

Máster Universitario en Túneles y Obras Subterráneas



ÁREA: B
MÓDULO: DISEÑO Y PROYECTO DE TÚNELES

PRÁCTICA SELECCIÓN DEL MÉTODO CONSTRUCTIVO

Ponente: Luis Sopena
Prof. Dr. I.C.C.P.
Día: 25/04/07
Hora: 19:15 a 20:15

MASTER DE TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS

ABRIL 2007

PRÁCTICA DE SELECCIÓN DEL MÉTODO CONSTRUCTIVO

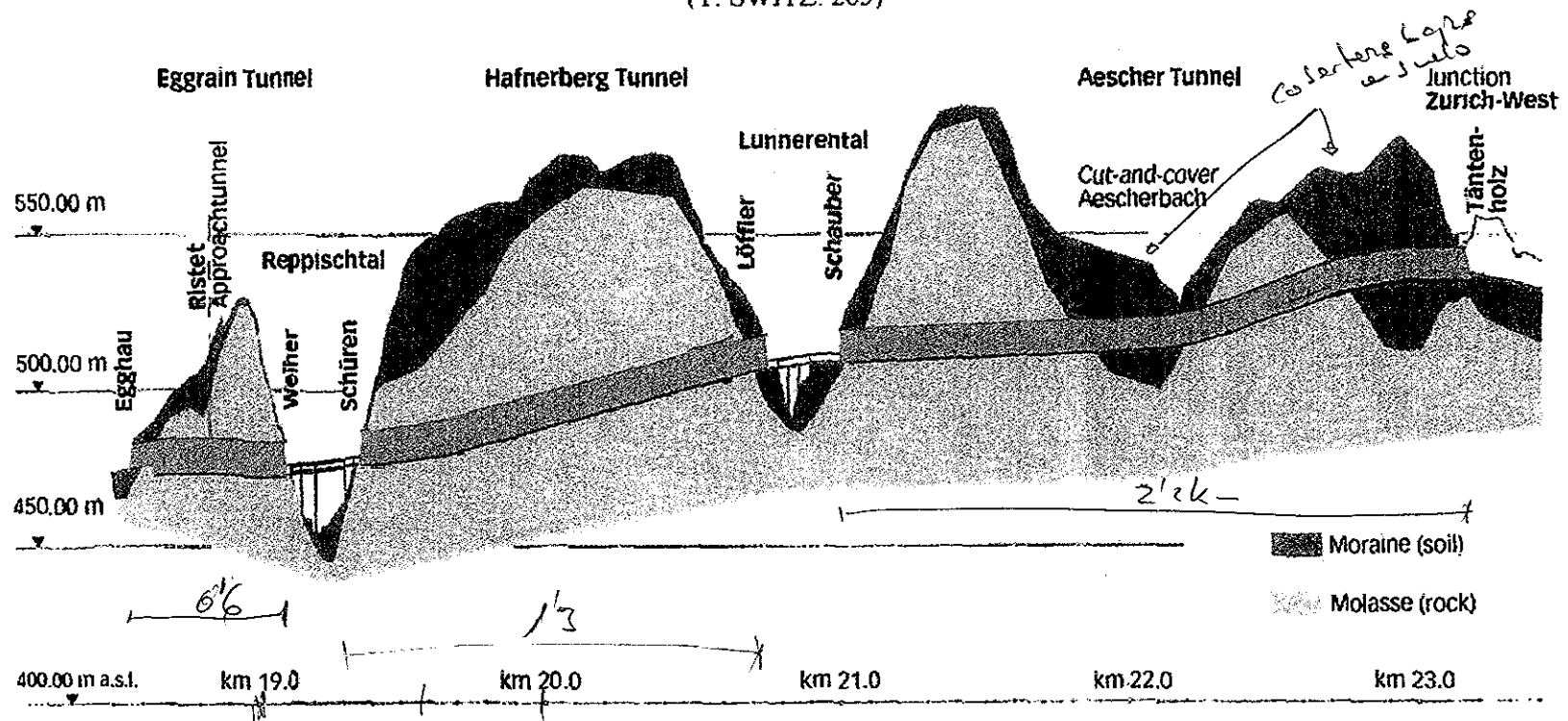
Luis M Sopena Mañas
Prof. Dr. Ingeniero de Caminos

ENUNCIADO

Dados los perfiles geológico-geotécnicos y las rasantes dibujadas en las figuras adjuntas, justificar razonadamente el tipo o tipos de sistemas constructivos para los túneles indicados.

BY-PASS DE BIRMENDORF (ZURICH)

(T. SWITZ. 263)



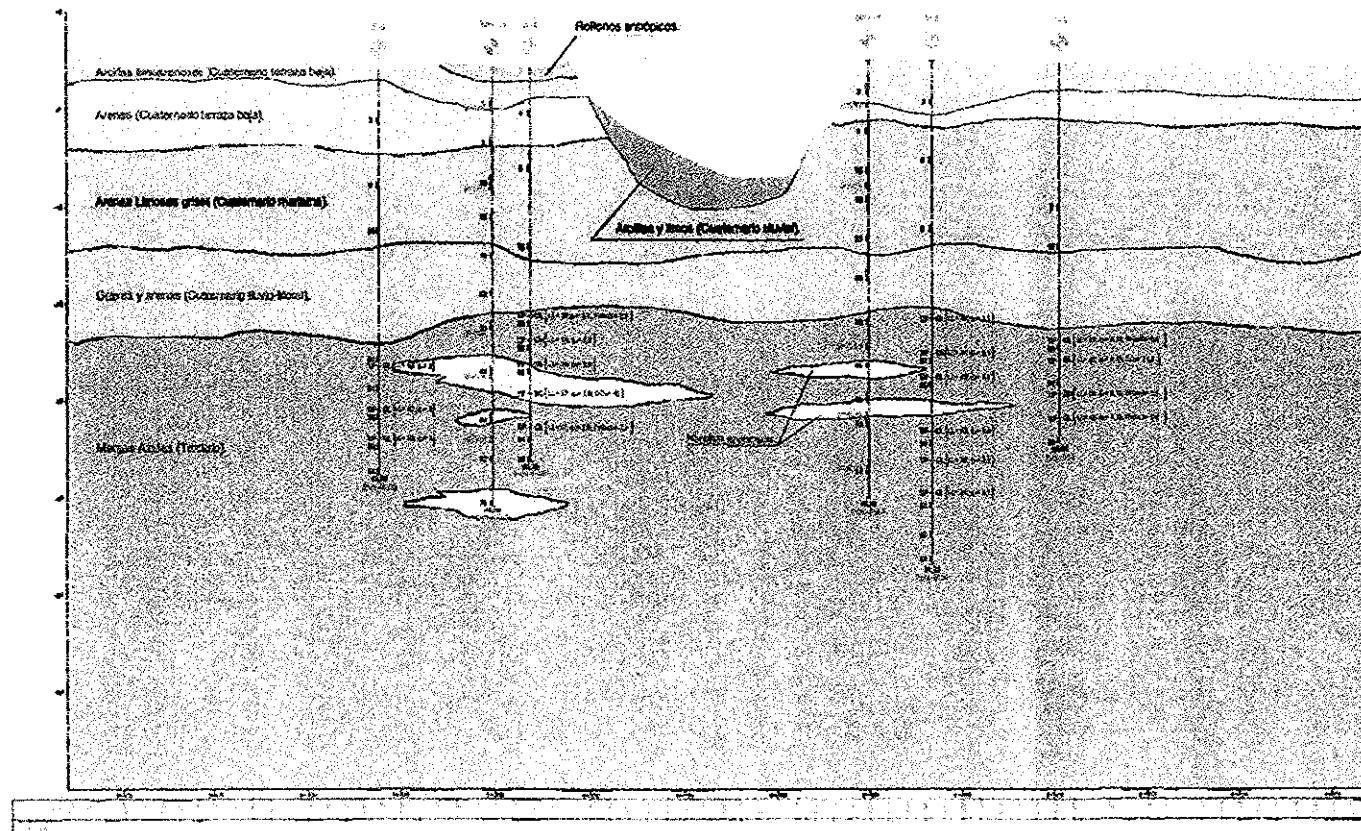
Se quieren encajar 6 carriles (ida y vuelta) de carretera. Hay enlaces en los extremos y en el centro.

Discutir soluciones y métodos constructivos.

La morrena es una mezcla de arenas, arcillas, gravas y bloques, con agua.

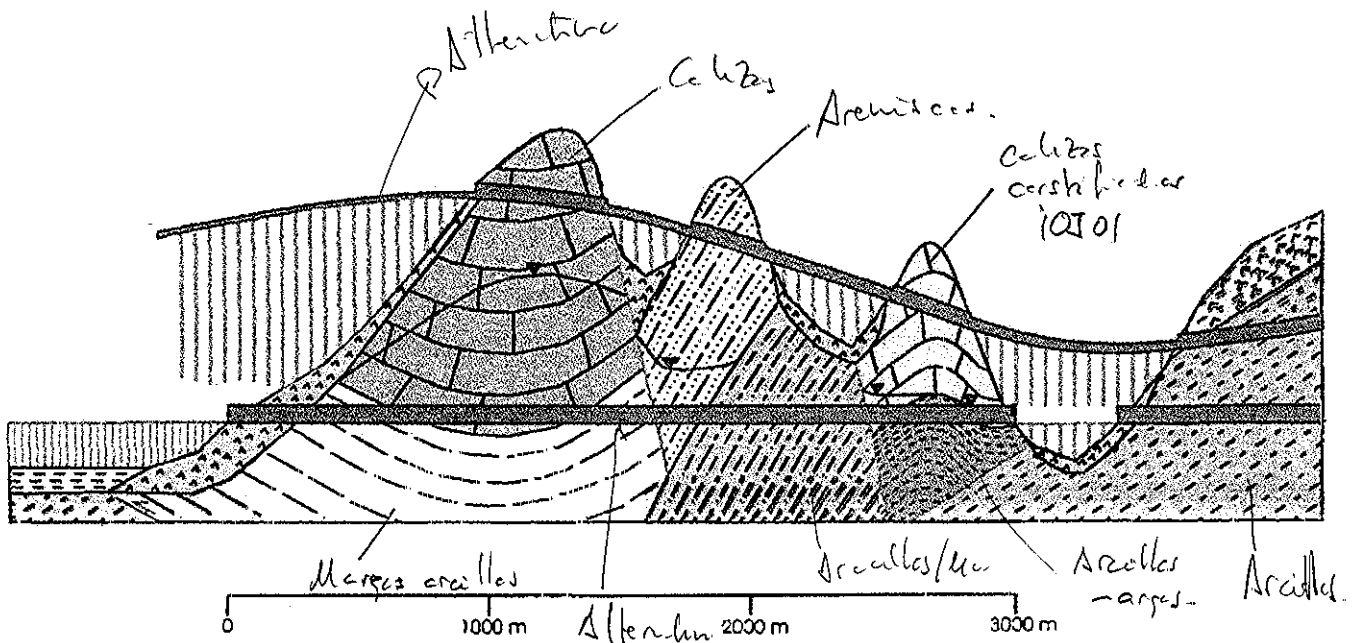
La molasa incluye areniscas, limolitas, margas, muy competentes.

CRUCE BAJO EL RIO GUADALQUIVIR



Se quiere ejecutar un túnel carretero de 3 carriles + arcenes y aceras. Analizar y discutir tipología de secciones y posibles soluciones constructivas (túnel convencional, túnel por tuneladora, cut & cover, etc. Detalles de trazado.

2



	Depositos aluviales		Areniscas		Arcillas y margas		Nivel piezométrico
	Depositos coluviales		Calizas karstificadas		Tías: Arcillas con yesos		Cobalgamiento
	Calizas		Arcillas y margas		Tías: Arcillas abigarradas		Fallas
	Margas y arcillas						

MASTER DE TÚNELES

MÉTODO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

PRÁCTICA

ABRIL 2007

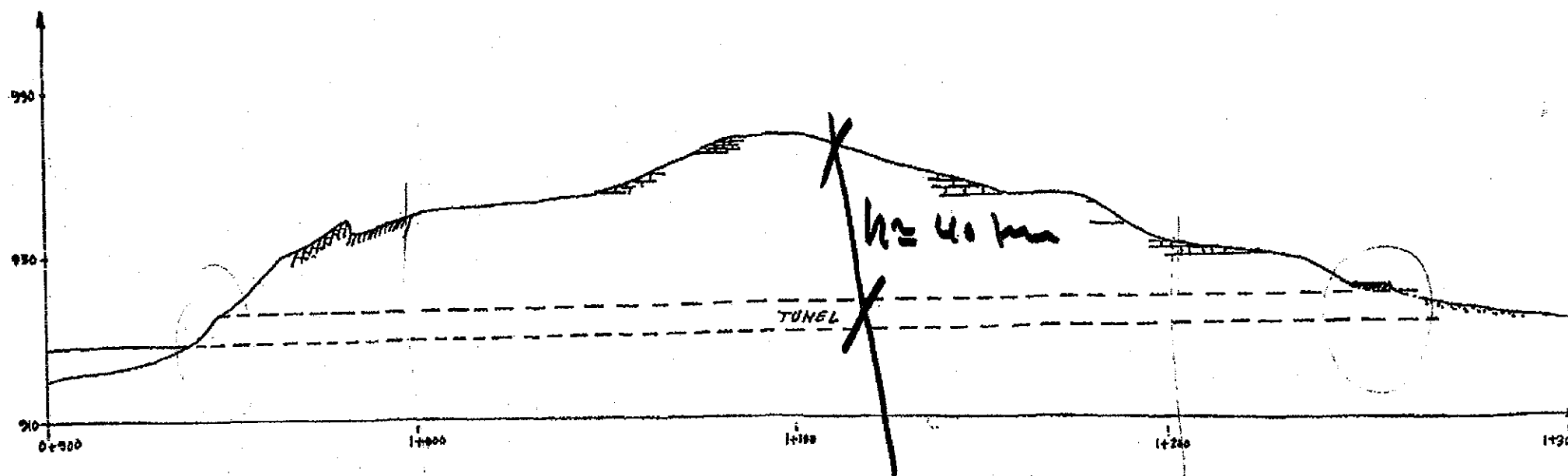
Luis M Sopeña Mañas
Prof. Dr. Ingeniero de Caminos

ENUNCIADO:

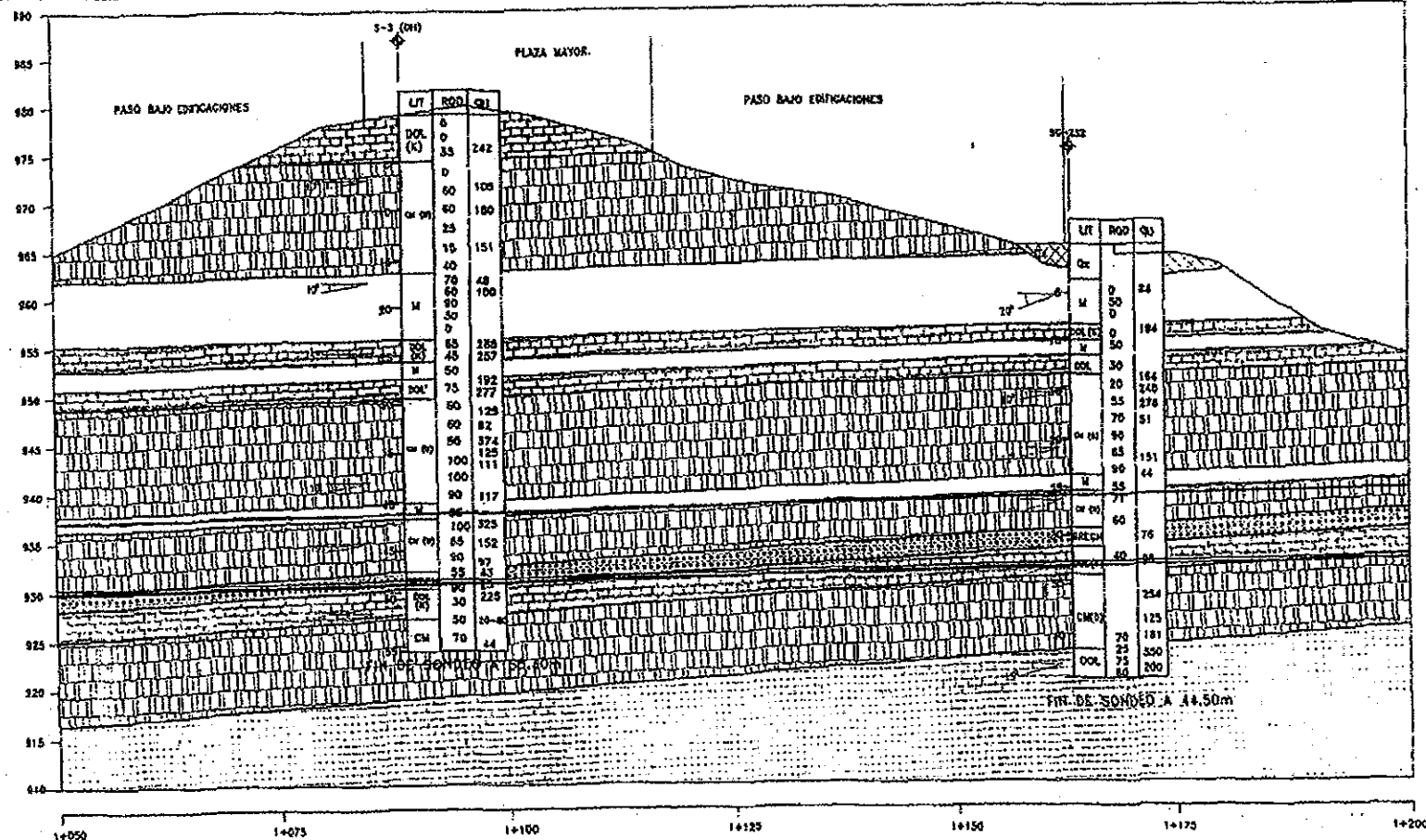
En el perfil y tipo de terreno definido en las figuras adjuntas (calizas y margocalizas, de calidad baja, sin agua) y a partir de los índices de clasificación geomecánica que se definen, determinar:

- el diámetro equivalente de la sección geométrica proyectada
- los parámetros resistentes medios del macizo rocoso
- una sección tipo de sostenimiento de acuerdo a la clasificación de Barton (gunta, bulones, longitud de pase).
- módulo de deformación medio representativo del macizo rocoso
- para una cobertera de unos 40 metros, presión de sostenimiento mínima necesaria
- lo mismo, pero para una cobertera de unos 200 metros
- si para la cobertera de 200 metros se necesita limitar los movimientos radiales a 5 mm, determinar la presión de sostenimiento necesaria
- determinar el espesor de la corona plastificada si en este último caso se aplica una presión de sostenimiento de 20 kp/cm².

TUNEL 1



TUNEL ①



DISTANCIA AL ORIGEN	1+050	1+200
DISTANCIA PARCIAL	150	
LITOLOGIA	VERDE, MARGOLITAS O CALIZAS MARGOLITAS CON NIVELES ESCURRICEROS O DOLOMITAS. RMR = 33-40 Q=0-4	ALTERNANCIA METRICA DE MARGOLITAS BREGHA CALIZARIA Y CALIZAS DOLOMITIZADAS CON FENOMENOS KARSTICOS. RMR = 50-55 Q=0-4
FRACTURACION	Serie M 50° E / 10° S J1: N-5/20° W J2: 1/70	30° N 50° E / 10°-20° S J1: N-5/30°-40°
CLASIFICACION	SECO	SECO
AGUA		
EXCAVACION	A	
SOSTENIMIENTO	S1	
OBRAS ESPECIALES		
TRATAMIENTOS		

T-1

[Handwritten signature]

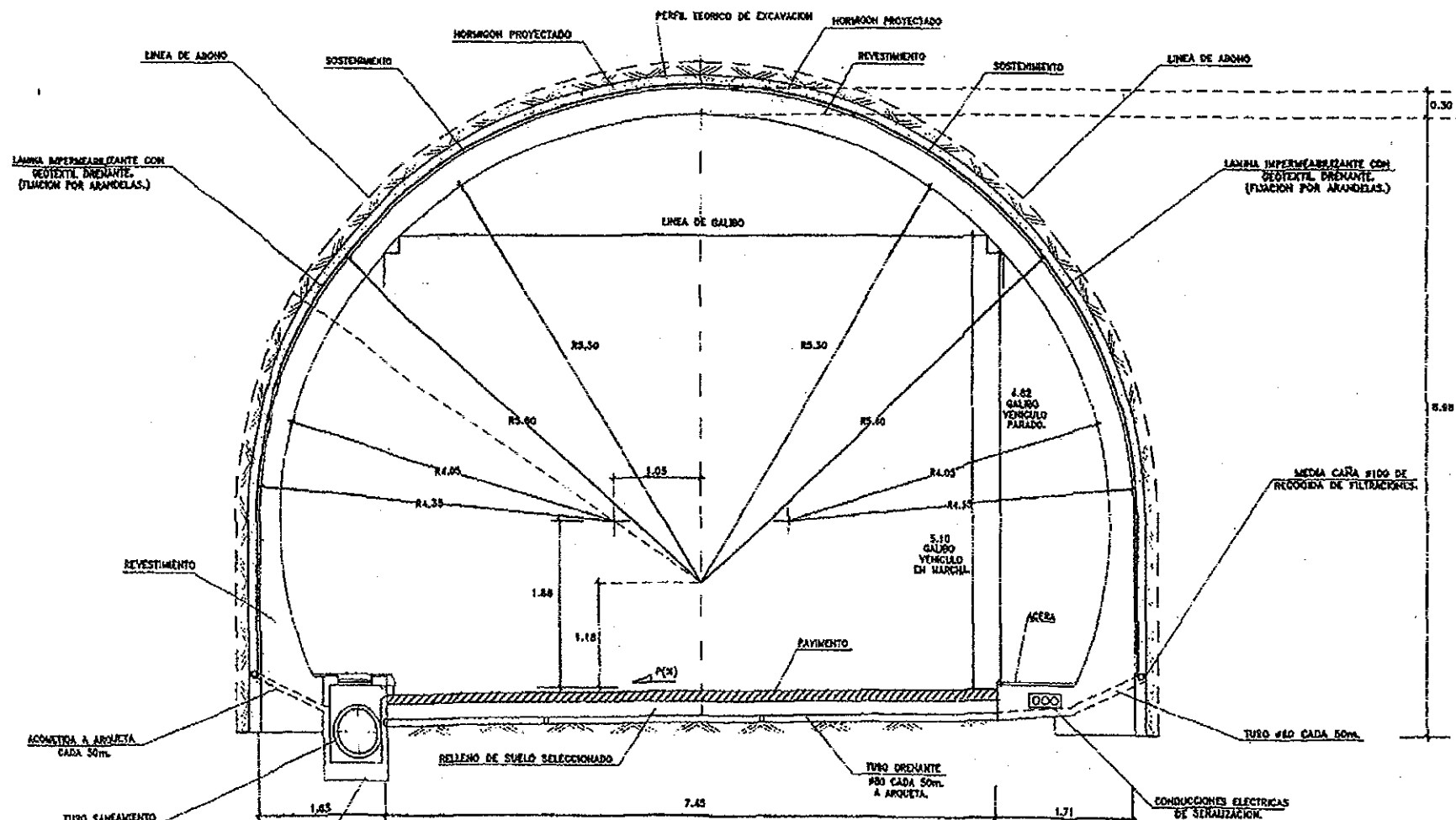
LEYENDA

	DOL - CALIZAS DOLOMITIZADAS O DOLOMAS MASIVAS Y COMPACTAS. Fm. DOLOMAS DE SEPVEDIA Y Fm. MONTEJO DE LA VEGA. (TIPO B).		M - MARGAS COMPACTAS DE OTERAS TONALIDADES ($q_u < 100 \text{ kg/cm}^2$). Fm. VALLE DEL TABLADELLO.
	DOL (K) - CALIZAS DOLOMITIZADAS DE ESPESOR METRICO Y PARCIALMENTE KARSTIFICADAS. Fm. VALLE DEL TABLADELLO. (TIPO A).		MR - ZONA MICRITICA, BRECHA CEMENTADA DE CANTOS CENTIMETRICOS EN UNA MATRIZ LIMARCIOSA ($q_u = 25-35 \text{ kg/cm}^2$) (BRECHA DE FALLA).
	CM (D) - CALIZAS MAROGRAS O MICRICALIZAS ($q_u = 100-200 \text{ kg/cm}^2$) CON NIVELES DECOMETRICOS DE CALIZA DOLOMITIZADA INTERCALADA ESPORADICAMENTE $< 20\%$ ($q_u > 200 \text{ kg/cm}^2$). Fm. VALLE DEL TABLADELLO.		GA - RELLENO ANTROPICO.
	BRC - BRECHA CALCAREA CEMENTADA Y SOLDADA CON UNA MATRIZ LIMARCIOSA ($q_u = 30-75 \text{ kg/cm}^2$). Fm. VALLE DEL TABLADELLO.		Qa - SUELO ELUVIAL DE ALTERACION.

SIMBOLOGIA

	20° BUTAMIENTOS MEDIDOS EN TESTIGO ROCA.		NF Pie. PIEZOMETRO MEDIDO EN SONDEO.
	CONTACTO LITOLÓGICO.		S-1 SONDEO MECÁNICO A ROTACION.
(K)	NIVEL KARSTIFICADO.		
(D)	NIVELES DECOMETRICOS DE DOLOMAS.		
	FALLA.		PS-2 PERFOR. SISMO.
(DH)	DELTAO DOWN-HOLE.		

T-1



SECCION TIPO TUNEL PARA TRAFICO RODADO. DEFINICION GEOMETRICA

ESCALA: 1/25

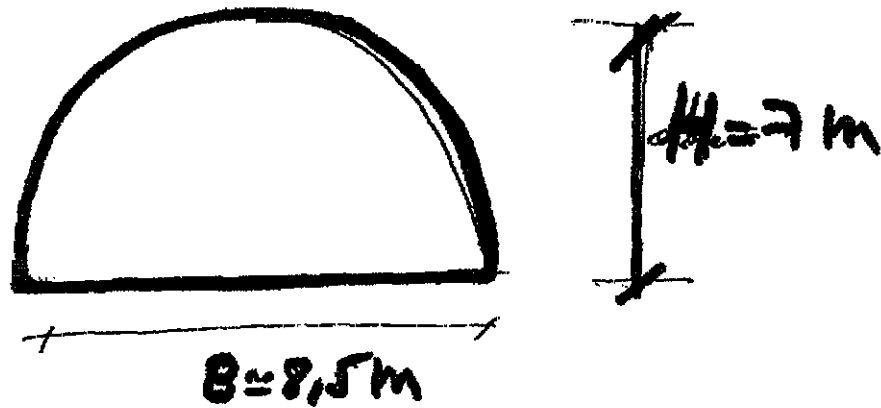
ELEMENTO	CARACTERISTICAS DE MATERIALES							
	HORMIGON				ACERO			
	TIPO	CONTROL	Y _c	Y _t	TIPO	CONTROL	Y _c	Y _t
HORMIGON	M-250	NORMAL	1.50	204-200	NORMAL	1.15	NORMAL	1.10
CUNTA	54x730	NORMAL	1.50	204-200	NORMAL	1.15	NORMAL	1.10
ACERO ESTRUCTURAL	-	-	-	-	A-42	NORMAL	-	-

T-1

TÚNEL ①

①

SECCIÓN TÍPICA MEDIA



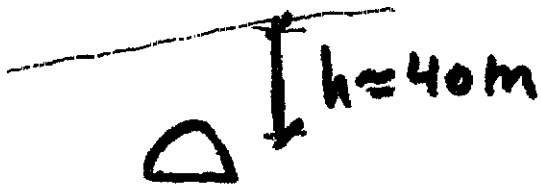
TERRENO

MARGAS - MARGO CALIZAS : $RMR \approx 45-35$

NO AGUA

ROCA TIPO III (IV)

$$ESR = 1,3$$



$$Q = 1,1 - 1,0$$

$$Dependencia = \frac{B}{ESR} = \frac{8,5}{1,3} \approx 6,5m$$

$$\sigma_{cm} \approx 40 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$K_p = \frac{1}{2} \gamma^2 (45 + \varphi(2)) = 3$$

ROCA MALA A MUY MALA

(2)

Longitud Bujes = 2,6 m

Soportamiento = 55-56

Junta + Bujes

Apertura bujes: 1,7 - 1,9 metros

Espejo junta : 90 - 120 mm

Vara libre máxima = $S = 2 \cdot ESR \cdot Q^{0.4} =$
 $= 2,5 \text{ metros}$

$E_{cm} = 77.000 - 80.000 \text{ Kp/cm}^2$

Cobertura = 40 mm $\Rightarrow P_0 = \gamma H = 2 \text{ t/m}^3 \cdot 40 \text{ mm} =$
 $= 80 \text{ t/m}^2 = 8 \text{ Kp/cm}^2$

$$P_c \geq \frac{2 \cdot 8 - 40}{1+3} \Rightarrow \underline{\text{negativo}}$$

$$P_c \geq \frac{2 P_0 - \sigma_{cm}}{1 + K_p}$$

No necesita
interarmado

(3)

Si $C_{abst} = 200 \text{ m}$

$$P_0 = \gamma H = 2 \text{ t/m}^3 \cdot 200 \text{ m} = 400 \text{ t/m}^2 = 40 \text{ Kp/cm}^2$$

Presión de sostenimiento necesaria

$$P_i \geq \frac{2 P_0 - \sigma_{cm}}{1 + K_p} = \frac{2 \cdot 40 - 40 - \sigma_{cm}}{1 + 3} \approx 10 \text{ Kp/cm}^2$$

Si $\sigma_{cm} = 60 \Rightarrow P_i = \frac{2 \cdot 40 - 60}{1 + 3} \approx 5 \text{ Kp/cm}^2$

Coeficientes radiales (elásticos)

$$U_{i,r} = \frac{R (1 + \nu)}{E} (P_0 - P_i)$$

$$U_{i,r} \leq (0,5\% - 1\%) D = (0,25\% - 0,5\%) R$$

$$D = 2 R = 6,5 \text{ m.}$$

$$E = 10.000 \text{ Kp/cm}^2$$

$$P_0 = 40 \text{ Kp/cm}^2$$

Si $U_{i,r} \leq 5 \text{ mm} \Rightarrow 5 \times 10^{-3} = \frac{6,5/2 \cdot (1 + 0,3)}{10.000} (40 - P_i)$

$$\frac{50 \cdot 2}{6,5 \cdot 1,3} = 40 - P_i \quad \left| \quad P_i \geq 40 - 11,8 = \underline{\underline{28,16 \text{ Kp/cm}^2}} \right|$$

(4)

Radio de plasticación

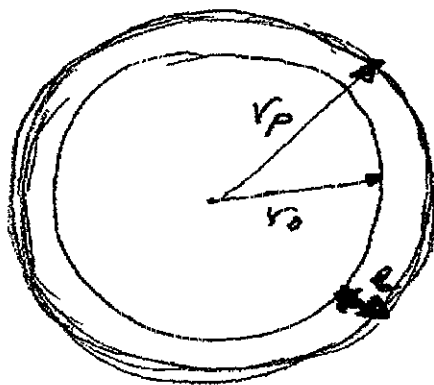
$$V_p = R \left[\frac{2[(K_p - 1)P_o + \sigma_{cm}]}{(1 + K_p)(K_p - 1)P_i + \sigma_{cm}} \right]^{\frac{1}{K_p - 1}}$$

$$R = 6,5/2 \text{ m.} \quad K_p = 3 \quad \sigma_{cm} = 40 \text{ Kp/cm}^2$$

$$P_i = 20 \text{ Kp/cm}^2 \quad P_o = 40 \text{ Kp/cm}^2$$

$$V_p = \frac{6,5}{2} \left[\frac{2[2 \cdot 40 + 40]}{4 \cdot 2 \cdot 20 + 40} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\boxed{V_p = \frac{6,5}{2} \sqrt{\frac{240}{200}}} = \frac{6,5}{2} \cdot 1,1 = \underline{\underline{3,56 \text{ m}}}$$



$$V_o = 3,25 \text{ m}$$

$$V_p = 3,56 \text{ m}$$

$$\boxed{e_p = 0,31 \text{ m}}$$

ESPEZOR DE CORONA
PLASTIFICADA

CURVAS CARACTERISTICAS

$$p_0 = \gamma H$$

$$p_i \geq \frac{2 p_0 - \sigma_{cm}}{1 + K_p}$$

siendo σ_{cm} la resistencia a compresión del macizo rocoso
 $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$ (criterio de Mohr-Coulomb)

Corrimientos radiales

$$u_{ie} = \frac{r_0 (1+\nu)}{E} (p_0 - p_i)$$

Radio de plastificación:

$$r_p = r_0 \left[\frac{2((k_p-1)p_0 + \sigma_{cm})}{(1+k_p)(k_p-1)p_i + \sigma_{cm}} \right]^{\frac{1}{(k_p-1)}}$$

Corrimientos:

$$u_p = \frac{r_0(1+\nu)}{E} \left[2(1+\nu)(p_0 - p_i) \left(\frac{r_p}{r_0} \right)^2 - (1-2\nu)(p_0 - p_i) \right]$$

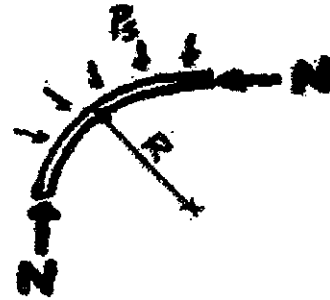
CERCHAS

$$N = p_s \cdot R$$

Por ovalización de la sección,

$$M = \pm \frac{3EI}{R} \left(\frac{\Delta D}{D} \right)$$

con $\Delta D/D = 0,5\%$.



BULONES

Presión equivalente de sostenimiento

$$p_s = \frac{\sigma_b \cdot A_b}{s^2} \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

siendo σ_b la tensión admisible en el bulón

A_b la sección del bulón

s la separación entre bulones

ϕ ángulo de rozamiento en los planos de junta.

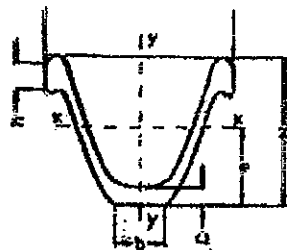
Longitud

$$L = 2 + 0,15 B \text{ (m)}$$

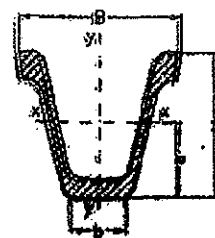
donde

L = longitud del bulón

B = ancho del túnel



TH 48



TH 58

TIPO		TH48-16	TH58-16,5	TH58-21	TH58-29	TH58-36
PESO	(kg/m)	16	16,5	21	29	36
SECCIÓN	S (cm ²)	20	21	27	37	46
DIMENSIONES	H (mm)	89	90	108	124	138
	B (mm)	98	106	127	160	171
	b (mm)	36	31	35	44	51
	h (mm)	-	26	30	31	31
	c (mm)	-	13	12	16	17
PROPIEDADES	I _{xx} (cm ⁴)	176	186	341	616	969
	W _{xx} (cm ³)	40	40	61	94	136
	I _{yy} (cm ⁴)	196	223	398	775	1.265
	W _{yy} (cm ³)	40	42	64	103	148
	e (mm)	44,35	44	54	58	67
RADIO MÍNIMO DE CURVADO, R (mm)		-	0,9	1,1	1,2	1,6

- VALORES ESTATICOS DE CERCHAS TH

RESISTENCIA DE LA GUNITA

- Al corte
- A flexión

$$f_{cvt} = 0,10 \times f_{ct}$$

$$f_{bt} = B_c \times f_{ct}, \text{ con}$$

$$B_c = 0,12 \text{ a } 0,32,$$

según el perfil de contorno.

- Adherencia (f_{at})

Buen contacto

$$1,2 \text{ kp/cm}^2 \text{ (8 horas)}$$

$$10,0 \text{ " (28 días)}$$

Contacto deficiente

$$0,6 \text{ kp/cm}^2 \text{ (8 horas)}$$

$$5,0 \text{ " (28 días)}$$

Para un peso de cuña W:

$$W' = FW \leq 4 f_{cvt} s e$$

$$W' \leq f_{bt} e^2 s / 12$$

$$W' \leq 4 f_{at} s a$$

(corte)

(flexión)

(adherencia)

GUNITA

Tensión circunferencial:

$$p_s = \frac{1}{2} f_{ct} \left[1 - \frac{(R_i - t)^2}{R_i^2} \right]$$

siendo:

p_s = Contrapresión máxima debida al sostenimiento de gunita

R_i $\approx$ Radio del túnel

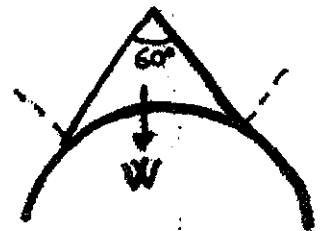
t = Espesor de gunita

f_{ct} = Resistencia característica de la gunita según su edad.

CUÑAS CRITICAS

a) Cuña tipo

$$W = \frac{\gamma \sqrt{6} s^3}{6}$$



s = separación entre bulones
diámetro del túnel
80% del ancho de la sección de avance

b) Prismas triangulares

Abertura de cuña 2α :

- Terreno sano (RQD > 75)	$\alpha = 60^\circ$
- Terreno medio (50 < RQD < 75)	$\alpha = 50^\circ$
- Terreno malo (25 < RQD < 50)	$\alpha = 40^\circ$
- Terreno muy malo (RQD < 25)	$\alpha = 25^\circ$

Peso por metro

$$W = \frac{1}{2} R \frac{R}{2 \operatorname{sen} \alpha} \gamma$$