6.19 NO

Máster Universitario
en Túneles
y Obras Subterráneas

ÁREA: B
MÓDULO: DISEÑO Y PROYECTO DE TÚNELES

DIMENSIONAMIENTO DE TÚNELES HIDÁULICOS Y GALERÍAS DE PRESIÓN

Ponente: Jesús de Blas
ICCP
IBERDROLA

Día: 16/04/07
Hora: 16:00 A 18:00

MASTER UNIVERSITARIO EN
Túneles y Obras Subterráneas

EDICIÓN ENERO-OCTUBRE 2007

DIMENSIONAMIENTO DE TÚNELES HIDRÁULICOS Y GALERÍAS DE PRESIÓN

Jesús de Blas Calvo

IBERDROLA

PLAN DE LA EXPOSICIÓN

I. Conceptos generales
- clasificación de túneles
- notas históricas
- requisitos específicos de los túneles hidráulicos
- clasificación TH

II. Túneles sin presión interior (túnel-canal) Predomina trazado e hidráulica

III. Túneles con presión interior → Estructural
- sin revestimiento
- con revestimiento

IV. Normativa y realizaciones

[I.1] CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

- A) TRÁFICO (PERSONAS)
  - túneles de ferrocarril
  - túneles de carreteras
  - túneles peatonales
  - túneles de navegación
  - túneles de metro

[I.1] CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES (b)

- A) TRÁFICO (PERSONAS)
- B) TRANSPORTE (MATERIALES, ENERGÍA)
  - de aprovechamientos hidroeléctricos
  - de suministro de aguas
  - de servicios de energía, comunicaciones y otros
  - de saneamiento de poblaciones
  - de transporte en plantas industriales

TÚNELES Y GALERÍAS HIDRÁULICOS

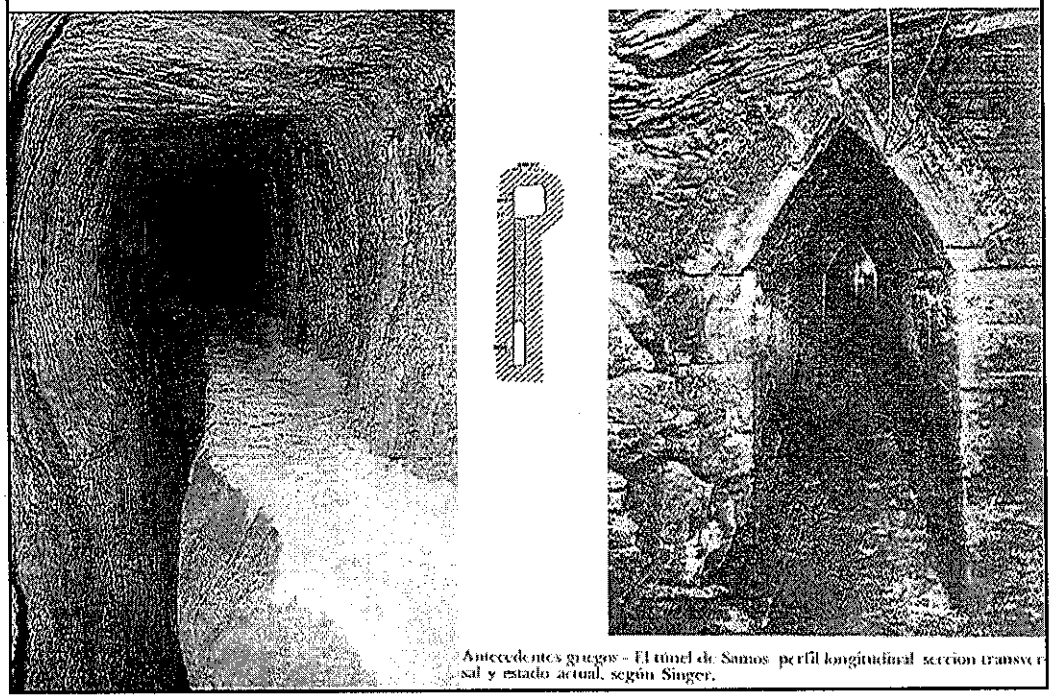
Condiciones específicas de los Tn's hidráulicos.

- IMPERMEABILIDAD
- PRESIÓN INTERIOR

[I.2] NOTAS HISTÓRICAS

- edad de piedra: cavidades excavadas en busca de depósitos minerales
- -4000: túnel bajo el Eúfrates (1km / 16m^2)
- -2700: agua a Jerusalén (200m / 0,7*0,7m^2)
- -1800: túnel-acueducto en Atenas
- -560: agua en Samos (1,5km / 1,8*1,8m^2)
- c. 1400: drenaje minas en Hungría (5,6 km)

HISTORIA: ACUEDUCTO SAMOS 530 A.C.)



Antecedentes griegos - El túnel de Samos: perfil longitudinal, sección transversal y estado actual, según Singer.

[I.3] REQUISITOS de los T.H.

- INTEGRIDAD
  - DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
  - EN SERVICIO VACÍOS, LLENOS Y TRANSITORIOS
  - A CORTO Y LARGO PLAZO
- FUNCIONALIDAD
  - TRANSPORTAR UN DETERMINADO CAUDAL
  - MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE AGUA (ESTANQUIDAD)
  - MINIMIZAR PÉRDIDAS DE ENERGÍA
  - ESTRUCTURAS PARA EL CONTROL HIDRÁULICO

[I.4] CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES HIDRÁULICOS

- Por la función
- Por el procedimiento de transporte
- Por el tipo de revestimiento
- Por la disposición geométrica

Clasificación: Funciones

- Transportar agua
  - por GRAVEDAD (túneles-canal)
  - por PRESIÓN (conducciones)
- Almacenar agua
- Servir de vía de comunicación

Chimeneas de equilibrio

Clasificación: Tipos de revestimientos

- SIN REVESTIR
- HORMIGÓN PROYECTADO
- HORMIGÓN EN MASA
- HORMIGÓN ARMADO
- DOVELAS DE HORMIGÓN
- TUBERÍA METÁLICA CON RELLENO DE HORMIGÓN

El revest tiene funciones hidráulicas y estructurales.

– Revestimiento de hormigón pretensado, para soportar las altas presiones.

[II.]

DIMENSIONAMIENTO DE TÚNELES HIDRÁULICOS SIN PRESIÓN

[II] TÚNELES HIDRÁULICOS SIN PRESIÓN

- funcionamiento similar a los canales
- diseño puramente hidráulico:
  - Pendiente (→ trazado)
  - sección
  - rugosidad
  - aireación
- eventualmente, presiones (o subpresiones) moderadas
- adicionalmente, según los usos, pueden tener otros requisitos

– Tuneles desdoblados por problemas de trazado y situación a cota baja, disminución de longitud ~~[illegible]~~ para mantener la pendiente

TÚNELES HIDRÁULICOS SIN PRESIÓN (2)

- principales tipos
  - hidroeléctricos (centrales no a pié de presa)
  - abastecimiento
  - saneamiento
- abastecimiento -> terrenos aluvión
- hidroeléctricos -> terrenos montañosos

TÚNELES HIDRÁULICOS SIN PRESIÓN (3)

- se emplea cuando el canal a cielo abierto
  - es inviable/inconveniente (topografía, geología, impacto)
  - más costoso (coste directo, de mantenimiento y de explotación)
- orientativamente, se adopta T-C si:
  - $L_C > 4L_T$ (en terreno normal, 2 en difícil)
  - Q no pequeños (tamaño mínimo del túnel)
  - hay duda

Se fijan el mantenimiento que los canales a cielo abierto

Diseño en planta

- Todos los parámetro hidráulicos se relacionan para obtener la capacidad requerida
- En el trazado en planta interviene
  - puntos de inicio y fin, con sus tangentes
  - aproximación a vaguadas para estructuras de control
  - Características del terreno
  - Condicionantes hidráulicos:
    - radios de curvatura mínimos
    - desarrollo de transiciones
- Objetivo: tramos rectos con curvas suaves

Diseño en alzado

- La pendiente tiene relación directa con la sección para la capacidad
- La posición absoluta debe tener en cuenta recubrimientos suficientes
- Los túneles por gravedad mantienen una pendiente similar a la de los canales
- En túneles cortos (<100m), horizontal
- En t. largos i > 0,0001 (0,01%)
- La excavación se debe realizar en contrapendiente

Diseño de la sección transversal

Por hidraulica es mejor la circular, constructivamente es a herradura.

- Hay razones geológica-constructivas para elegir la forma: se prefiere herradura
- La sección neta ***A*** depende básicamente de la velocidad del transporte ***v=Q/A***
- se elige según
  - el tipo de túnel
  - el tipo de revestimiento

hasta 3 m/s:	sin revestimiento (o con transp. sedimentos)
de 3 a 6 m/s:	rev. hormigón
más de 6m/s:	rev. metálico

- Debe dejarse resguardo para aire en clave

A partir de 6 m/s pueden haber problemas de cavitación

PÉRDIDAS DE CARGA

- Las pérdidas en túneles sin revestir son grandes → mayor sección que otros tipos
- No solo debe considerarse las pérdidas por rugosidad: también las producidas por expansión y contracción al variar la sección continuamente.
- Otras:
  - falta de alineación de encofrados
  - caída de rocas (en túneles sin revestir)

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN (Cálculo)

- Existen numerosos fórmulas teóricas
- La más sencilla de utilizar es la de Manning - Stickler

$$J = n^2 v^2 / R_h^{4/3}$$

- Hazen - Williams

$$v = K_{HW} C R^{0,63} J^{0,54}$$

- Darcy-Weisbach

$$h_f = f (v^2 / 2g) (L/D)$$

siendo *f* el coeficiente de fricción Colebrooke, que depende de la rugosidad de la superficie y del número de Reynolds f =f (k, D, Re)

- La dificultad no está solo en los parámetros *n*
- En un túnel no revestido d&b no hay simetría radial ni lateral de flujo
  - Microrrugosidad: picos, etc. en las paredes
  - Macrorrugosidad: cambios continuos de sección de excavación

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN (Cálculo)

- Huval (1969)

Overbreak = $\frac{K}{2} = \frac{D_m - D_n}{2}$

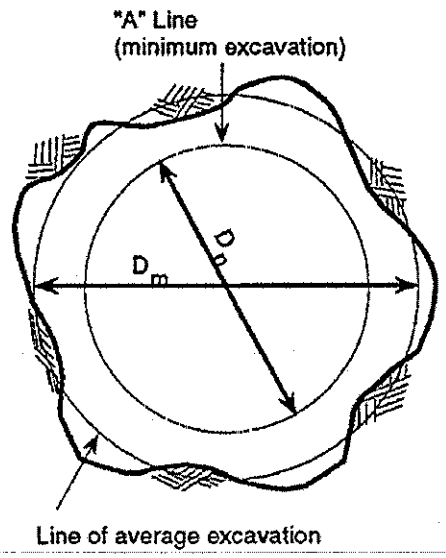
Relative Roughness = $f_m = \left(\frac{1}{2 \log (D_m/K) + 1.14} \right)^2$

Manning's $n = \sqrt{\frac{f_m D_m^{1/3}}{185}}$

- Lecoq y Marin (1979)

$K = 1/n = 16{,}65 \log 3{,}7(D/\kappa)$

altura media de las rugosidades

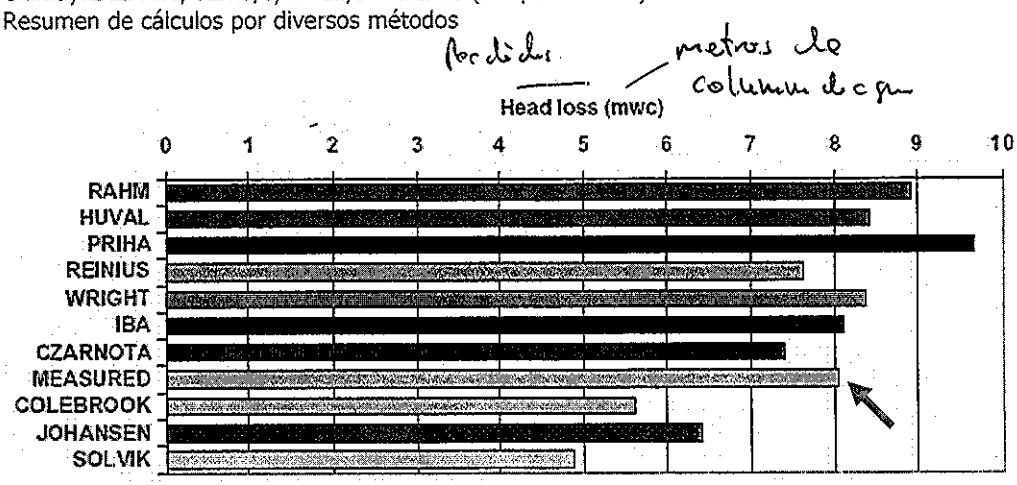


PÉRDIDAS POR FRICCIÓN: RUGOSIDAD

Westfall (1989) recomienda:

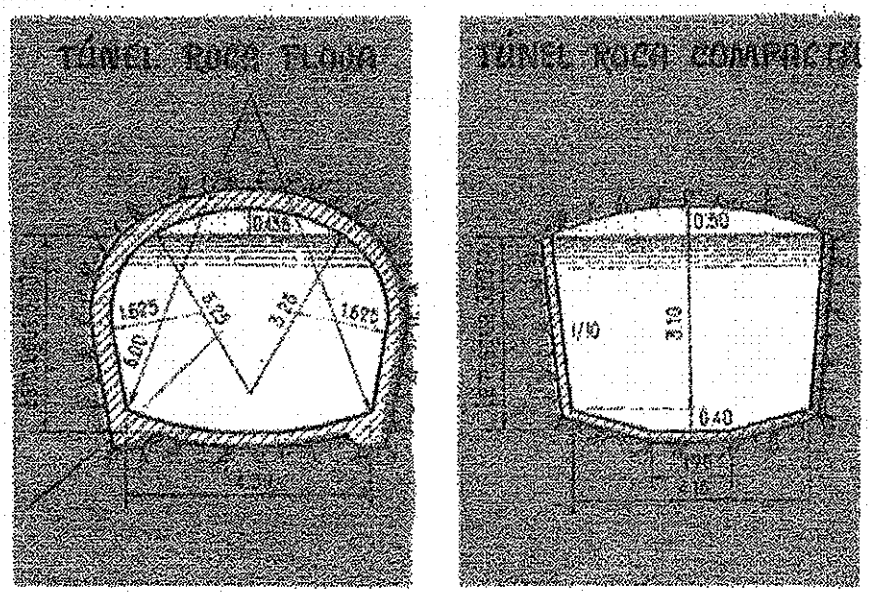
	n	*K*
excavación D&B, sin revestir	0,038	20-30
TBM, sin revestir	0,018	50-60
segmentos de hormigón prefabricado	0,016	60-65
hormigón *in situ*, encofrado no cuidado	0,013	65-70
acero con recubrimiento de mortero	0,014	
acero (Ø > 3 m)	0,013	
acero (Ø < 3 m)	0,012	

Chimay:2x27MW, 82m3/s, h=21,8m totales (8m por fricción)
Resumen de cálculos por diversos métodos



Además, el revestimiento de la solera reduce un 27% las pérdidas respecto a d&b La gunita en hastiales y bóveda reduce un 10% adicional

SECCIONES TÍPICAS DE T-C



[III.]

DIMENSIONAMIENTO DE TÚNELES HIDRÁULICOS EN PRESIÓN

TÚNELES EN PRESIÓN

- III.0 Terreno
- III.1 Túneles sin revestimiento
- III.2 Túneles con revestimiento
  - Independiente del terreno
  - Contando con el terreno

[III.0] ESTADOS TENSIONALES PREVIOS

- Conocimiento geomecánico del terreno
- Conocimiento tensiones previas
- Alteración de las tensiones previas por creación del túnel
- construcción (eventual) del revestimiento
- Transferencia de las presiones del agua (al revestimiento) y al terreno
- Capacidad del terreno de resistir toda o parte de la presión

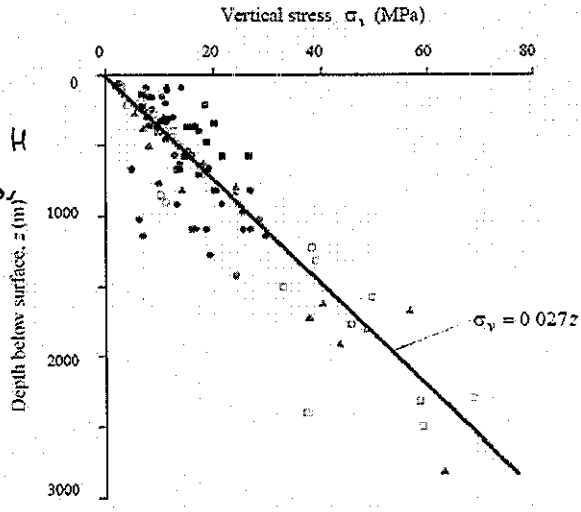
Tensiones verticales del terreno

- Se admite comúnmente

$$\sigma_V = \gamma z$$

Por estar sitiados los TN H [illegible] de los macizos no riem

$\sigma_V = \delta z$



Vertical stress measurements from mininig and civil engineering projects around the world (Afret Hoek and Brown 1978)

Tensiones horizontales

- la tensión horizontal *in situ* se expresa:

$$K_0 = \sigma_h / \sigma_v$$

- en ausencia de tensiones tectónicas y en macizos tranquilos y horizontales

$$\sigma_h = K\,\sigma_v\,; \quad K = \nu/(1-\nu)^*$$

- Otras en rocas débiles incapaces de soportar tensiones desviatorias importantes, (tensiones litostáticas)

$$K=1 \qquad \text{(regla de Heim)}$$

* *NOTA.- $K = \nu/(1-\nu^2)$ cuando se trata de tensión plana*

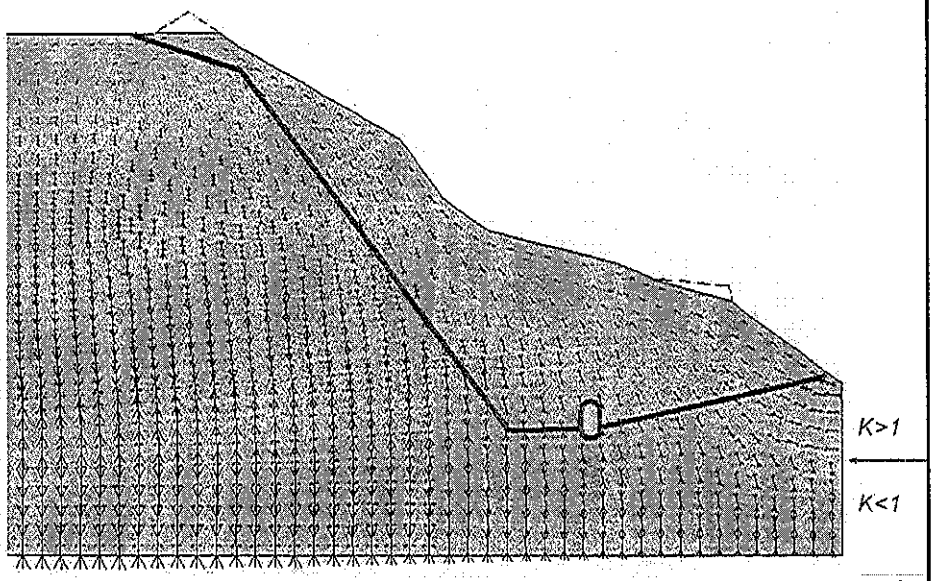
$\nu \rightarrow$ capacidad de relacionar las componentes horizontales y verticales.

Tensiones horizontales (2)

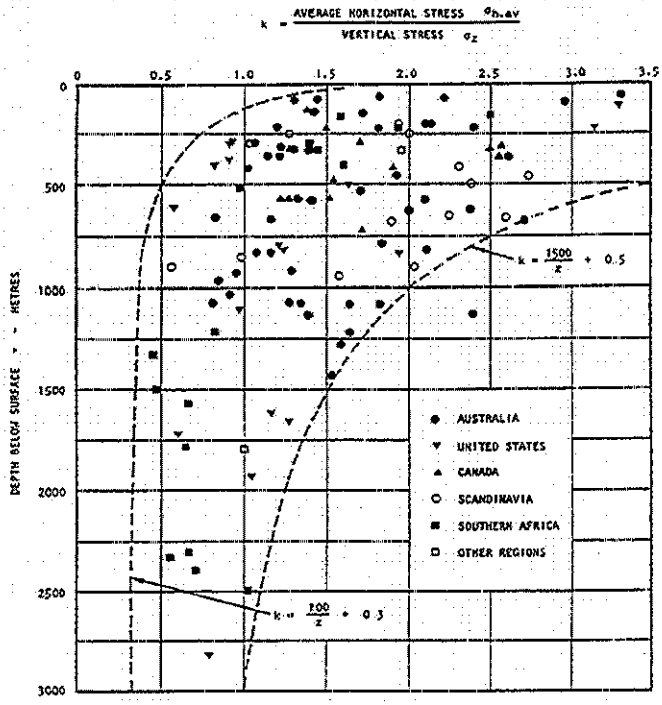
- las anteriores fórmulas dan valores mínimos de las tensiones horizontales: su aproximación mejora con la profundidad
- la <u>historia tectónica,</u> especialmente en zonas no muy profundas, condiciona las tensiones horizontales,
- la <u>anisotropía</u> (p.e., estratificación) de los macizos, aumenta K
- la <u>topografía</u> altera la dirección de las tensiones principales: Se debe tener en cuenta este hecho y no utilizar únicamente la profundidad del túnel

Tensiones gravitatorias en las proximidades de un valle

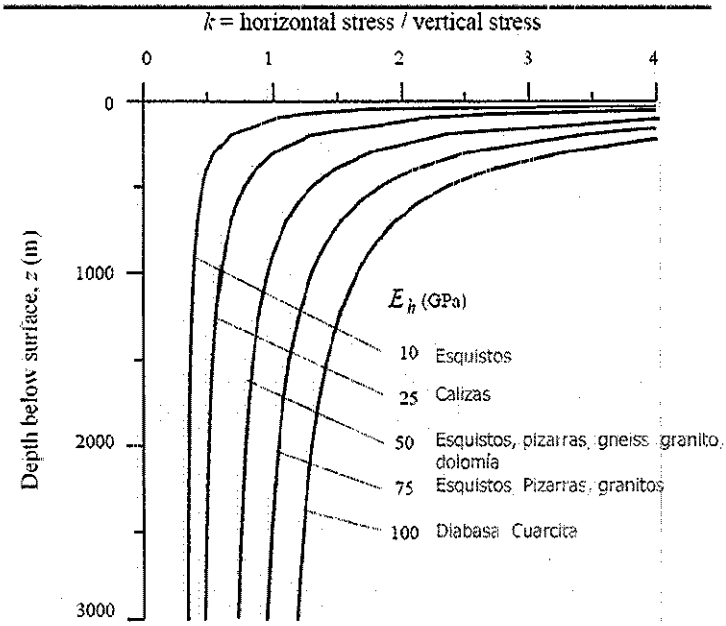
Desiden - ~~th~~ to topograf[illegible]



- mediciones *in situ*



- Sheorey (1994) $k = 0{,}25 + 7E_h(0{,}001+1/z)$



Alteración de las tensiones durante la construcción

- Terreno elástico

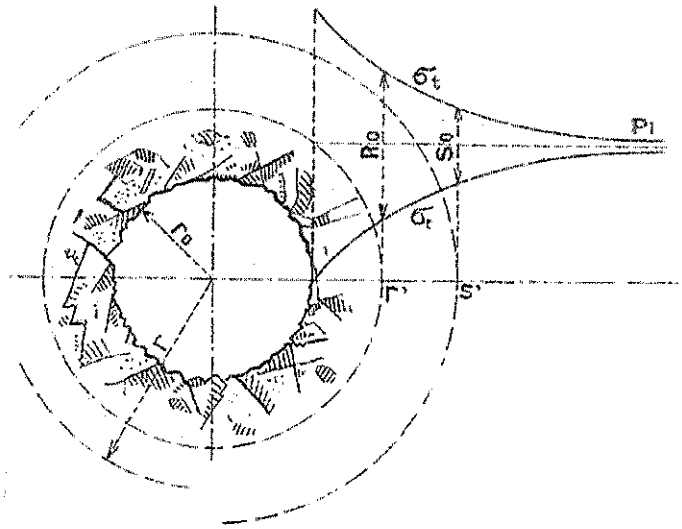


FIG. 35. — Efforts engendrés par le percement d'un tunnel (D'après la théorie de l'élasticité).

- Hay múltiples alteraciones a las anteriores distribuciones
  - La alteración por el método de excavación
  - La anisotropía del macizo
  - La forma de la sección excavada y su proximidad a otras
  - La velocidad con que se ejecuta el revestimiento

- Terreno parcialmente plastificado

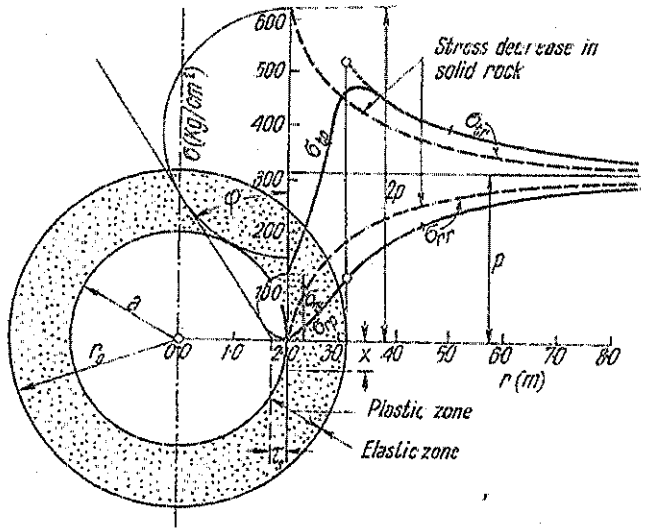


FIG. 3/12. Development of radial and tangential stresses around a circular cavity in elastic and in plastic rock (KASTNER)

Isobaras y plastificación según σ_h/σ_v

$\lambda = K$

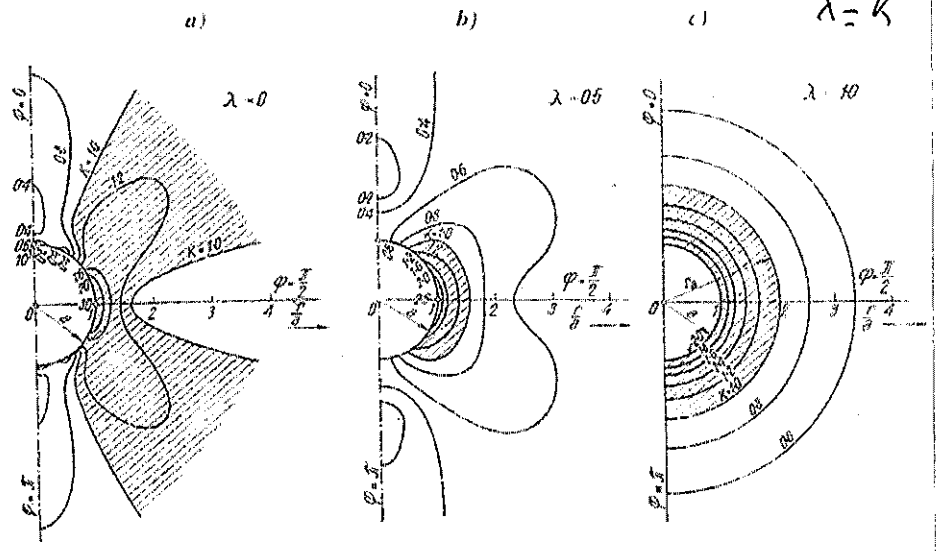


FIG. 3/15. Variation of stress isobars around a circular hole as a function of the lateral earth pressure coefficient

Tensiones inducidas por la presión interior

- en un macizo homogéneo y elástico con un orificio circular de radio R,

$$\sigma_{rad} = -\sigma_{tan} = -p\,(r/R)^2$$

- Compresiones en dirección radial
- Tracciones iguales al presión aplicada, en dirección circunferencial
- Si éstas superan a las compresiones previas de la roca, ésta se fisurará hasta cierta distancia

[III.1] TÚNELES EN PRESIÓN SIN REVESTIR

- Noruega es el país pionero (Vogt, 1922)

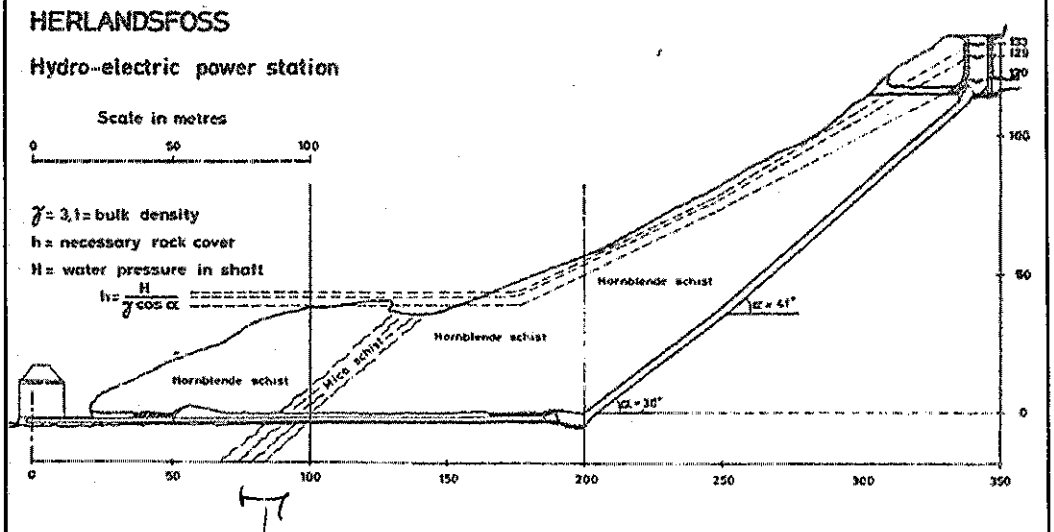
Nombre	Año	H(m)	Ø(m)	Roca	Notas
Herlandsfoss	1919	136	3,20	micaesquistos	Fallo parcial
Skar	1920	129	N.D.	granito-gneiss	Fallo total
Svelgen	1921	152(*)	2,40	arenisca	Filtraciones <<
Toklev	1921	72	2,50	monzonita	Sin filtraciones

*) record durante 40 años

&) se han alcanzado H>600m

TV' Hidráulico con presión sin revestir

HERLANSFOSS



Filtración en los micaesquistos en la fallo Herl.

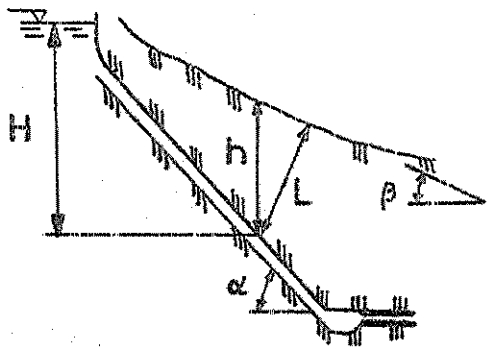
Criterios de diseño túneles en presión sin revestir

- inicial: peso recubrimiento > presión
- otras fórmulas geométricas
  - dependientes de la inclinación del conducto
  - dependientes de la geometría del valle
- cálculos tensionales del macizo (EEFF)
- se dimensionan para velocidades reducidas
  - 1,2 - 2,2 m/s sin solera
  - 1,8 - 2,7 " con solera de hormigón
  - 2,0 - 3,5 " con TBM → sin aumentar las pérdidas por velocidad.

  (el aumento de velocidades en TBM, se compensa parcialmente en cuanto a pérdidas, por la menor fricción de las paredes (reducir. de pérdidas)
- requieren construir trampas de piedras y tapón antifiltraciones en su tramo final, antes de las centrales

  lo cercano al final para no entrar agua cuando la lámina posible convertido

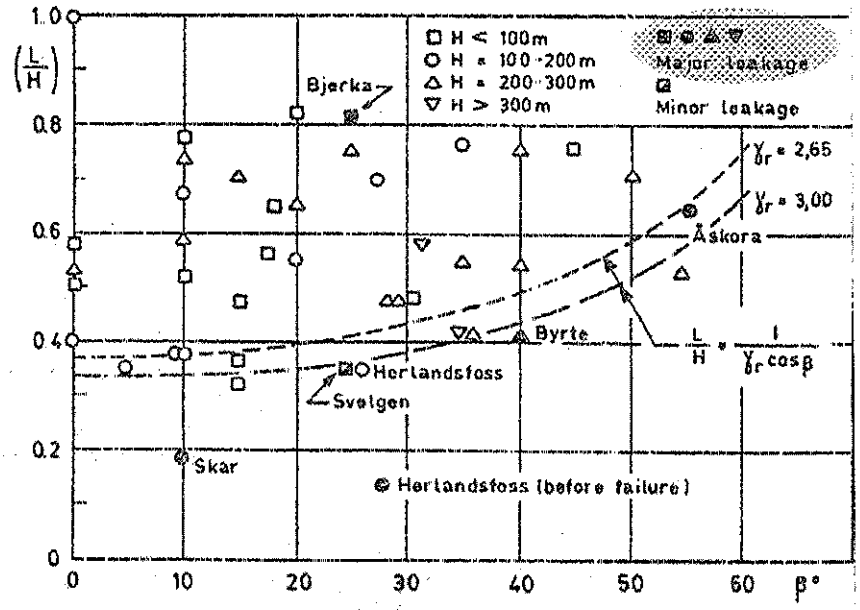
evolución de fórmulas



- $h > c \cdot H$
  - c: 0,6-1,0
  - β: 35º-60º
- $h > \gamma_w H / \gamma_r \cos\alpha$
- $L > H / \gamma_r \cos\beta$
- utilizar perfil estructural del terreno (~~deberá~~ determinar los puntos del macizo no resistentes).

- Los criterios geométricos son de aplicación en rocas de calidad y con ~~sh~~ σ_h > ~~sv~~ σ_v. En caso contrario,
- Deere (1983) propone
  - hormigón armado para $h_v < 1{,}3H$; $h_{hor} < 3{,}0H$
  - blindaje para $h_v < 0{,}8H$; $h_{hor} < 2{,}0H$

Recopilación de datos del NGI



evolución de los diseños

- Hacia 1950 se entierran, con su tubería
- En 1973 cámara de equilibrio sumergida

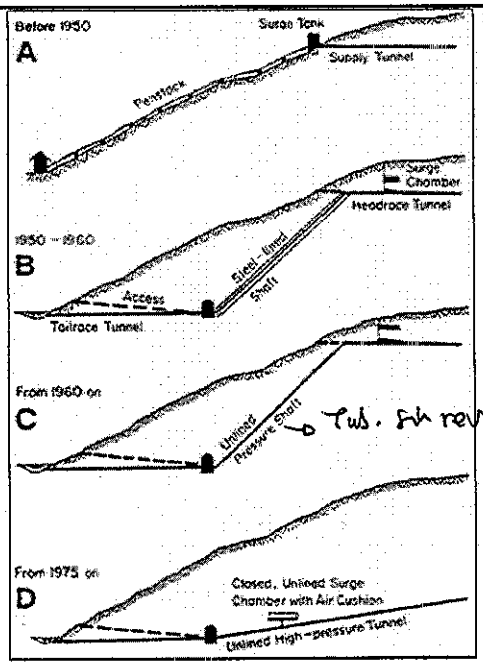
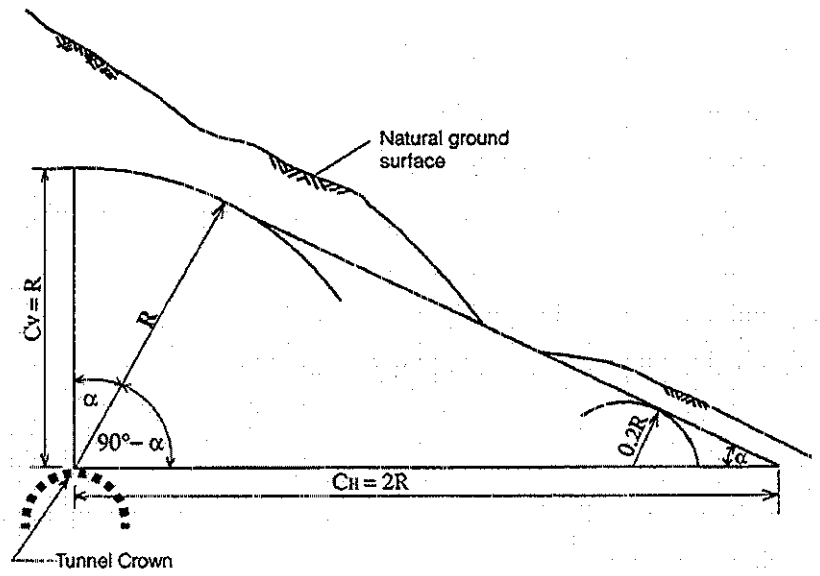
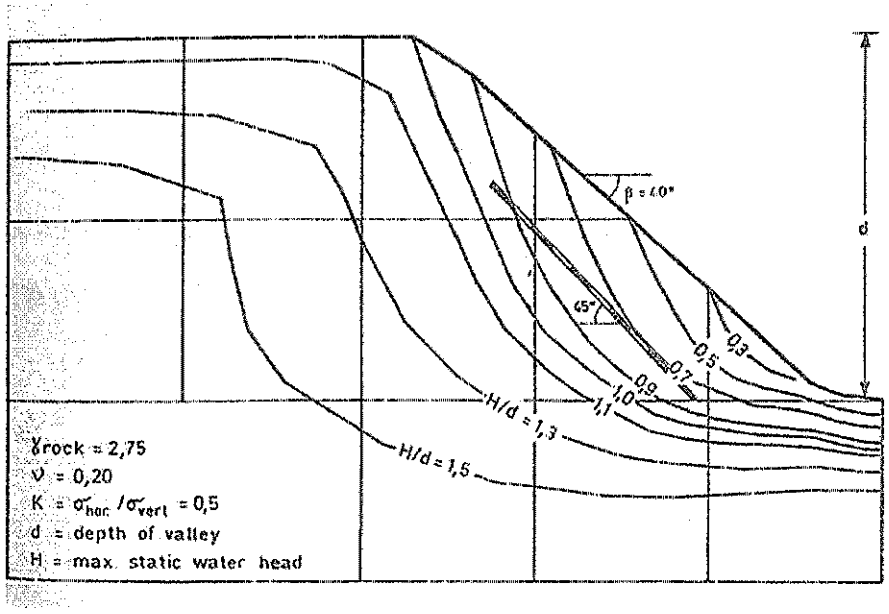


Figure 1 The development of the general layout of hydroelectric plants in Norway.

criterio australiano



criterios por cálculo tensional (EEFF)



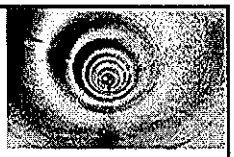
PROBLEMAS DE LOS TÚNELES SIN REVESTIR

- el agua contacta con la roca
  - alteraciones fisico-químicas
  - disolución de rellenos de fisuras
- si hay impulsos de presión se facilita el levantamiento de trozos -> inestabildad
- hay mayores pérdidas hidráulicas (Manning alto) que deben compensarse con mayores secciones

- para Vogt, en 1922, el mayor problema y, por lo tanto el criterio para los túneles sin revestir era el control de las filtraciones

- en todo caso, se debe exigir
  - roca estable frente al agua
  - poco diaclasada y sin rellenos
  - resistente a la presión
  - permeabilidad limitada (0,5-5 l/s/km en Noruega)
- además
  - solera de hormigón
    - para reducir pérdidas hidráulicas
    - para evitar levantamientos de material
  - atrapapiedras para proteger las máquinas

[III.2] TÚNELES CON REVESTIMIENTO



IDEAS PREVIAS

- la decisión sobre el revestimiento obedece a
  - requisitos funcionales
  - geología e hidrología
  - facilidad de construcción
  - economía
- puede ser oportuno disponer distintos revestimientos según las zonas (salvo que se use TBM u otras razones constructivas)

Ojo con las filtraciones a terrenos porosos y/o permeables

- la construcción del revestimiento tiene lugar, generalmente, cuando la totalidad o mayor parte de las deformaciones del terreno han tenido lugar
- la presión interior produce tracciones en el propio revestimiento -> fisuración, incluso si es armado
- siempre que haya revestimiento hay que considerar la estabilidad del mismo frente a la presión exterior, con el túnel vacío
- El revestimiento exige inyecciones de contacto a baja presión y de consolidadción de la roca próxima a presiones similares a la de servicio (L_1=R p=3,5-7 kp/cm^2, L_2=4R)

revestimiento de gunita

- muy eficaz si se aplica tempranamente
  - protege la roca
  - mejora las pérdidas de carga
- es crítica la adherencia, por su reducida rigidez
- caso del túnel de desvío en el río Peace
- es habitual dotarla de solera de hormigón

- No es bueno revestimientos delgados o ligeros, ya que fracasa cayendo.

revestimiento de hormigón en masa

- protege la roca y disminuye pérdidas
- es aceptable cuando el macizo haya relajado tensiones y las cargas sobre el revestimiento sean uniformes y radiales
- id. si se espera fisuración escasa por retracción y temperatura y las filtraciones son menores y no afecten al macizo
- ESPESORES
  - 0,4 - 0,6 con explosivos en función del acab.
  - 0,3 - 0,4 con medios mecánicos
  - 0,2 - 0,3 con TBM

revestimiento de hormigón armado

- se colocará armadura cuando no se cumplan las condiciones anteriores
- para presiones interiores limitadas bastará con una capa, preferible hacia la cara interior -> fisuración térmica y retracción
- la doble capa se precisa con
  - presiones altas
  - distribuciones no uniformes (grandes diámetros, excavación irregular, extremos de tuberías, etc)
- recubrimientos grandes (75/100mm i/e)

En este caso la armadura tiene mucha importancia por el control de fisuración por retracción

revestimiento con forro metálico

- se utiliza para altas presiones internas o cuando debe asegurarse la estanquidad
- es imprescindible cuando el confinamiento de la roca frente a las presiones internas es insuficiente (proximidad al valle) > hidrofractura
- la carga de presión exterior exige medidas especiales para evitar el pandeo
- corrosión

cálculo para presión exterior

para revestimientos de hormigón, de resistencia f_c

tubo delgado $$f_c = p\frac{R}{t}$$

R = Radio de hormigón
t = el espesor

excentricidad, u_0 $$f_c = p\frac{R}{t} \pm p\frac{6Ru_0}{t^2(1-p/p_{cr})}$$

→ Tolerancia de la construcción

p_{cr}, la presión de Euler $$p_{cr} = \frac{3EI}{R^3}$$

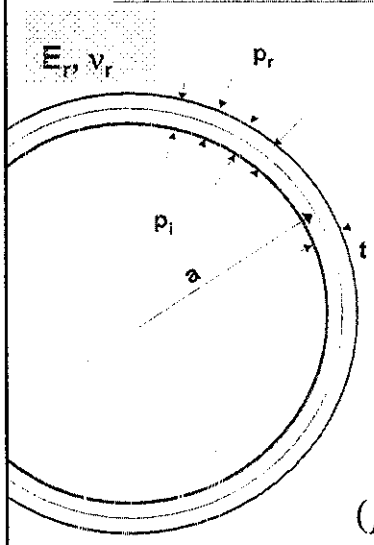
---

tubo grueso t>R/10) $$f_c = 2p\frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}$$

cálculo para presión interior

- las fórmulas se basan en igualar movimientos radiales de las distintas capas:
  - chapa de acero (si existe)
  - gap → en este caso entre la chapa de acero y el hormigón
  - hormigón en masa
  - roca fisurada
  - roca sana
- el procedimiento es similar para hormigón armado

cálculo para presión interior (2)



$$\sigma_t = (p_i - p_r)\frac{a}{t}$$

$$\frac{\Delta a}{a} = (p_i - p_r)\frac{a}{t}\cdot\frac{1-\nu_c^2}{E_c} = (p_i - p_r)K_c$$

↳ rigidez del anillo

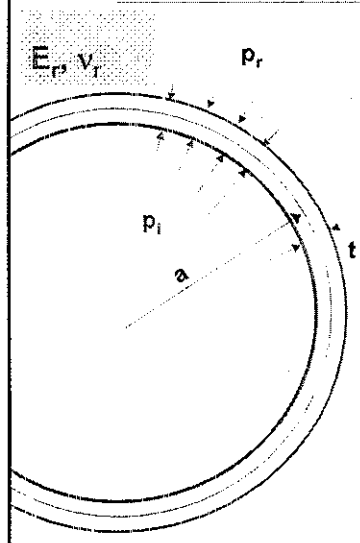
y en la roca, p_r induce:

$$\frac{\Delta a}{a} = p_r\frac{1+\nu_r}{E_r} = p_r \cdot K_r$$

igualando ambas deformaciones:

$$(p_i - p_r)K_c = p_r \cdot K_r \rightarrow p_r = p_i\frac{K_c}{K_c + K_r}$$

cálculo para presión interior (3)



$$p_r = p_i\frac{K_c}{K_c + K_r}$$

es decir, la presión que se transmite a la roca depende de las rigideces relativas del revestimiento y la propia roca, así como la presión neta que actua sobre el revestimiento, $\Delta p = p_i - p_r$

la deformación circunferencial del revestimiento resulta:

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a} = p_i\frac{a}{t}\cdot\frac{1-\nu_c^2}{E_c}\cdot\frac{K_r}{K_c + K_r}$$

cálculo para presión interior:filtraciones (4)

el cálculo de deformaciones es útil para estimar la filtración potencial a través del revestimiento.

- la separación s entre fisuras puede estimarse como:

$$s \cong 0{,}1\, \varnothing / \rho \quad \rightarrow \quad \rho = A_s / A_c$$

- la apertura media de fisura es

$$w = s \cdot \varepsilon$$

- el número medio de fisuras por metro en todo el perímetro será

$$n = 2\, \pi\, a / s$$

- finalmente, el caudal unitario a través del revestimiento puede estimarse como:

$$q = (n / 2\eta)\, (\Delta p / t)\, w^3$$

dónde η es la viscosidad del agua y Δp, la diferencia de presión

- si no hubiese fisuración,

$$q = 2\, \pi\, a\, k_c\, \Delta p / \gamma_w t$$

cálculo para presión interior: carga no radial (4)

generalmente, cuando se construye el revestimiento, el túnel ha tenido toda su deformación y la única carga remanente es la del agua (radial)

no siempre es así:

- variaciones en la roca: zonas más débiles o, incluso, huecas tras el revestimiento
- rocas desplomadas, con su carga muerta
- rocas expansivas
- presiones debidas a inyecciones no uniformes

esto lleva a que es necesario incluir también unas presiones esfuerzos no simétricas que dan lugar a momentos flectores y cortantes a combinar con los axiles circunferenciales tratados anteriormente

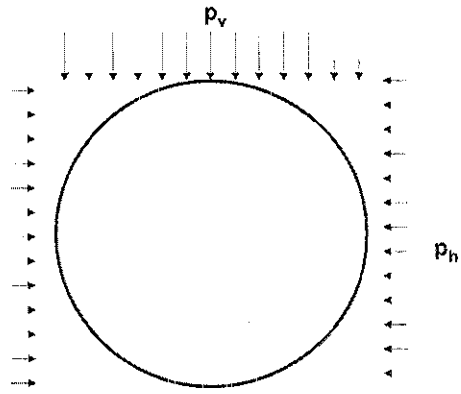
cálculo para presión interior: carga no radial (4)

el problema estructural es ahora mucho mas complicado
se aborda, habitualmente, de alguna de las formas siguientes:

- como arco exento, sometido a presión vertical y horizontal

aplicando soluciones de la elasticidad al revestimiento y la roca

- mediante modelos de EEFF incluyendo muelles no lineales o elementos de contacto más elaborados



- $P_v = 0{,}3\text{-}0{,}6D\gamma_r$ $\quad p_h = 0{,}5p_v$ (x1,3*)

el hormigón y la primera capa de roca están fisurados ⇨

$p_cR_c = p_dR_d = p_eR_e$

$p_d = p_cR_c / R_d$

$p_c = p_eR_e / R_c$

- el blindaje está sometido a $\Delta p = p_i - p_c$

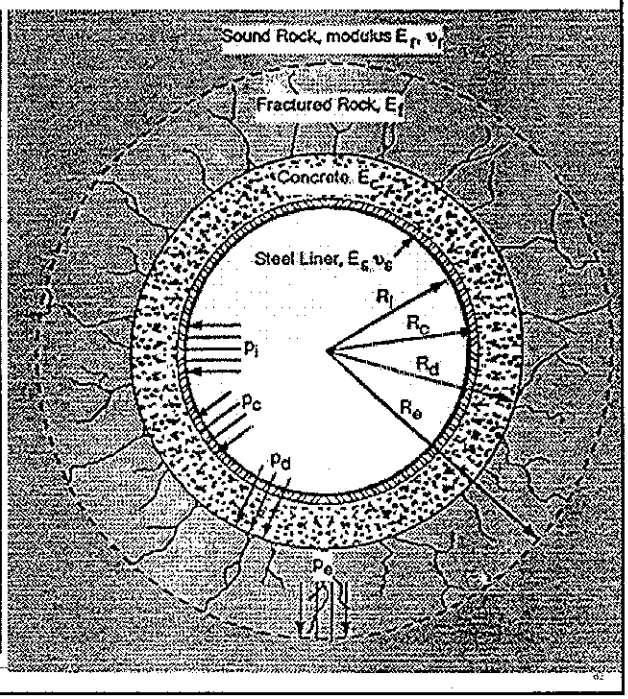
$\Delta s = \Delta p R_i^2 (1-\nu_s^2)/(tE_s)$
$= \Delta k + \Delta c + \Delta d + \Delta e$

$\Delta k = \alpha\, \Delta k\ R_i + \Delta gap$

$\Delta c = p_cR_c / E_c \ln (R_d / R_c)$

$\Delta d = p_cR_c/E_r \ln (R_e/R_d)$

$\Delta e = p_c R_c/E_r(1-\nu_r)$



- el gap es completamente inevitable, incluso aunque se hagan inyecciones de contacto
- gap = 0,0001 - 0,001R
- variación importante de temperatura entre construcción y servicio (agua fría)
- la zona de roca fisurada -inicialmente-depende del método de construcción
  - TBM, cm o decímetros
  - explosivos, métricos

presión exterior

blindaje

- el cálculo del liner bajo presión exterior es muy complejo, tanto sin rigidizadores, como con ellos
- depende mucho del gap con el hormigón, de ahí la importancia de las inyecciones de contacto
- igualmente de la ovalización inicial: tolerancias de montaje

DETERIORIORO DE LOS TÚNELES EN PRESIÓN

- principales fuentes de deterioro:
  - agrietamiento
  - corrosión
- causas
  - mala ejecución del hormigonado (o de las juntas, o de la alineación)
  - excesivo deterioración de la roca o insuficiente inyección posterior
  - insuficiente cuantía de armado (incluyendo el longitudinal)

[IV] NORMATIVA

- no hay un nivel de normativa similar a otras estructuras, en todo caso, trata aspectos parciales.
- además, las características específicas de casa caso, deben hacer manejar los coeficientes con criterio ajustado

→ Norm. del ejército americano

- USACE EM 1110-2-2901, Tunnels and Shafts in Rock (1997)

→ Comité europeo de calderería y penstocks

- C.E.C.T., Recommendatios for the design, manufacture and erection of steel penstocks of welded construction for hydro electric installations (1984)
- Norma soviética: Sztroitelnie Normi i Pravila, GL 3, 8 SNIP II-D-3-&2 y II-D-62 (1963)

[IV.b] CARGAS DE DISEÑO

- En los demás tipos de túneles, las solicitaciones pésimas suelen producirse durante la CONSTRUCCIÓN
- En los túneles hidráulicos (en PRESIÓN), las solicitaciones pésimas pueden ser las de SERVICIO
- Por ello se describen ahora las cargas, después de tratar lo T-C, en lo que lo específico es la hidráulica

- Básicas o permanentes
  - presión horizontal y vertical del macizo
  - peso propio de la estructura
  - presión hidrostática externa
  - otras (edificios u otras estructuras, etc.)
- No permanentes
  - acciones en la construcción (inyecciones, etc.)
  - efectos térmicos
  - cargas diferidas del macizo
  - sismo

- Presión interior del agua
  - en régimen permanente
  - en régimen transitorio
- Temperatura
- Sísmicas
  - directas
  - indirectas

Coeficientes de seguridad según USACE

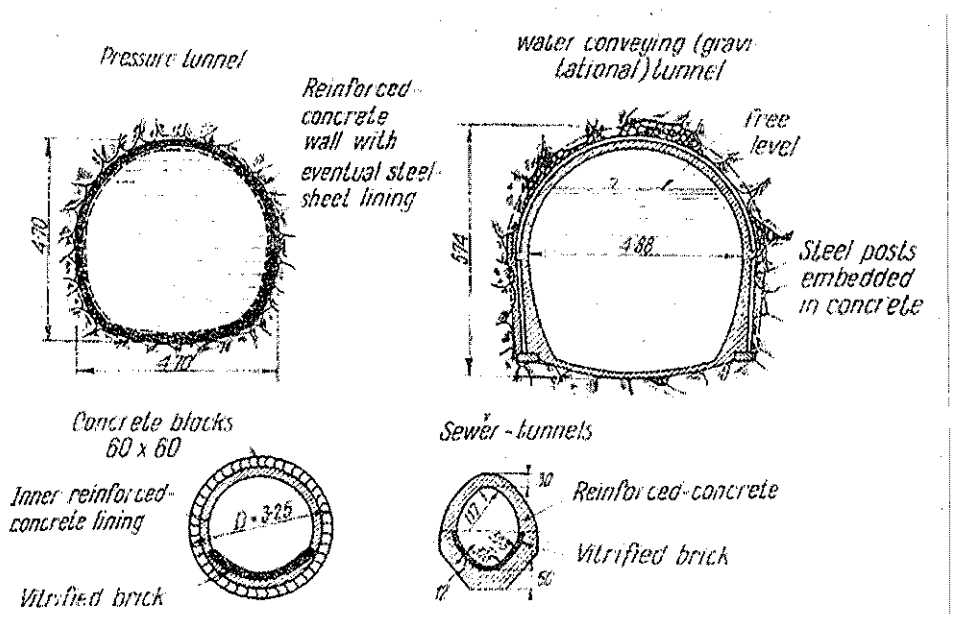
(combinaciones de cargas)

carga	C1	C2	C3	C4
peso propio	1,3	1,1	1,1	1,1
carga de la roca	1,4	1,2	1,4	1,4
hidrostática permanente	1,4	-	-	-
hidrostática transitoria	-	1,1	-	-
hidrostática externa	-	-	1,4	1,4
carga viva	-	-	-	1,4

Tubería exterior = 1,5
Tubo + roca detrás resistiendo con un coef de seg = 2
Tubo solo coef. = 1,1

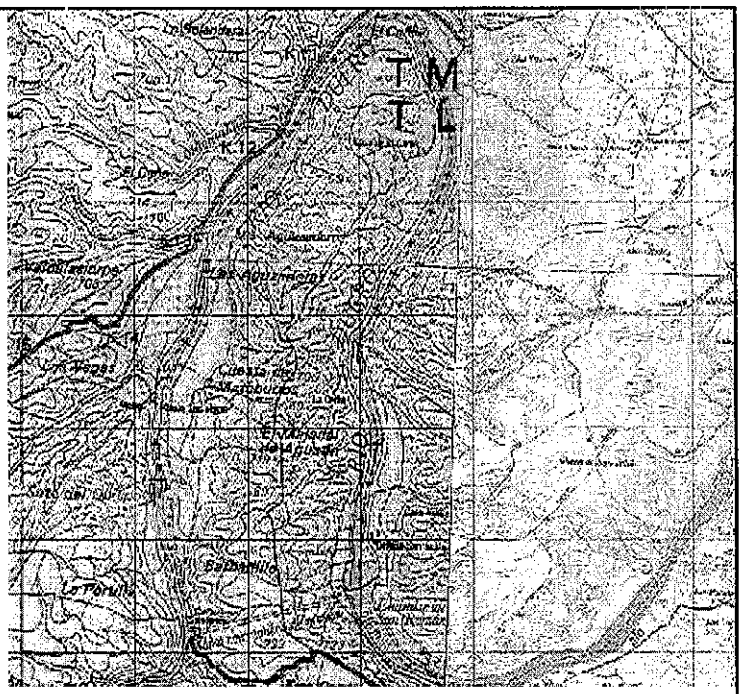
[IV.c] REALIZACIONES

Secciones típicas de túneles para transporte de agua



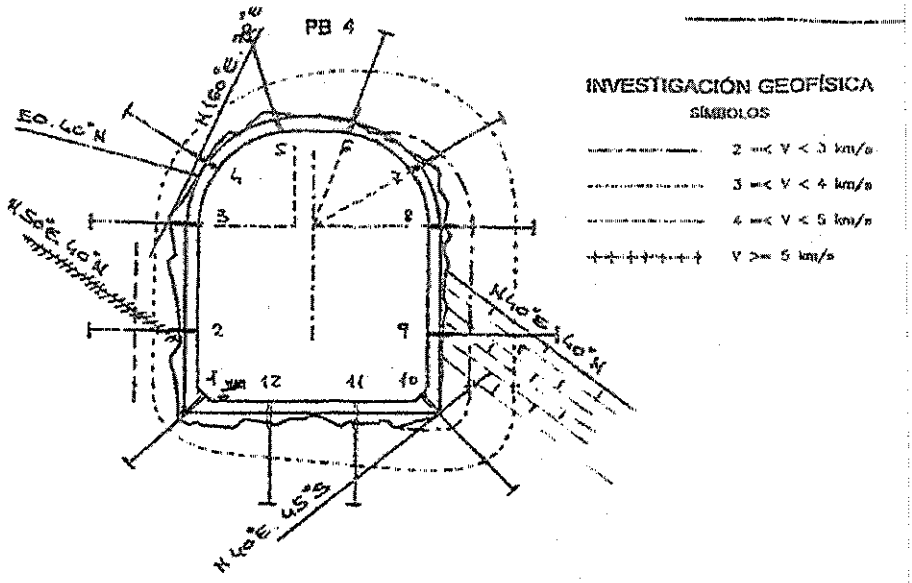
Montefurado

San Román

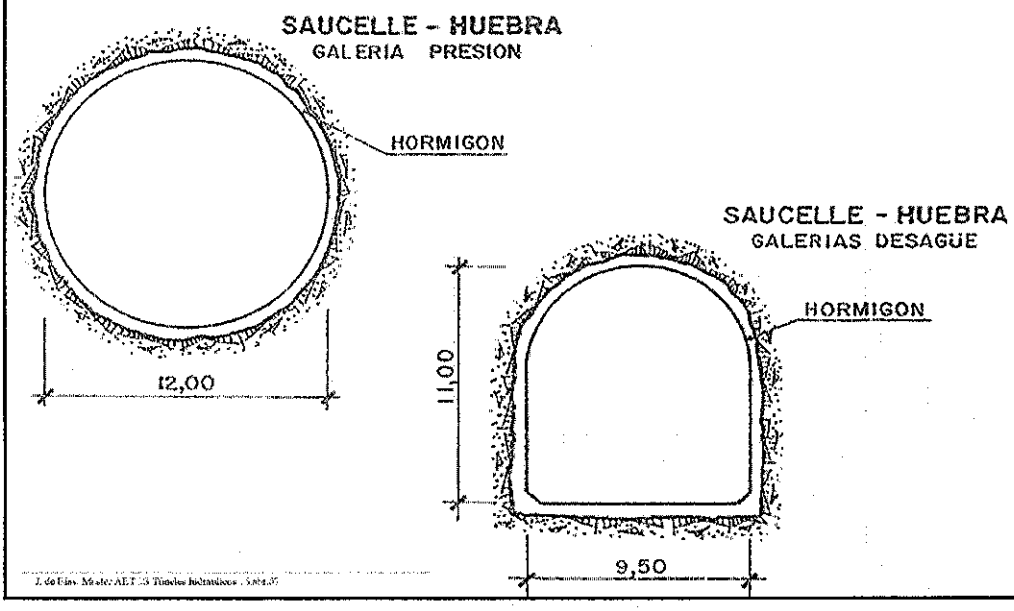


San Román

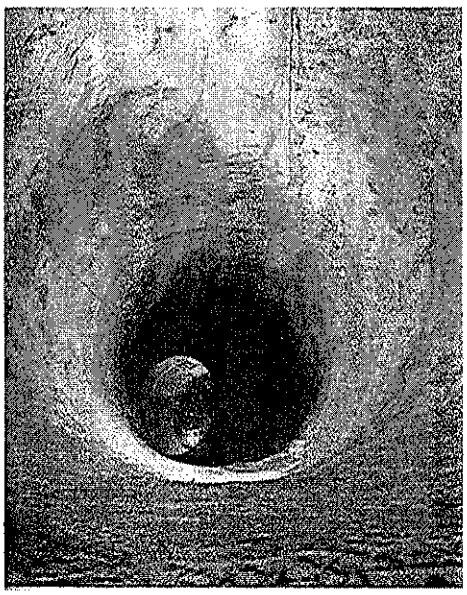
Ricobayo II. Galería de desagüe

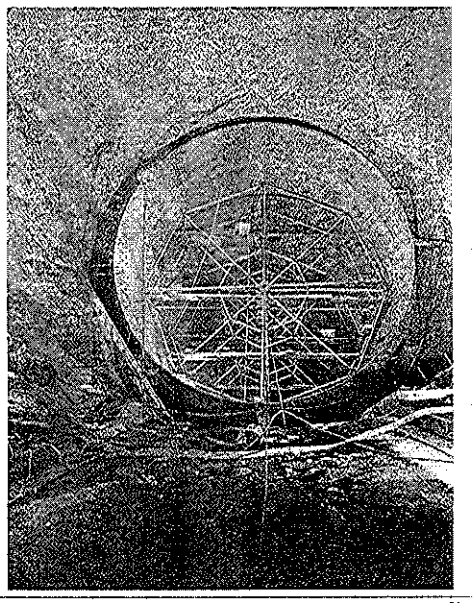


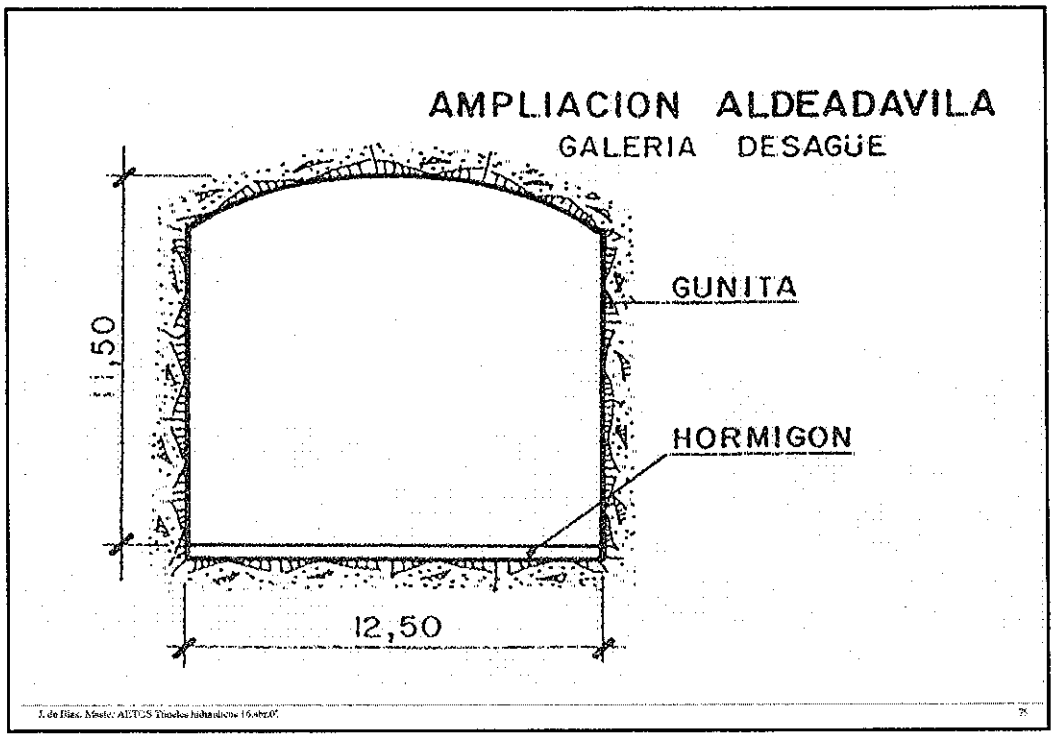
Saucelle-Huebra

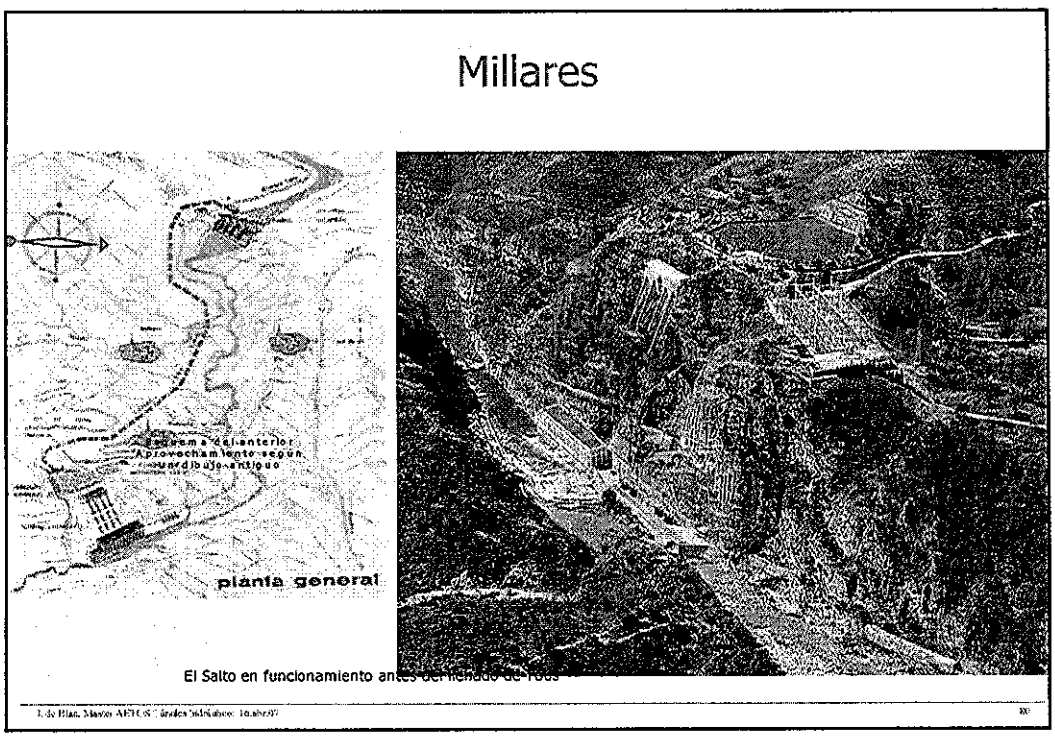


Aldeadávila

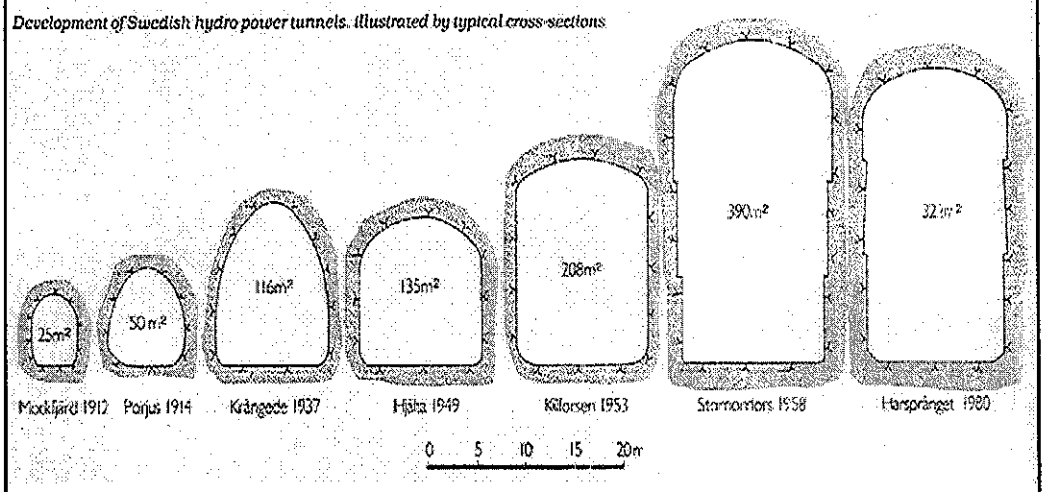




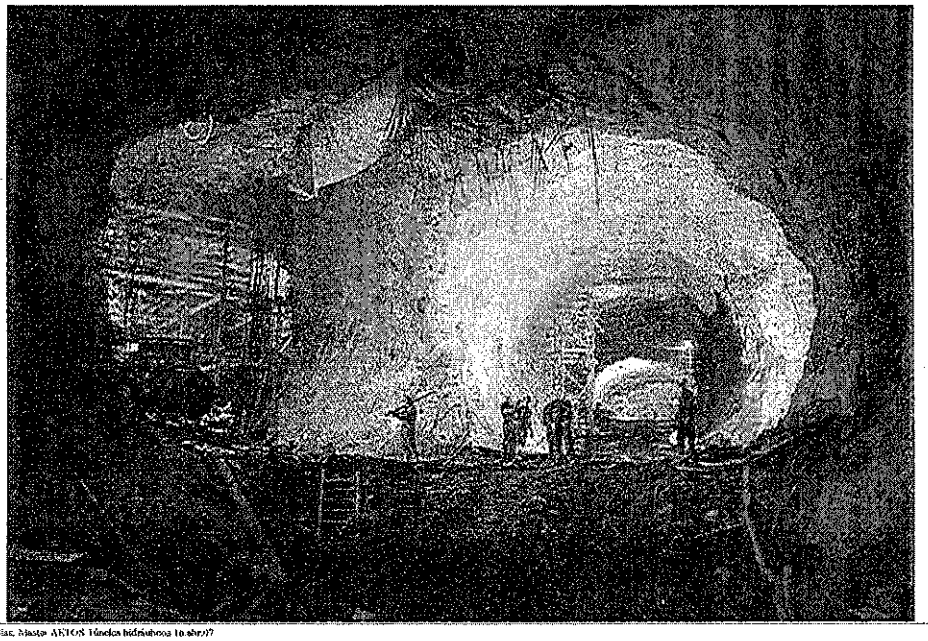

AMPLIACION ALDEADAVILA
GALERIA DESAGUE
GUNITA
HORMIGON
11,50
12,50


Millares
planta general
El Salto en funcionamiento antes del riadado de 1983

Evolución secciones en Suecia



Juktan

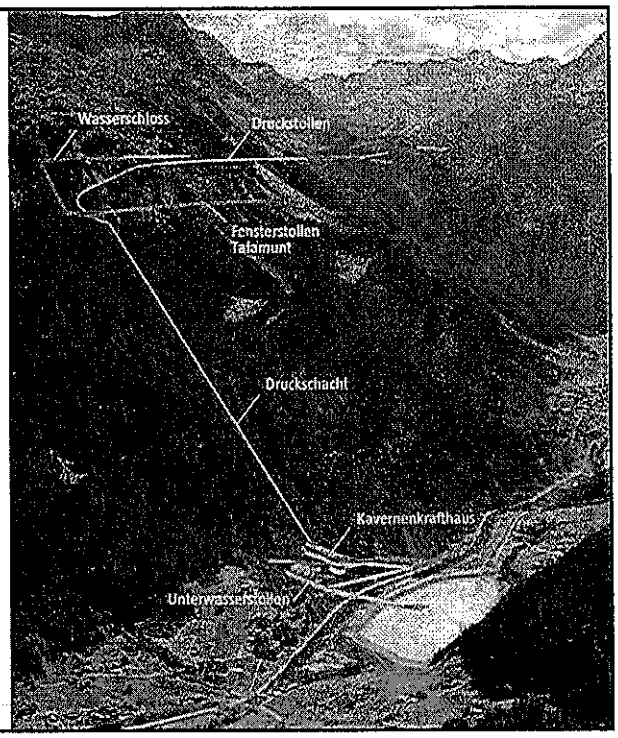


► Kopswerk II

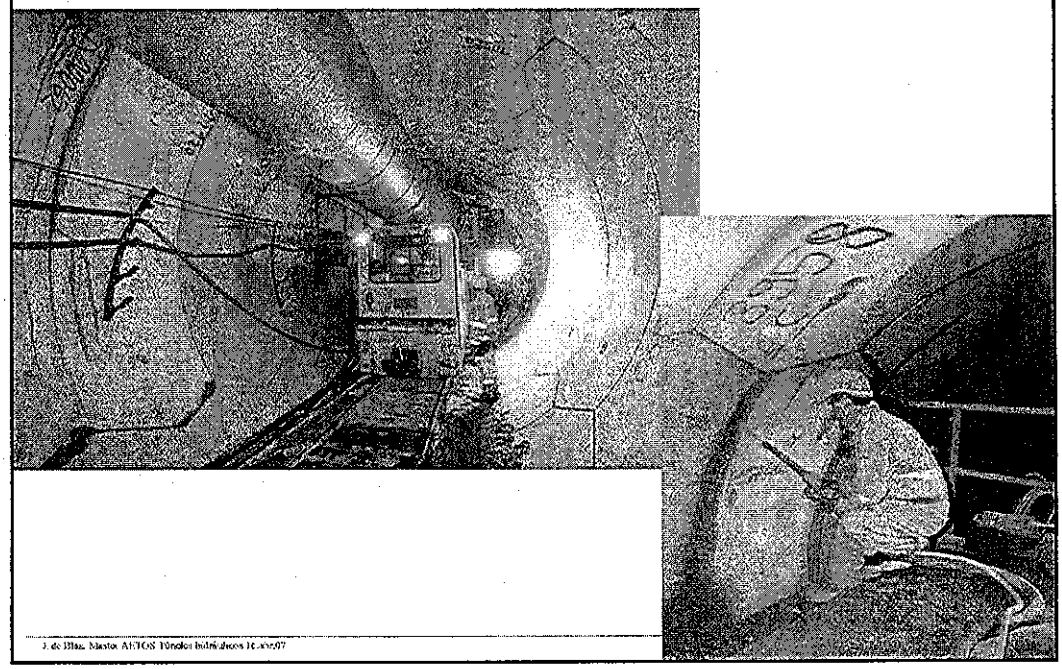
Potencia:450 MW
H_{bruto}= 723-818 m

GP: 5.550 / 4,9/ 0,4%
TF: 1.135 / 3,8/ 80%

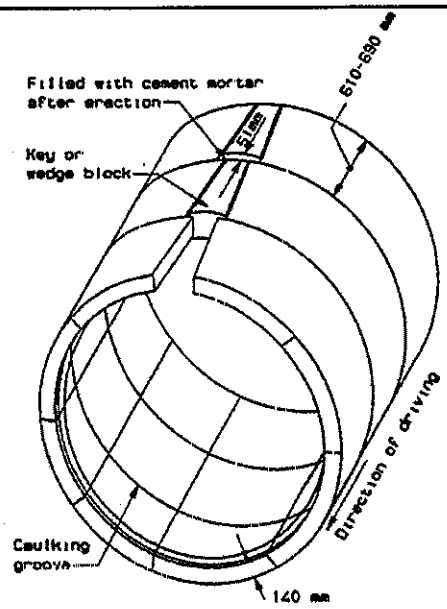
Realizada con TBM en
Pizarras micáceas y gneis



► Kopswerk II: Galería de presión

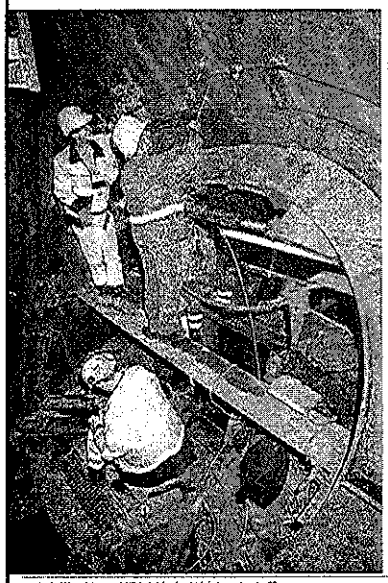


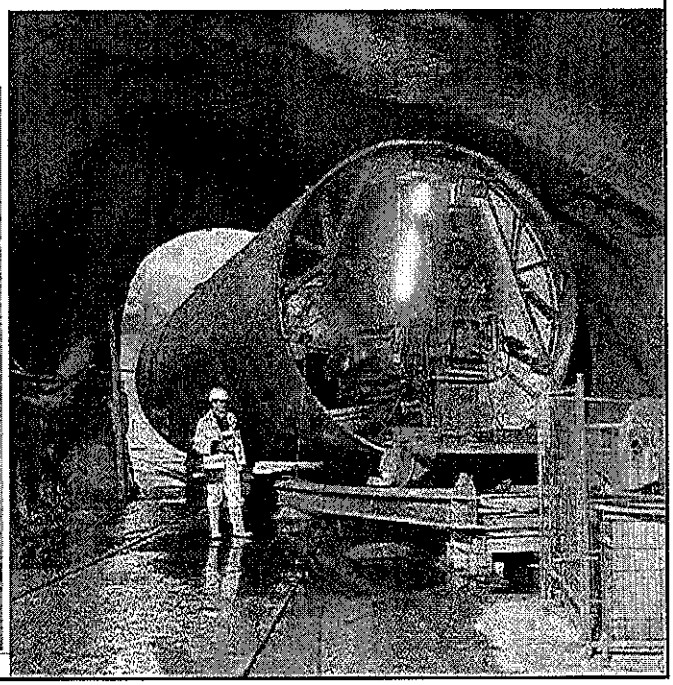
- Tratamiento de revestimiento con dovelas



VEDGE BLOCK EXPANDED CONCRETE LINING

- Kopswerk II: Tubería forzada



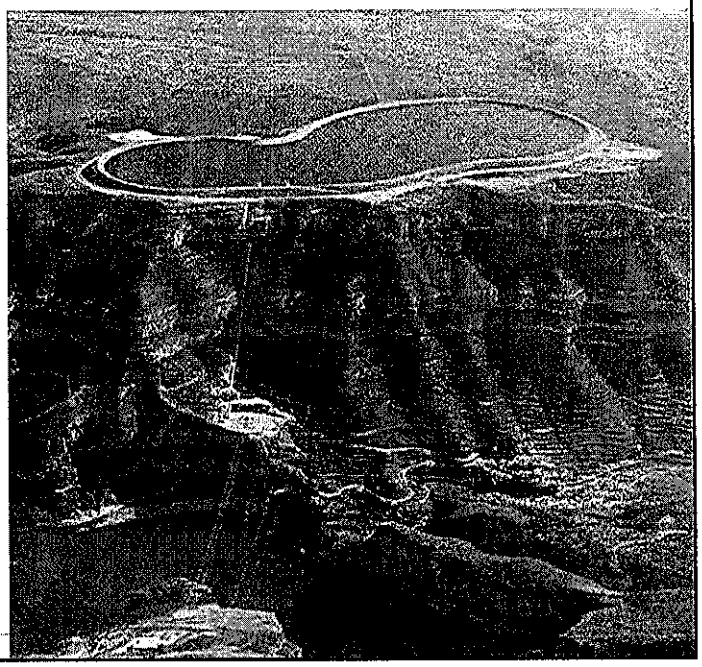
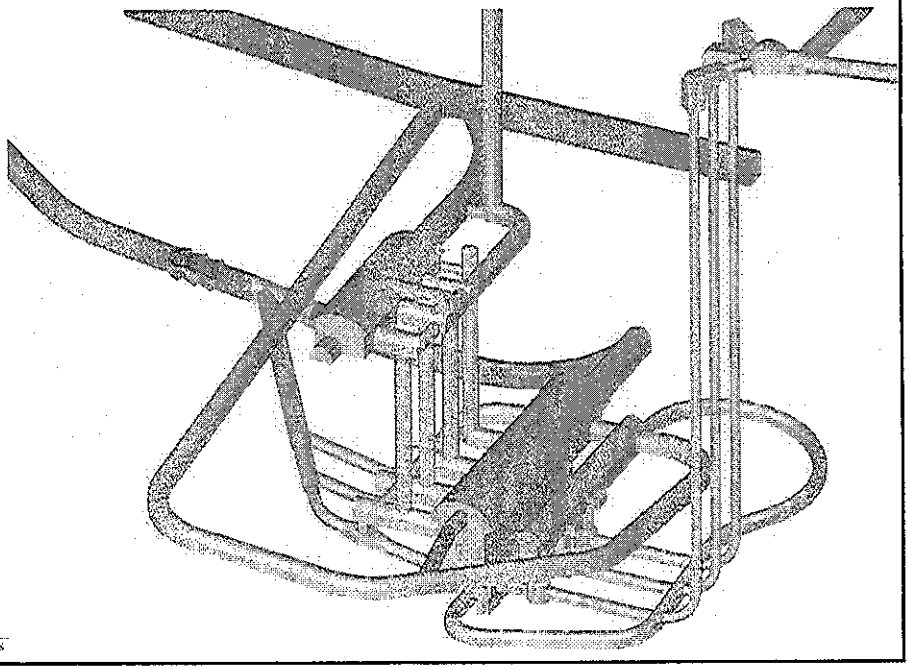


La Muela

3 x 210(t)/180(b) MW

138 ← 3 x 46 m^3/s

ΔH 723-818 m



La Muela I y II: Detalle solución anteproyecto