Máster Universitario en Túneles y Obras Subterráneas

ÁREA: B6
MÓDULO: DISEÑO Y PROYECTO DE TÚNELES

EVALUACIÓN DE SOSTENIMIENTOS
Métodos clásicos

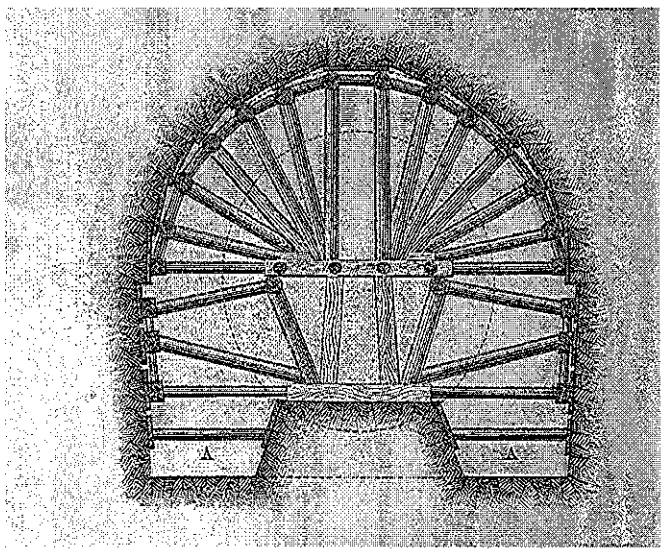
PONENTES: José Mª Rodríguez Ortiz
Prof. Dr. I.C.C.P

Día: 11/04/07
Hora: 19:00 a 20:00

MASTER DE TUNELES Y
OBRAS SUBTERRANEAS
2007

SOSTENIMIENTOS -- METODOS CLASICOS

José Mª Rodríguez Ortiz
Dr. Ingeniero de Caminos

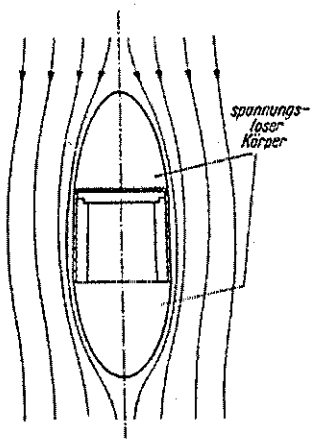


ENTIBACION DEL ATAQUE A PLENA SECCION (METODO INGLES)
HACIA 1880.

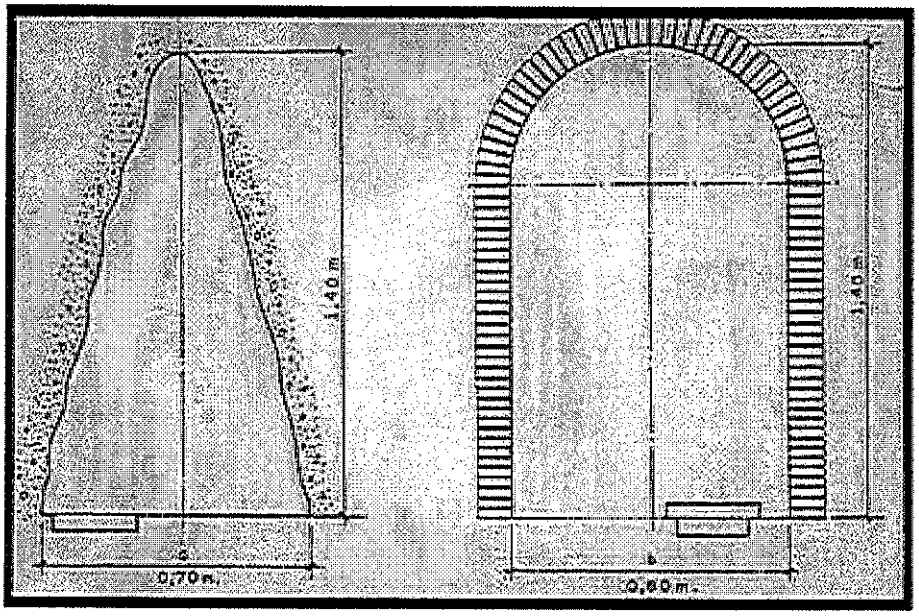
LOS PIONEROS

- CULMANN (1866)
- RITTER (1879)
- GRÖGER (1881)
- KOMMERELL (1912, 1940)
- BIERBAUMER (1913)
- TERZAGHI (1943)
- PROTODYAKONOV (1955)
- RABCEWICZ (1957)
- LAUFFER (1958)
- KASTNER (1962)

RAZON DE LA FORMA DE LA SECCION



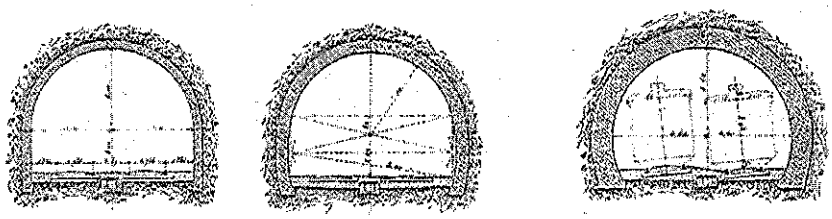
DESVIACION DE LAS TENSIONES EN TORNO A UN TUNEL, DEJANDO UNA ZONA DESCARGADA



Viajes de Agua

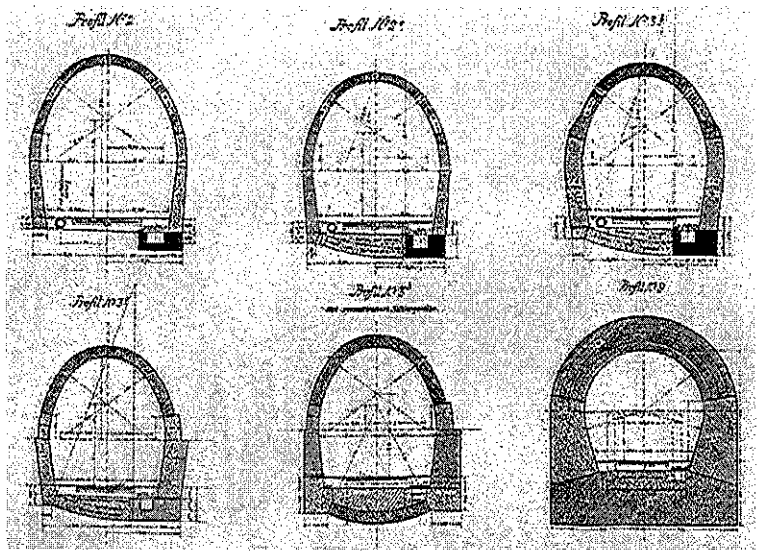
REGLAS DE DIMENSIONAMIENTO DE TUNELES EN TERRENOS PROBLEMATICOS
(G. Curioni, 1885)

TIPO DE TERRENO	ESPESOR (m)		
	Clave	**Arranques**	**Contrabóveda**
Arcilla media	0,65 – 0,90	0,85 – 1,10	0,50 – 0,75
Arcilla blanda	0,90 – 1,40	1,10 – 1,70	0,75 – 1,25
Arcilla muy blanda	1,40 – 2,00	1,70 – 2,50	1,25 – 1,40
Arena fluyente	0,60 – 1,00	0,60 – 1,25	0,40 – 0,75

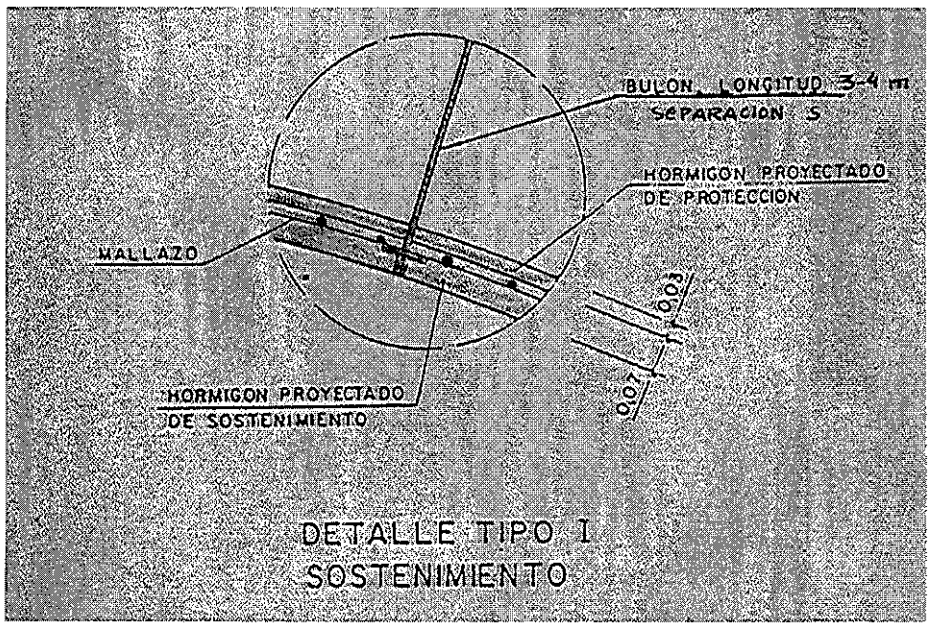


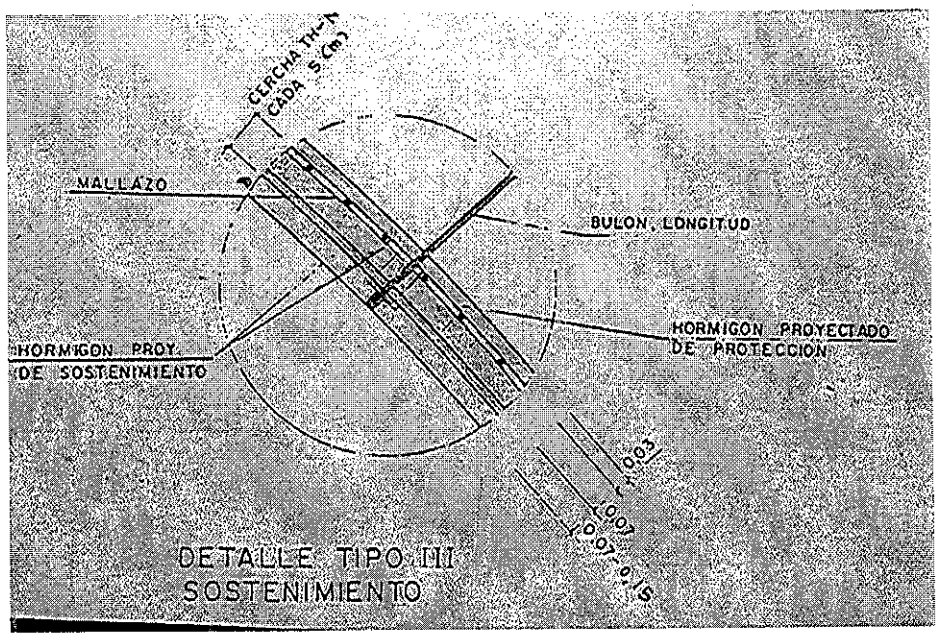
a) Terreno competente b) Terreno medio c) Terreno malo

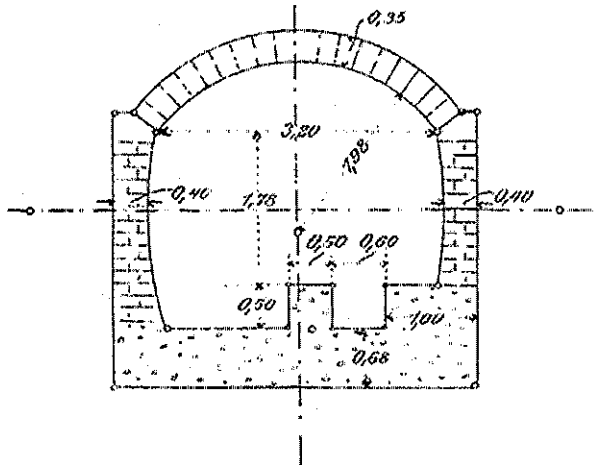
(Secciones utilizadas en el ferrocarril de los Pirineos, hacia 1860)



EVOLUCION DE LOS REVESTIMIENTOS EN FUNCION DE LA CALIDAD DEL TERRENO (TUNEL DEL SIMPLON) (Tunn. Swiz. 14)

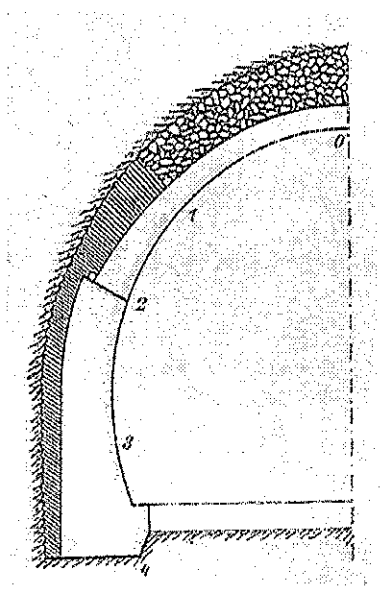






SECCION DEL TUNNEL II DEL SIMPLON, CON REVESTIMIENTO DE MAMPOSTERIA (KOMMERELL)

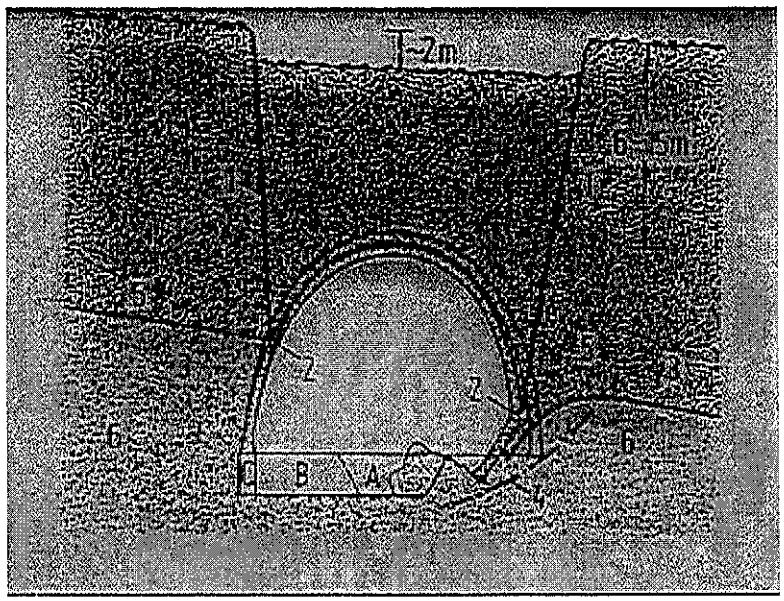
LA INTERACCION TUNEL-TERRENO



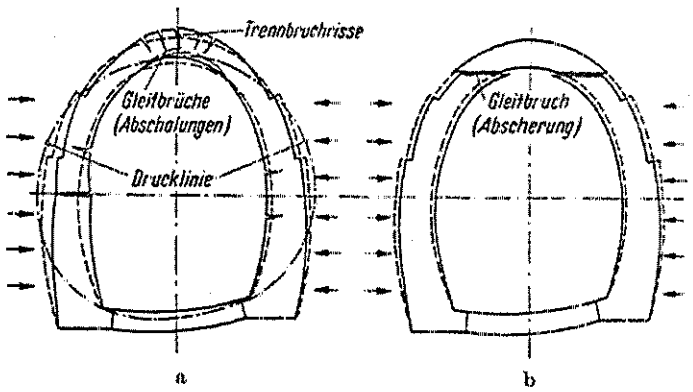
LOS CONCEPTOS DE DEFORMABILIDAD Y REACCION:

HAY QUE GARANTIZAR EL CONTACTO DEL REVESTIMIENTO CON LA ROCA EN HASTIALES (Puntos 1 a 4) PARA MOVILIZAR LA REACCION PASIVA

ES IMPORTANTE QUE NO SE DESPLACE EL PIE DEL HASTIAL (Punto 4)



ROTURA EN BLOQUES POR FALLO DE PIE DE HASTIAL



EFECTOS DE LOS EMPUJES HORIZONTALES SOBRE REVESTIMIENTOS RIGIDOS

Cuanto mas corto sea el periodo constructivo , menor será la presión actuante sobre el revestimiento

(Kommerell, 1912)

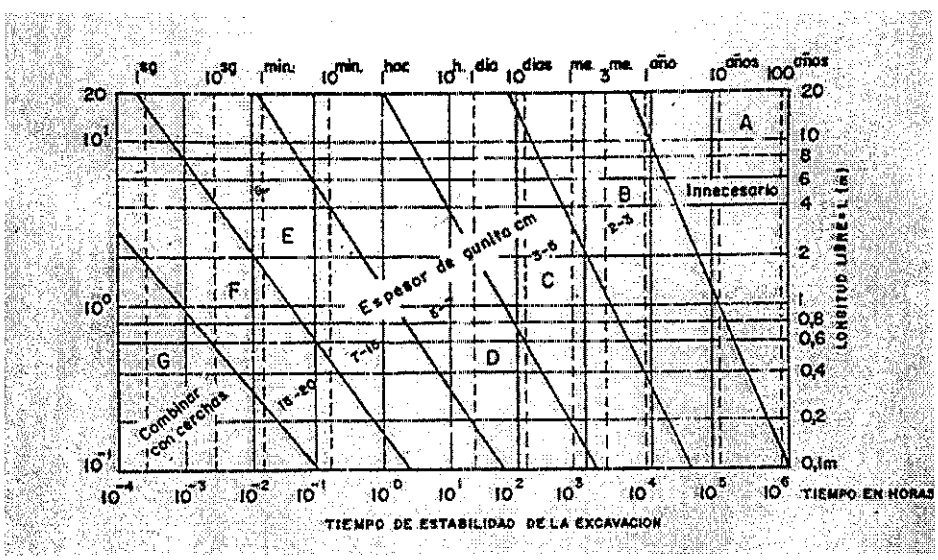
EL SISTEMA DE AVANCE EN BÓVEDA (TAMBIÉN LLAMADO MÉTODO BELGA) SE UTILIZA EN TERRENOS RELATIVAMENTE COMPETENTES.

LA CONSTRUCCION DE LOS HASTIALES Y LA CONTRABOVEDA PUEDE DIFERIRSE UN TIEMPO CONSIDERABLE, A VECES HASTA HABER CALADO EL TU NEL.

(Curioni, 1883)

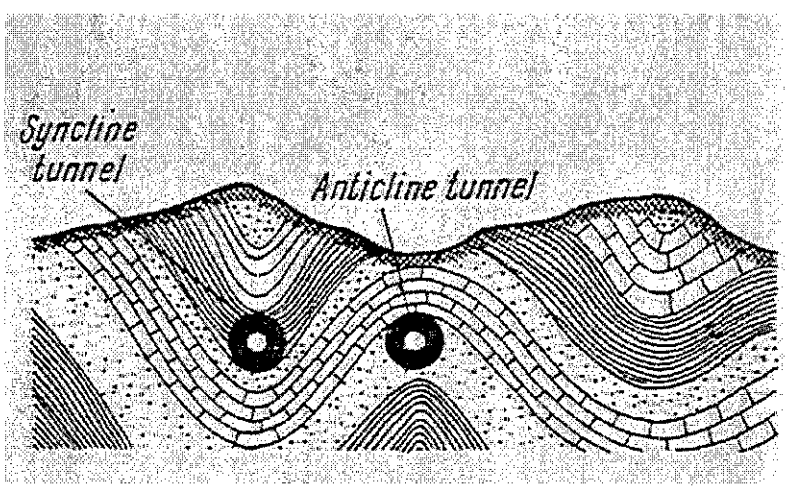
EL SISTEMA DE ATAQUE A PLENA SECCION (METODO INGLÉS O AUSTRIACO) SE EMPLEA EN TERRENOS BLANDOS QUE EMPUJAN

(Curioni, 1883)

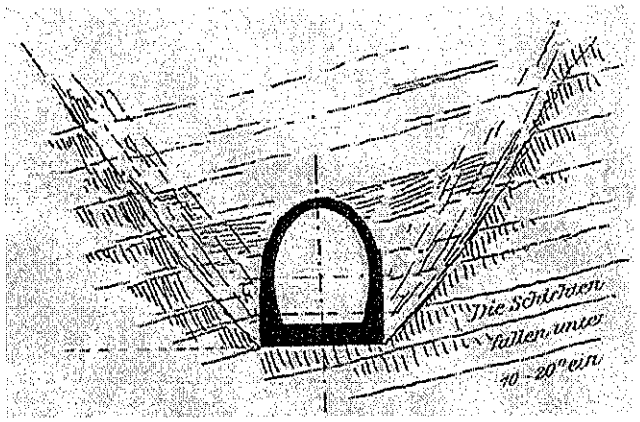


LA CLASIFICACION DE LAUFFER

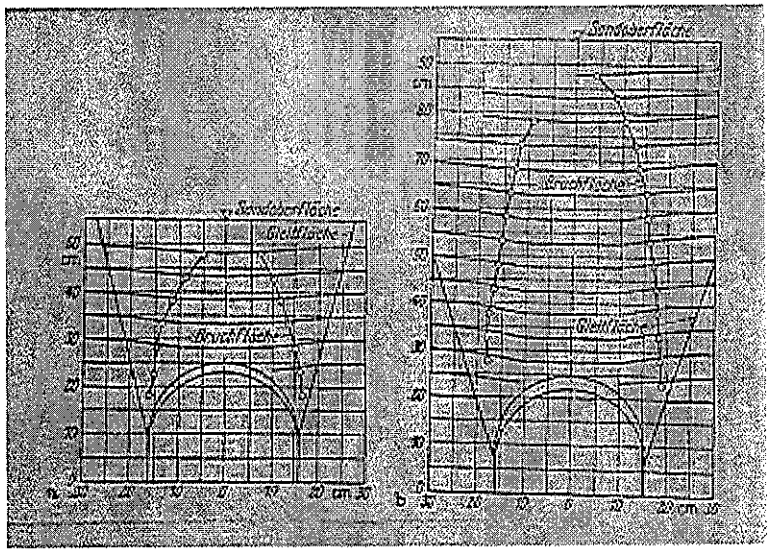
LA CONSIDERACION DE LA ESTRUCTURA GEOLOGICA



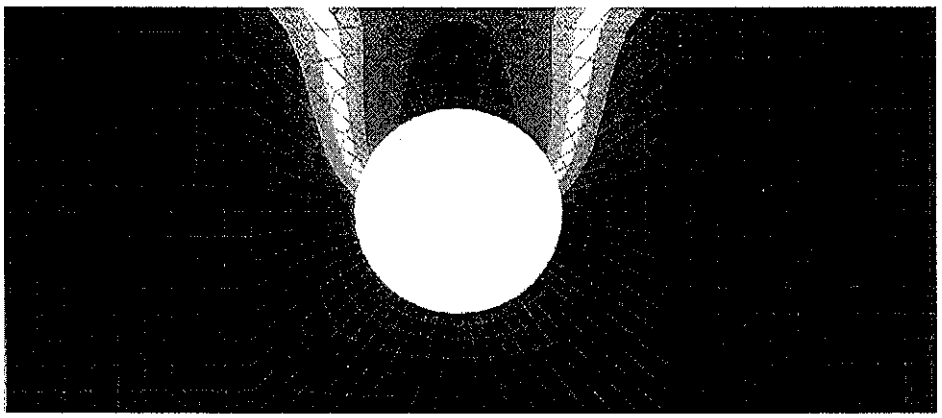
EL CONCEPTO ESTRUCTURAL:
"EN UN TERRENO PLEGADO EL TUNEL DEBE ENCAJARSE EN LAS FORMAS ANTICLINALES"



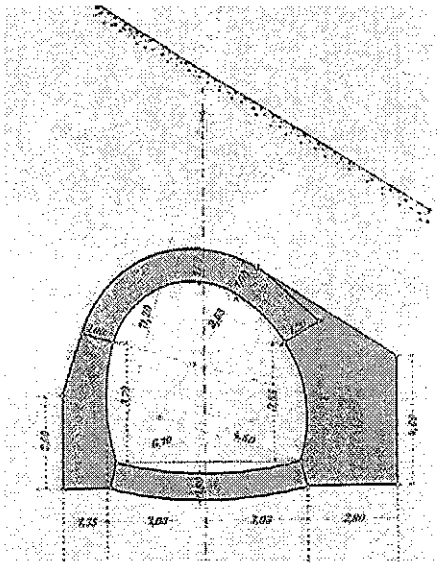
AFLOJAMIENTO PROGRESIVO DEL TERRENO EN TORNO A UN TUNEL HASTA LLEGAR A LA SUPERFICIE FINAL DE ROTURA (KOMMERELL, 1940)



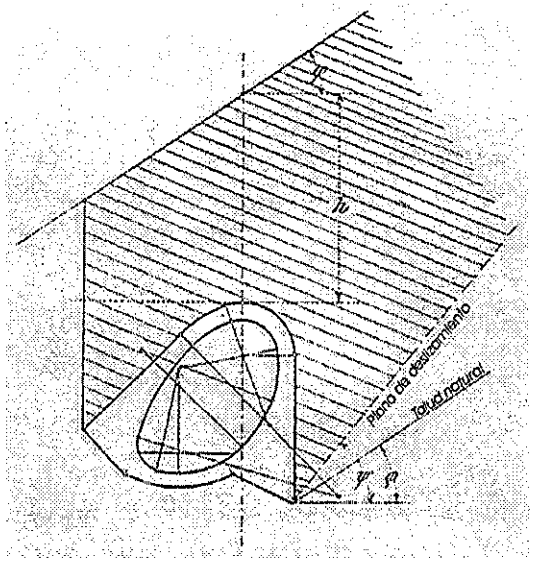
MODELIZACION DE SUPERFICIES DE ROTURA Y DE DESLIZAMIENTO



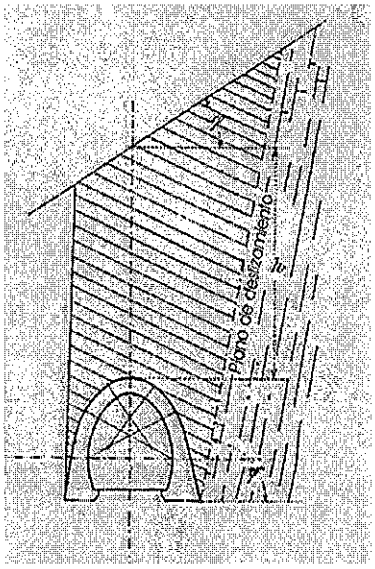
ROTURA "ABIERTA" EN UN TUNEL SOMERO



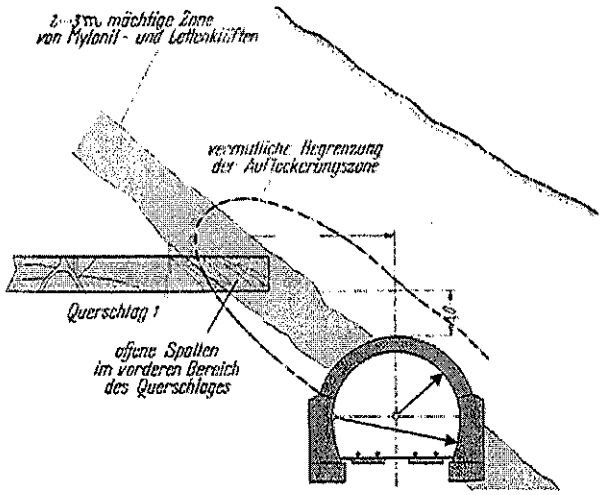
TUNEL DE DESVIO DE LA CENTRAL DE AMSTEG EN SUIZA (Studer, 1925)



SECCION ADAPTADA A EMPUJES ASIMETRICOS DE LADERA



HIPOTESIS DE CARGA ADAPTADA A LA ESTRUCTURA DEL MACIZO



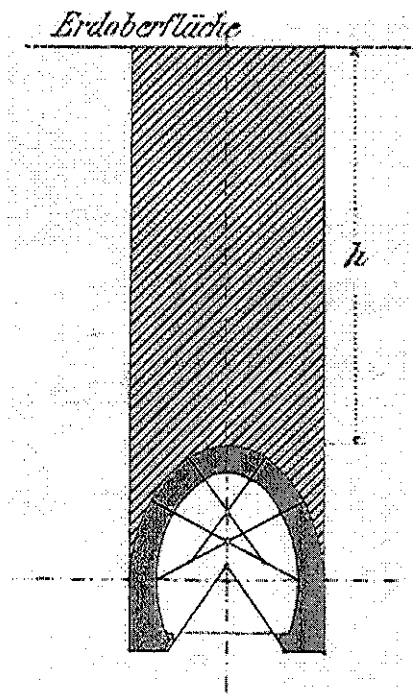
ZONA DE AFLOJAMIENTO Y EMPUJE ASIMETRICO SOBRE EL TUNEL DE PATSCHER, POR LA PRESENCIA DE UNA FALLA

LA ESTIMACION DE PRESIONES SOBRE EL REVESTIMIENTO

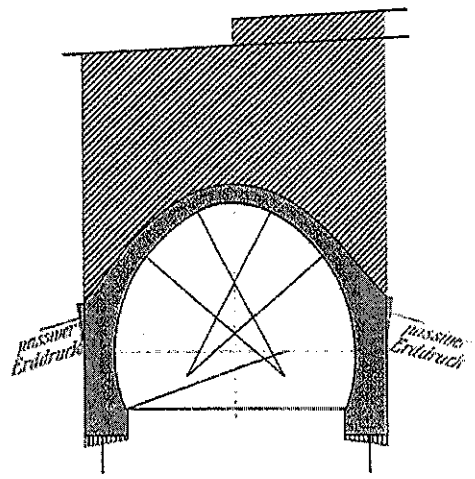
HEIM (1878):

"Podemos imaginar para cada roca una columna de terreno tan alta que su peso supere la resistencia de la roca..."

"Del mismo modo, en la corteza terrestre, la presión tiene que aumentar con la profundidad. Al no poderse deformar por simetría, un elemento de roca, bajo esta presión en todas direcciones, sufrirá una compresión y una disminución del rozamiento entre partículas, de forma que se producirá una plastificación sin rotura, del mismo modo que fluye el hielo en un glaciar".



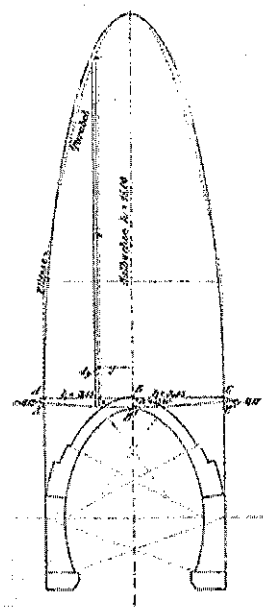
LA HIPOTESIS DE CARGA MAS SIMPLE



HIPOTESIS DE CARGA EN ROCA COMPETENTE

ESTIMACION DE PRESIONES (t/m^2) SOBRE TUNELES (Gröger, Praga, 1881)

TIPO DE TERRENO	CLAVE		SOLERA		HASTIALES	
	Galerías	Túnel	Galerías	Túnel	Galerías	Túnel
Arcilla arenosa	7	(7)	(4)	(4)	(3)	(3)
Arcilla compacta,con vetas de arena micácea, seca	28	36	16	(16)	10)	(10)
Arcilla blanda algo arenosa, húmeda	60	54	32	(32)	20	15



DEFINICION DE LA PARABOLA DE KOMMERELL, GENERADA POR LAS DEFORMACIONES VERTICALES A NIVEL DE CLAVE

LA BÓVEDA DE DESCARGA PARABÓLICA
(Kommerell, 1912)
h = 100 . flecha en clave / coeficiente de aflojamiento

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE DE AFLOJAMIENTO (%)
Suelos flojos o blandos	1 – 3
Suelos medios	3 – 5
Suelos duros (margas, gravas arcillosas)	6 – 8
Rocas blandas	8 – 12
Rocas duras	10 – 15

Tipo de roca	Carga de roca H_p(m)	RQD	C. L.*
1. Sana y competente	0	100	A
2. Sana, estratificada o esquistosa	0 a 0,5 B	≥30	A
3. Masiva, algo fracturada	0 a 0,25 B	100	B
4. Fracturada en bloques y lajas	(0,25 a 0,35) (B+H)	80	C
5. Muy fracturada	(0,35 a 1,10) (B+H)	50	D
6. Disgregada pero no alterada	1,10 (B+H)	20	E
7. Fluyente plásticamente (profundidad moderada)	(1,10 a 2,10) (B+H)	—	F
8. Id. a gran profundidad	(2,10 a 4,50) (B+H)	—	G

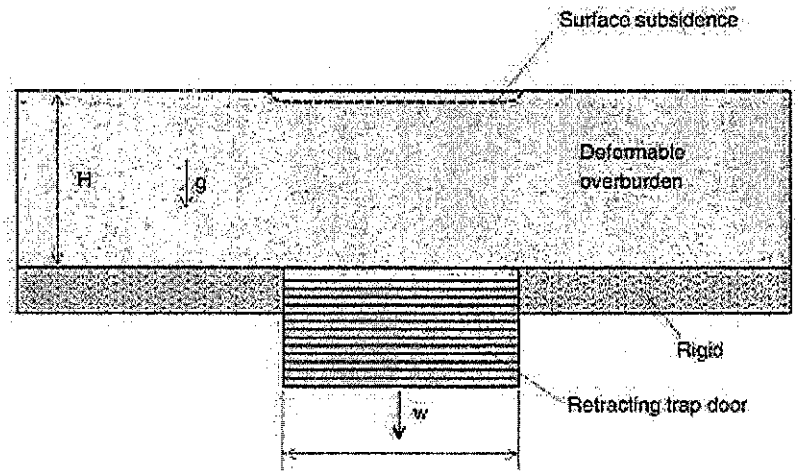
B = ancho del túnel
H = altura del túnel

En los casos 4 a 7 pueden reducirse las cargas al 50% por encima del nivel freático.

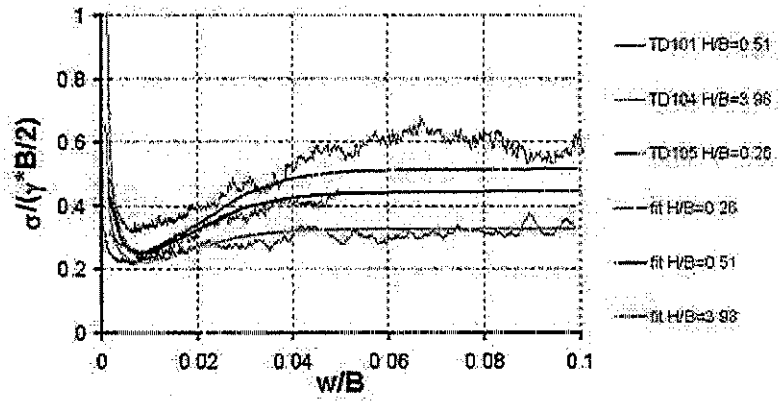
* C. L. = Clasificación de Lauffer (1958) (Correspondencia aproximada)

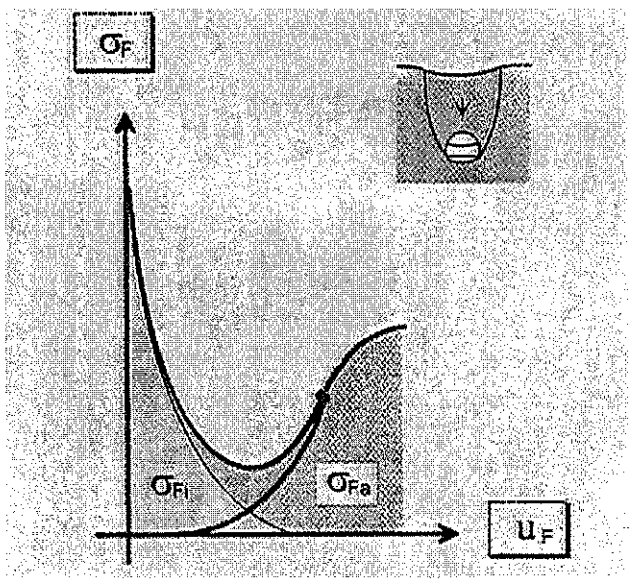
CARGA DE ROCA, SEGUN TERZAGHI

EL PROBLEMA DE LA TRAMPILLA (Trapdoor)

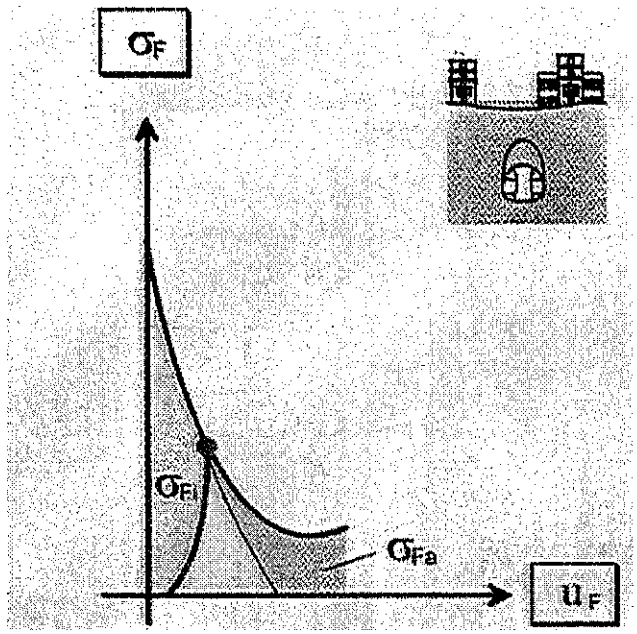


TENSIONES SOBRE LA TRAMPILLA EN FUNCION DEL DESCENSO DE LA MISMA

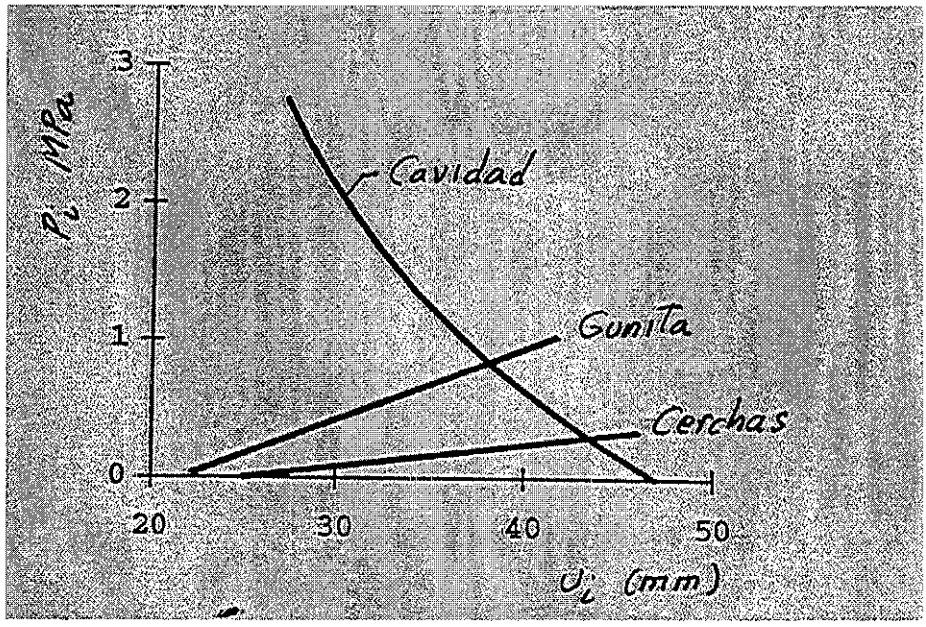




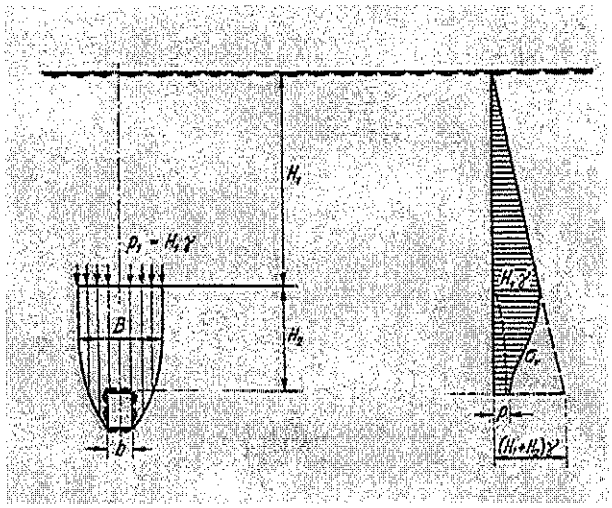
CURVA CARACTERISTICA DE UN TUNEL SOMERO



TUNEL SOMERO
CON CARGAS
DE EDIFICIOS
(T&T, Oct 1995)



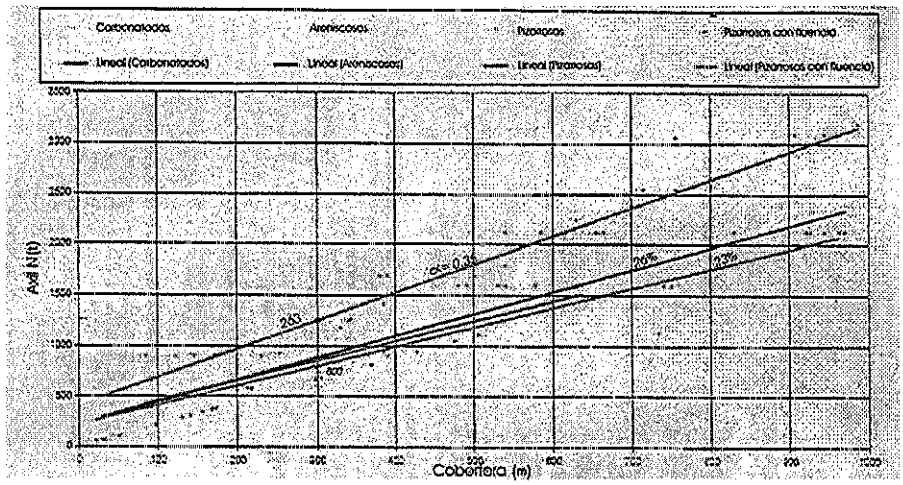
TEORIA DE TERZAGHI PARA TUNELES PROFUNDOS



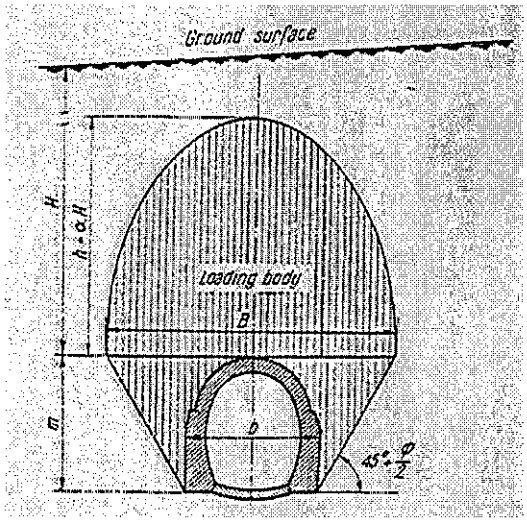
TEORIA DE TERZAGHI PARA TUNELES PROFUNDOS

$$\sigma_V = \frac{\gamma B_1}{K\,tg\varphi}\left(1 - e^{-K\,tg\varphi\frac{D_1}{B_1}}\right) + \gamma D_2\, e^{-K\,tg\varphi\frac{D_1}{B_1}}$$

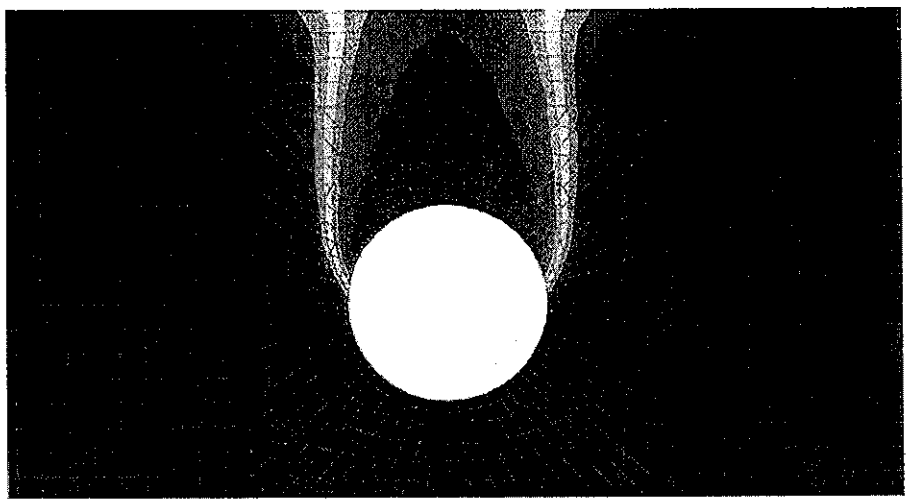
Para $z = \infty$ $\qquad \sigma_{V\infty} = \frac{\gamma B_1}{K\,tg\varphi}$



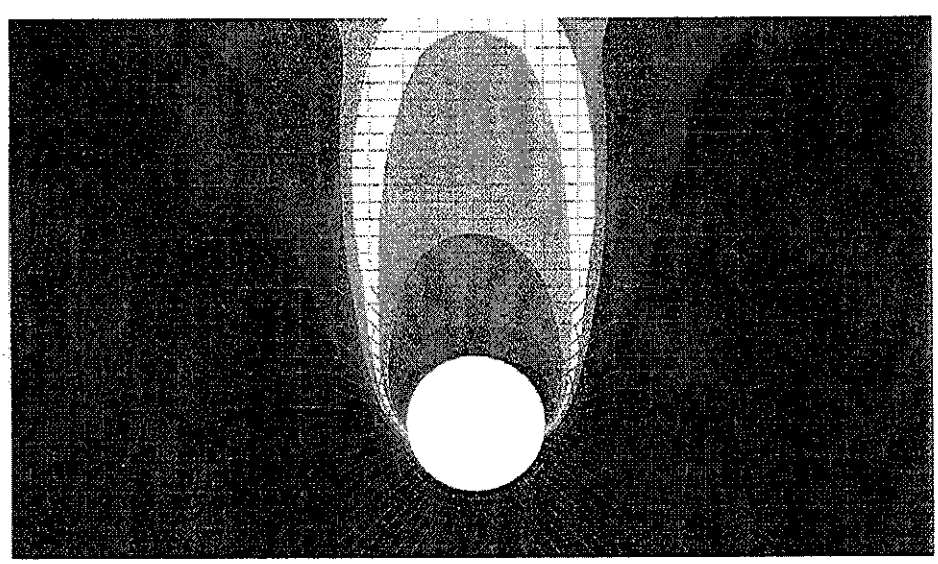
ESTIMACION DE PRESIONES SOBRE TUNELES EN PAJARES



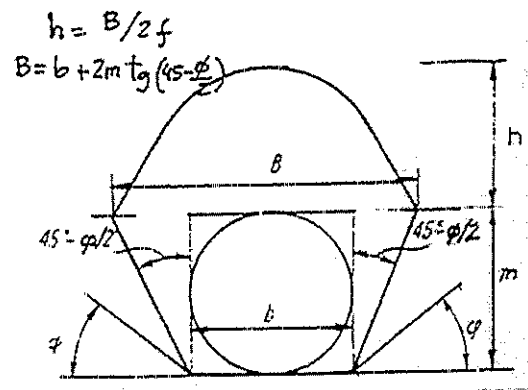
ESQUEMA DE CARGA DE BIERBÄUMER (1913)



ROTURA CASI AFLORANTE



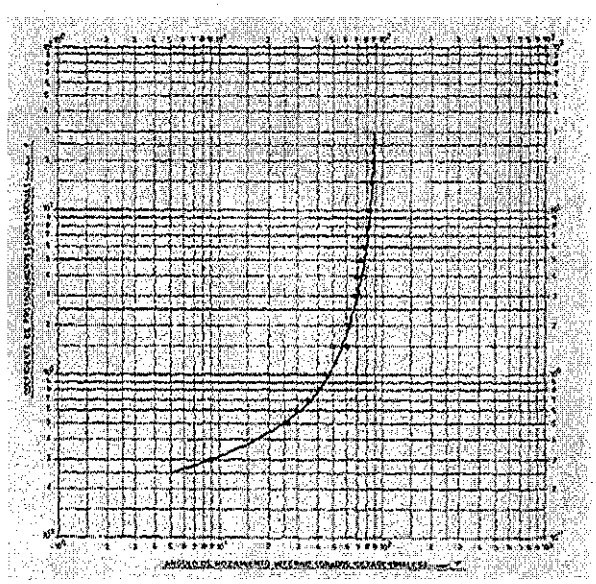
PARABOLAS DE DESCARGA, NO AFLORANTES



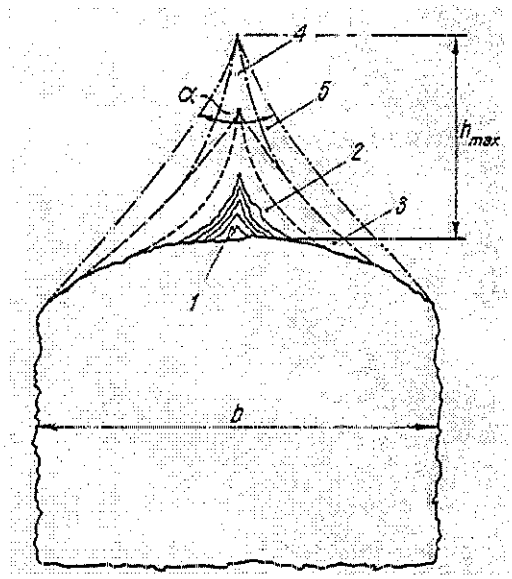
Vertical $p = \gamma h$

Lateral $q = \gamma (h + 0{,}5\ m)\ tg^2 (45 - \phi/2)$

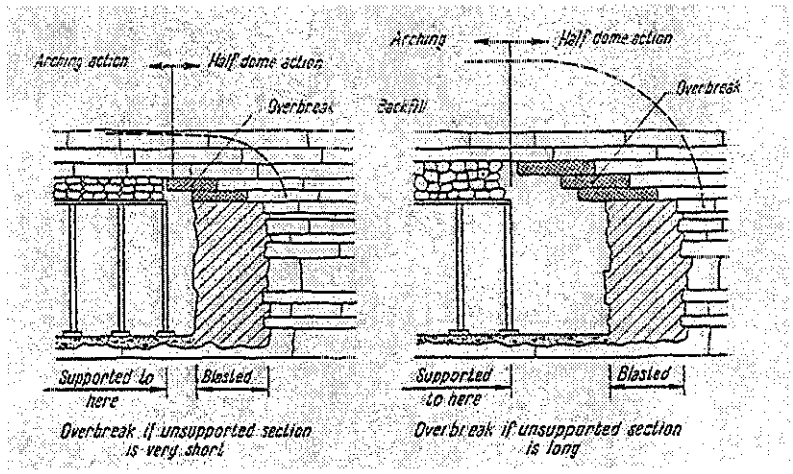
PROTODYAKONOV (Norma rusa SNIP II-D3-62)



RELACION ENTRE EL ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO Y EL FACTOR *f* DE PROTODYAKONOV



DESARROLLO DE UNA "CAMPANA" EN UN TECHO CON POCA CURVATURA



AUMENTO DEL VOLUMEN DE DESPRENDIMIENTO CON LA LONGITUD DE PASE

LA EVOLUCION DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

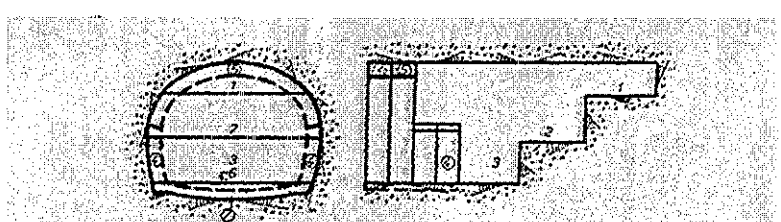


FIG. 337. Ataque a plena sección con varios pisos.
1, escalón superior; 2, escalón intermedio; 3, escalón inferior; 4, pilares; 5, bóveda; 7, solera (eventualmente).

METODO INGLES A PLENA SECCION

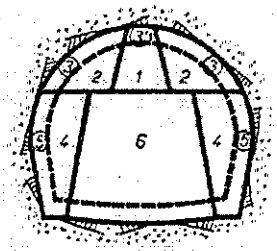


FIG. 342. Método de la galería de clave en mal terreno. 1, galería de clave; 2, ensanches de la bóveda; 3 y 3', bóveda; 4, excavación de los muros; 5, muros; 6, destroza y solera (eventualmente)

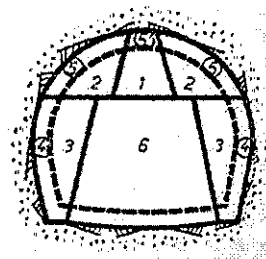


FIG. 343. Método de la galería de clave en mal terreno (variante). 1, galería de clave; 2, excavaciones de la bóveda; 3, excavación de los muros; 4, muros; 5 y 5', bóveda; 6, destroza y solera (eventualmente)

METODO BELGA

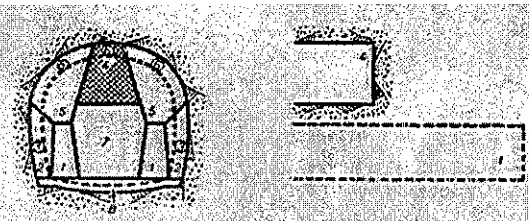
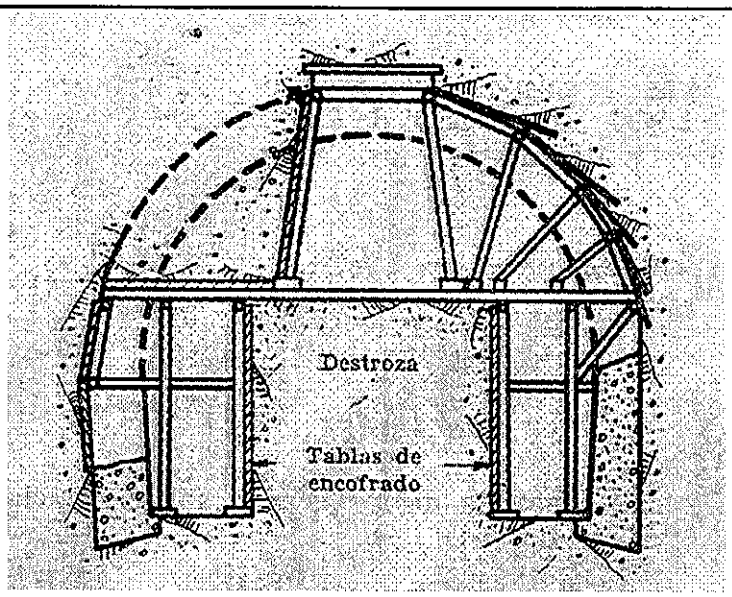
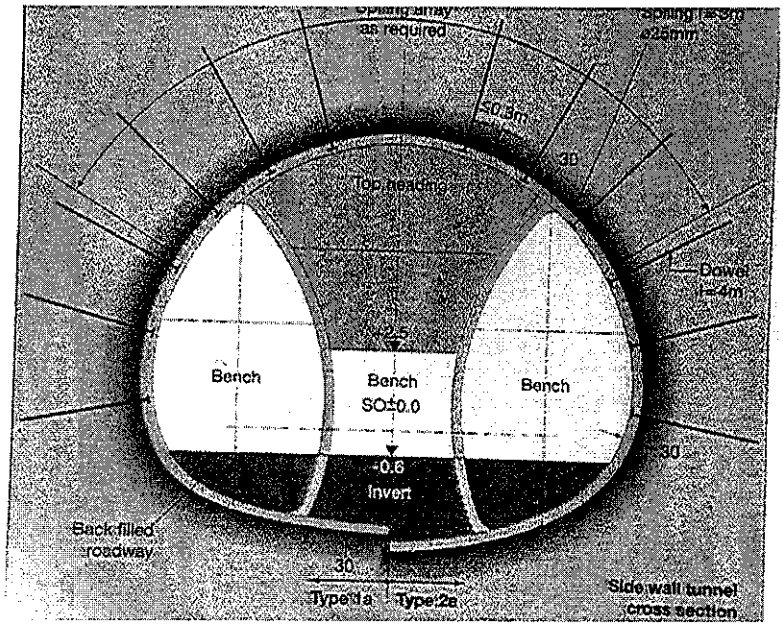


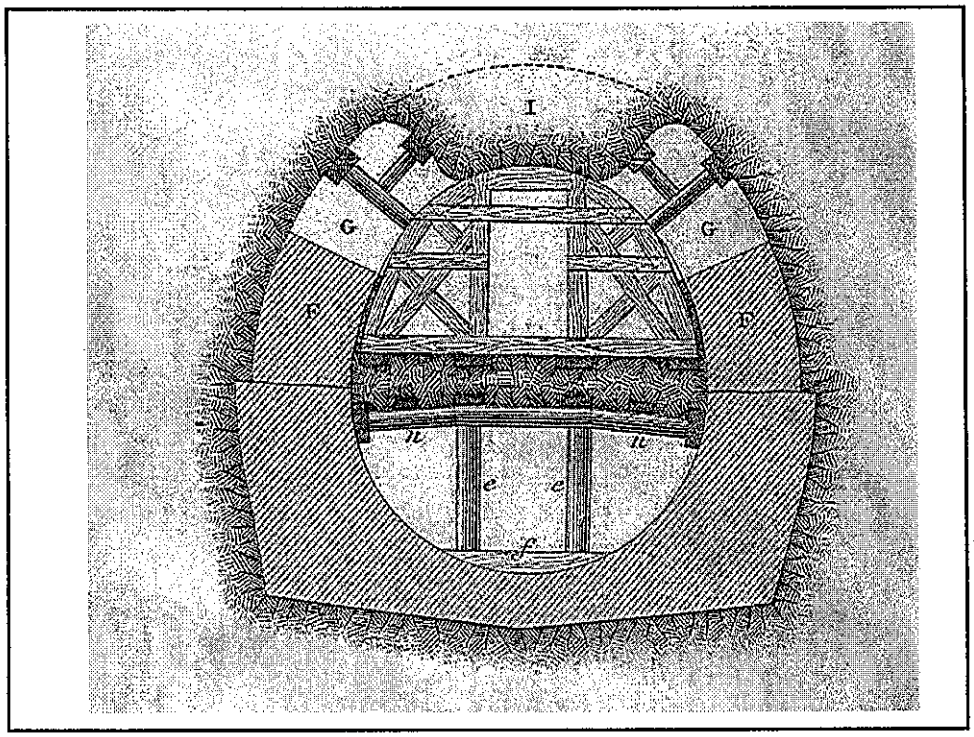
FIG. 347. Método de las tres galerías.
1, galerías de base; 2, ensanches de los muros; 3, muros; 4, galería de clave; 5, excavación de la bóveda; 6 y 6', bóveda; 7, destroza; 8, solera (eventualmente)

METODO ALEMAN (3 GALERIAS)



ENTIBACION DEL METODO ALEMAN




I
G
G
F
F
e
e
f