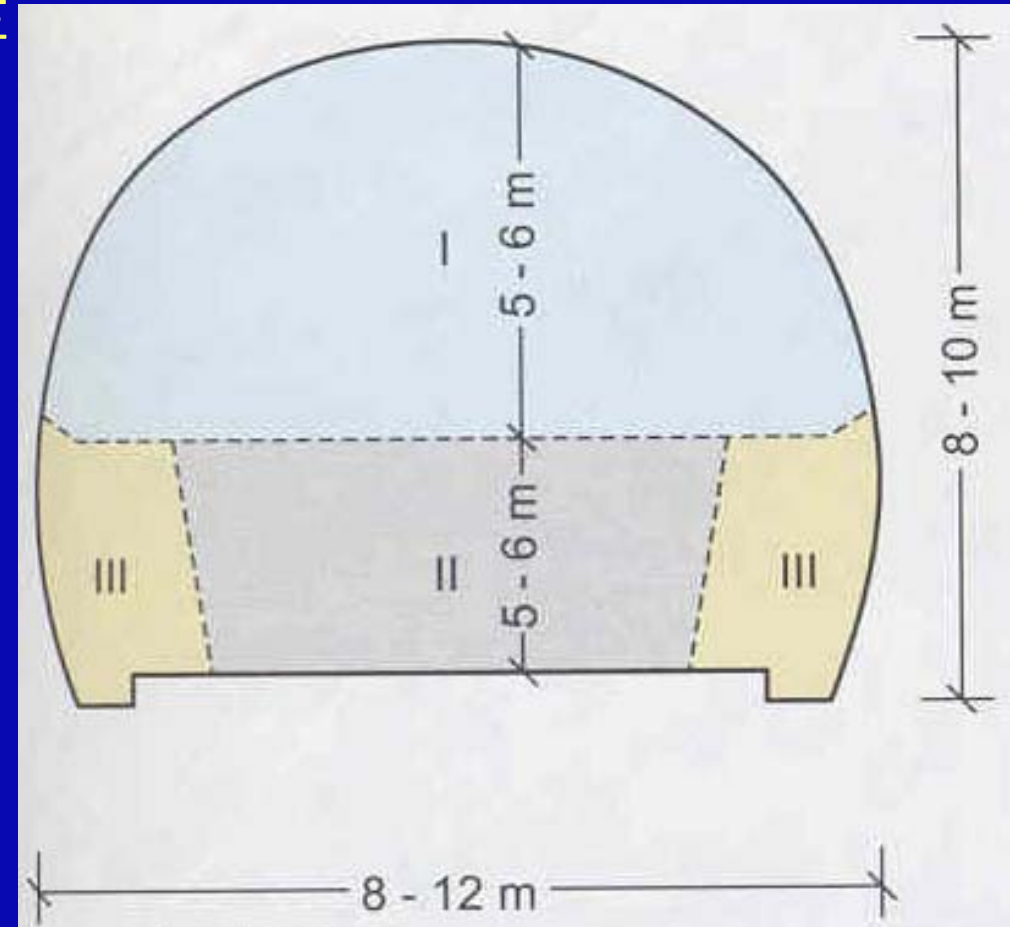


TUNEIS

FASES DE ESCAVAÇÃO DE UM TÚNEL

TERRENO DE BOA QUALIDADE

1. Avanço, galeria piloto
2. Escavação da zona central, deixando bancadas
3. Escavação das bancadas laterais

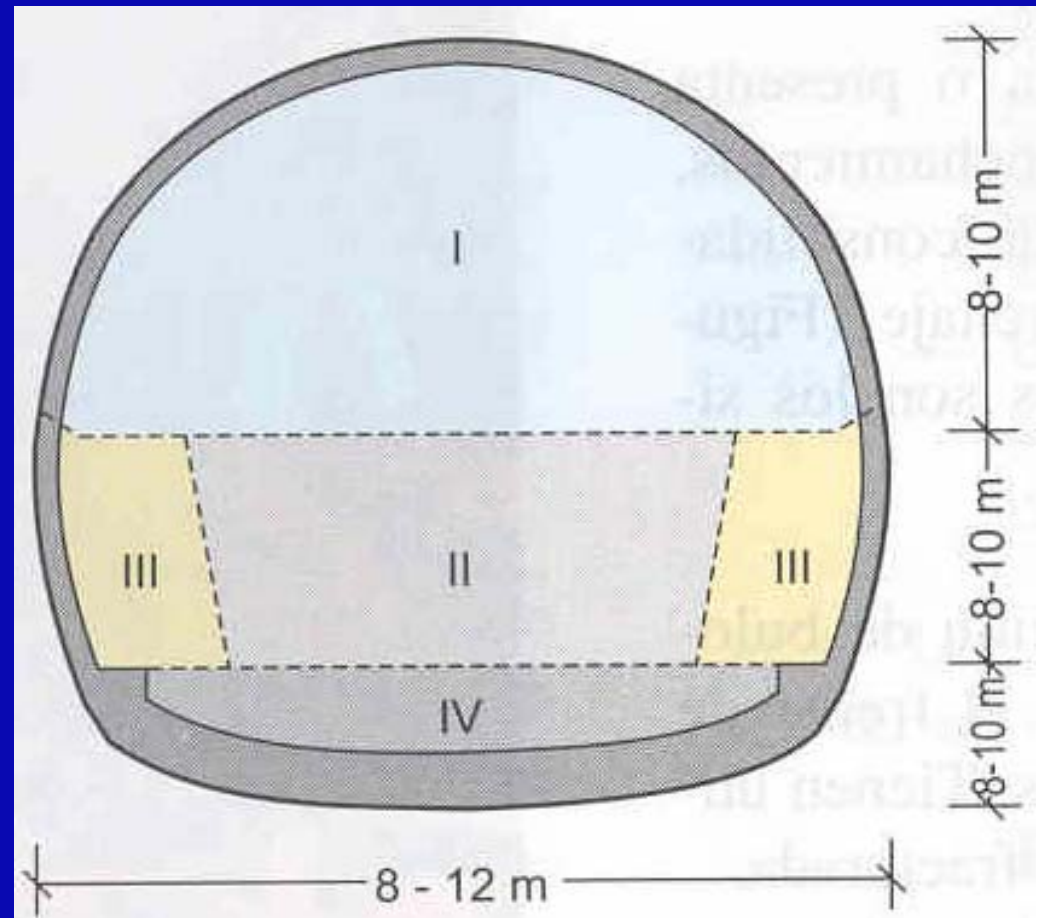


TUNEIS

FASES DE ESCAVAÇÃO DE UM TÚNEL

TERRENO DE MÁ QUALIDADE

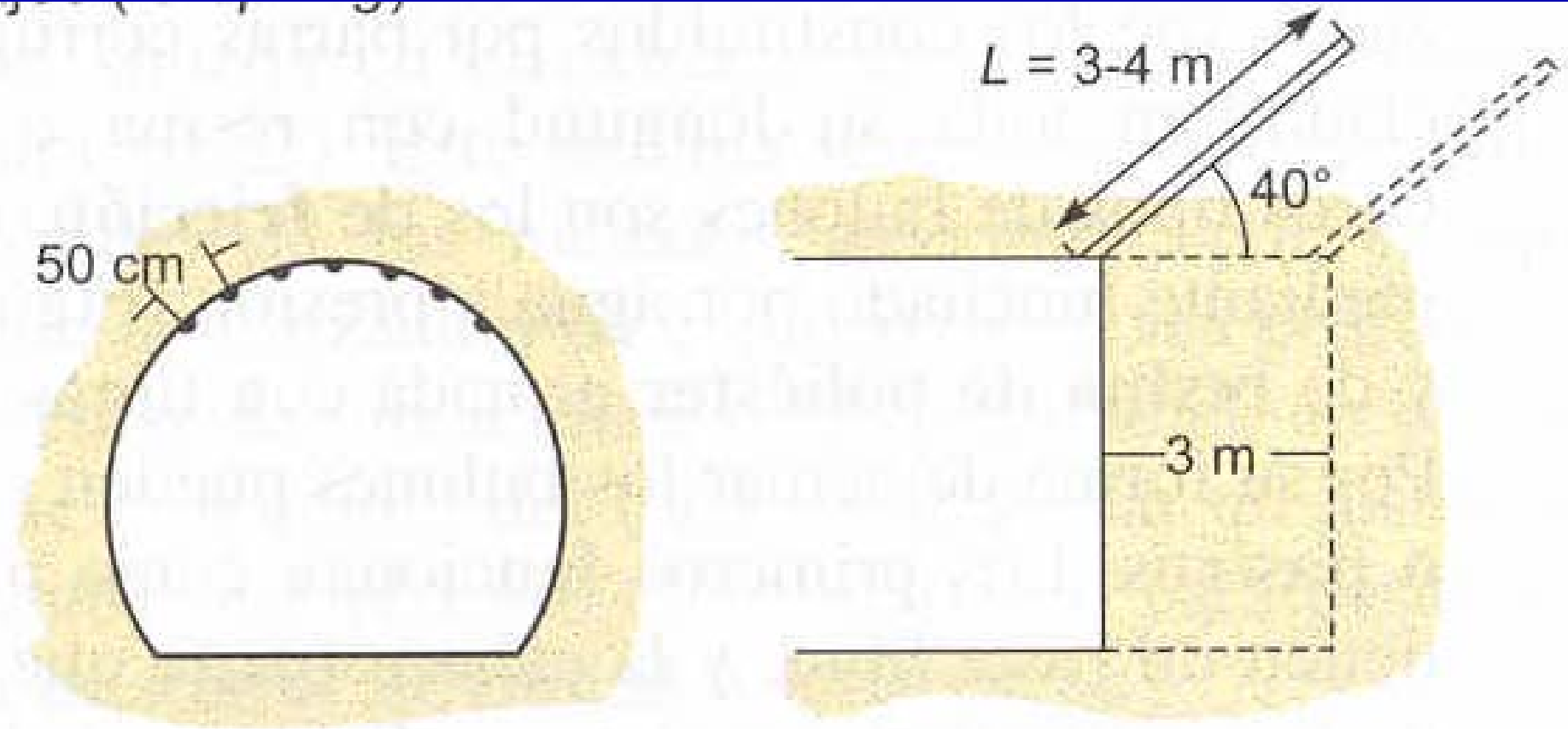
1. Avanço, galeria piloto
2. Escavação da zona central, deixando bancadas
3. Escavação das bancadas laterais
4. Escavação da soleira



TUNEIS

TRATAMENTOS ESPECIAIS DE ESTABILIZAÇÃO

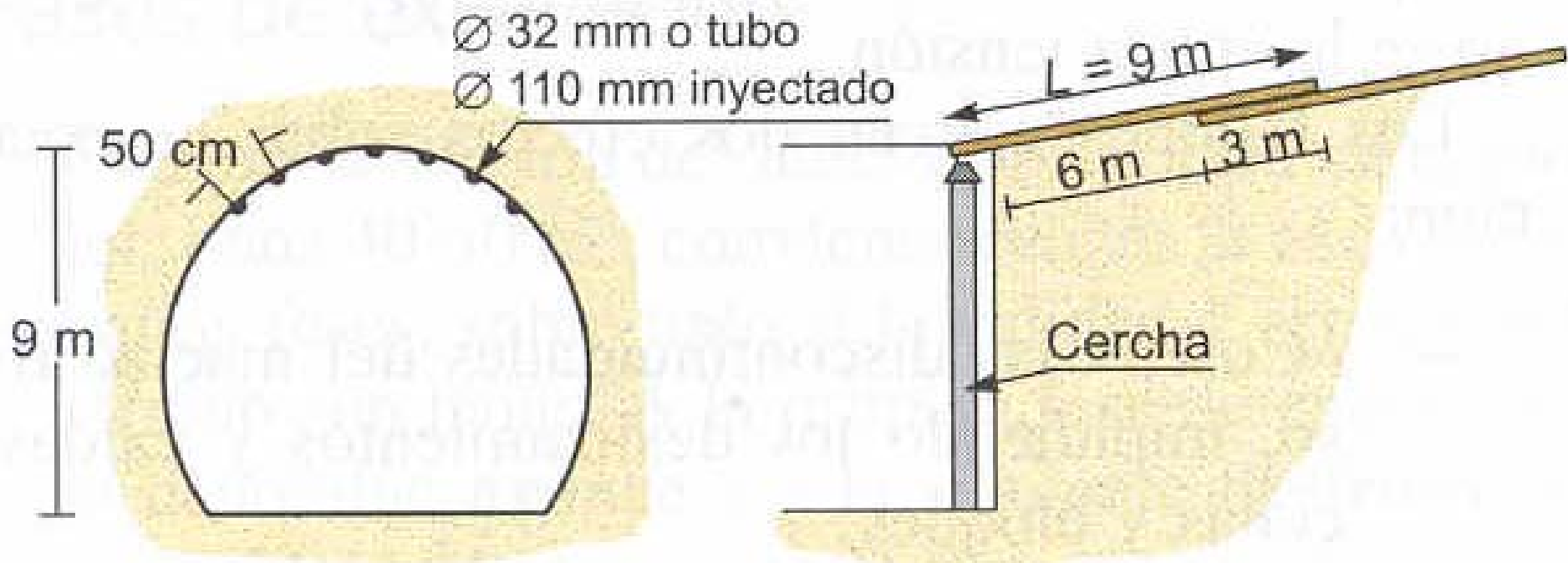
- Enfilagens



TUNEIS

TRATAMENTOS ESPECIAIS DE ESTABILIZAÇÃO

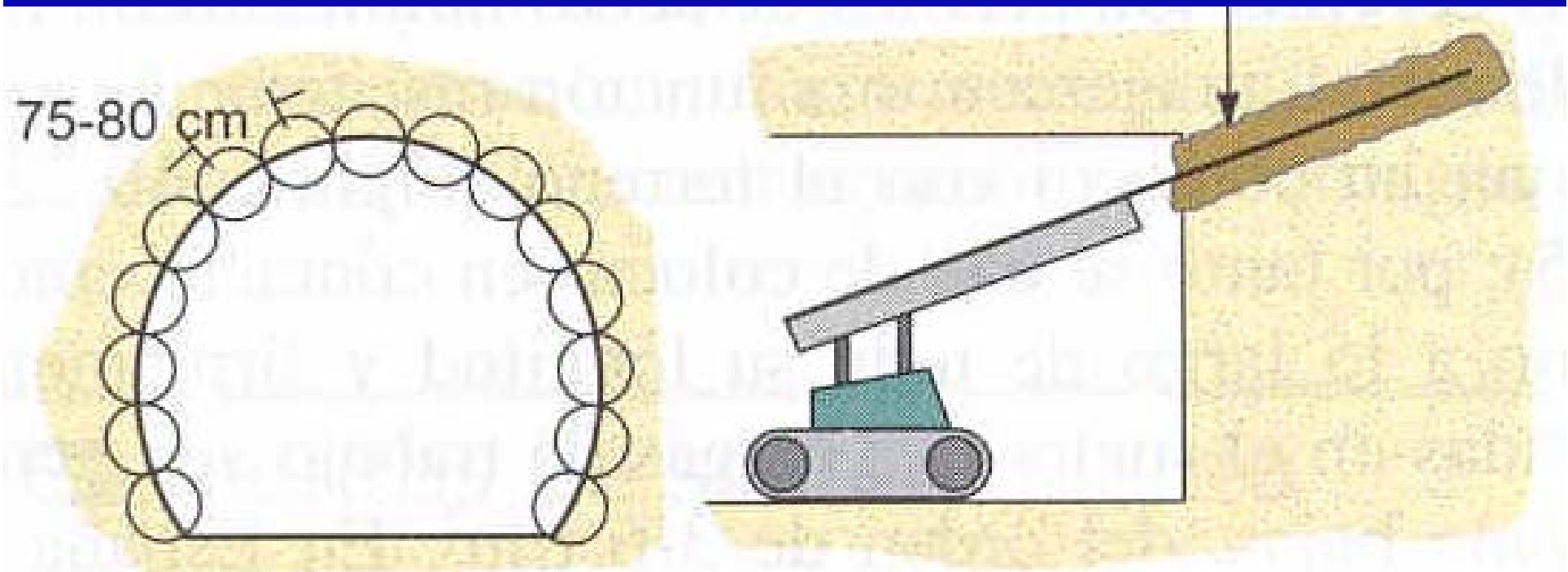
- Guarda-chuva de pregagens



TUNEIS

TRATAMENTOS ESPECIAIS DE ESTABILIZAÇÃO

- Guarda-chuva de "*jet grouting*"



TUNEIS

GARANTIDA A SEGURANÇA ESTRUTURAL
DEVERÁ SER ASSEGURADA TAMBÉM A
SEGURANÇA DA EXPLORAÇÃO, ASSEGURANDO:

- Sistemas de monitorização
- Escapatórias e galerias de evacuação
- Dispositivos de combate a incêndios
- Ventilação e desenfumagem
- Iluminação de emergência