

Máster Universitario
en Túneles
y Obras Subterráneas

ÁREA: A
MÓDULO: GEOLOGÍA

EXCAVACIÓN DE UN TÚNEL EN ROCAS ÍGNEAS.
3. TÚNEL DE GUADARRAMA

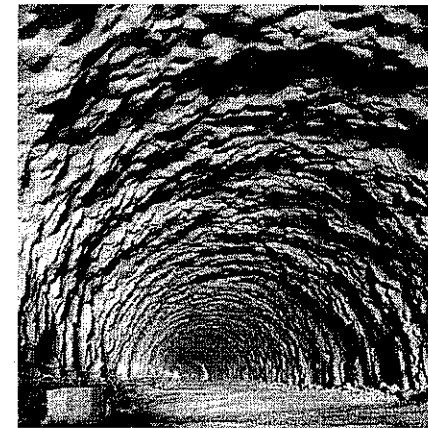
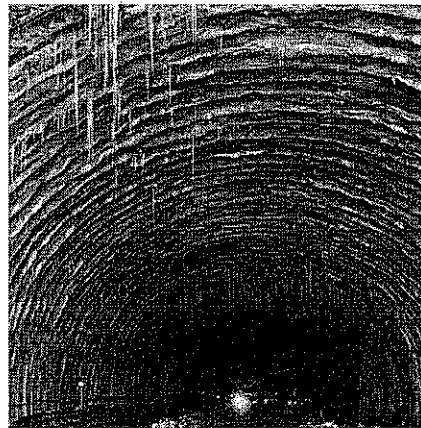
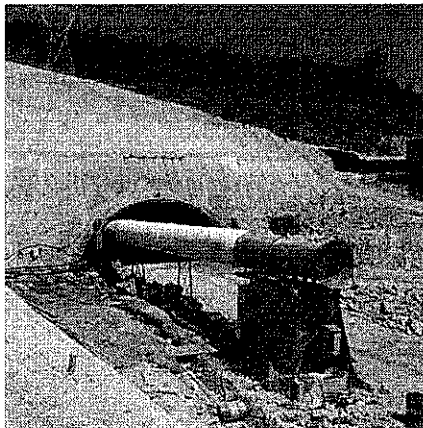
Ponente: José Luís Arévalo
Día: 29/01/07
Hora: 16:00 a 18:00



TYPSA

AETOS
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TÚNELES
Y OBRAS SUBTERRÁNEAS

UN TÚNEL EN ROCAS ÍGNEAS: TERCER TÚNEL DE GUADARRAMA. AUTOPISTA AP-6



Jose Luis Arévalo Segovia
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Departamento de Geotecnia. TYPSA
jlarevalo@typsa.es

29 de Enero de 2007

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

- Ampliación de capacidad de la AP-6
- Evolución histórica de la concesión
- Construcción de los túneles existentes
- Descripción de los tres túneles
- Esquema de los tres túneles

PROYECTO

- Geología y geotecnia
- Definición de la sección tipo
- Elección del sistema constructivo
- Definición del sostenimiento y revestimiento
- Emboquilles
- Pasos especiales
- Auscultación

CONSTRUCCIÓN

- Datos principales de ejecución
- Proceso constructivo. Túnel principal
- Construcción de las galerías
- Pasos especiales
- Impermeabilización
- Revestimiento y falsos túneles
- Instalaciones

SEGUIMIENTO DE OBRA

- Equipo de control técnico
- Levantamientos de frente
- Control de la auscultación
- Análisis de la estabilidad de cuñas y bloques
- Actualización de información geotécnica
- Control de datos de producción

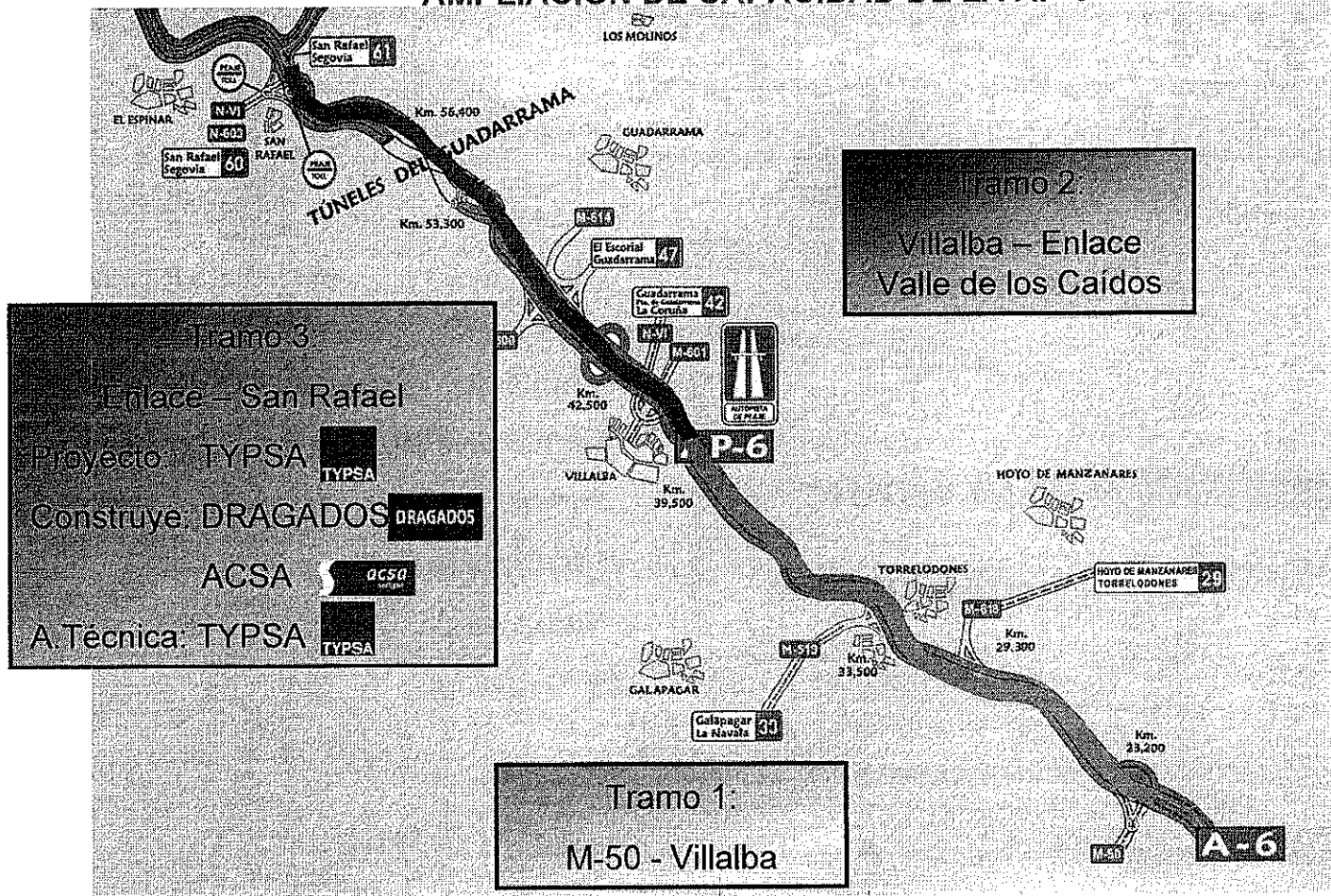


ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

- Ampliación de capacidad de la AP-6
- Evolución histórica de la concesión
- Construcción de los túneles existentes
- Descripción de los tres túneles
- Esquema de los tres túneles

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD DE LA AP-6





DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

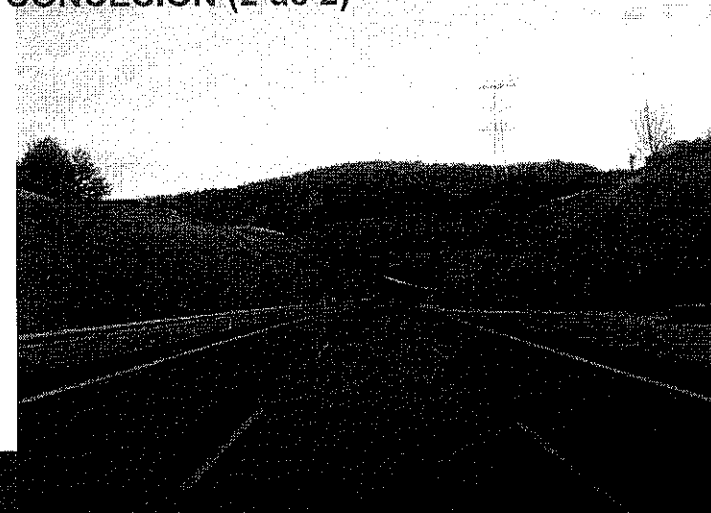
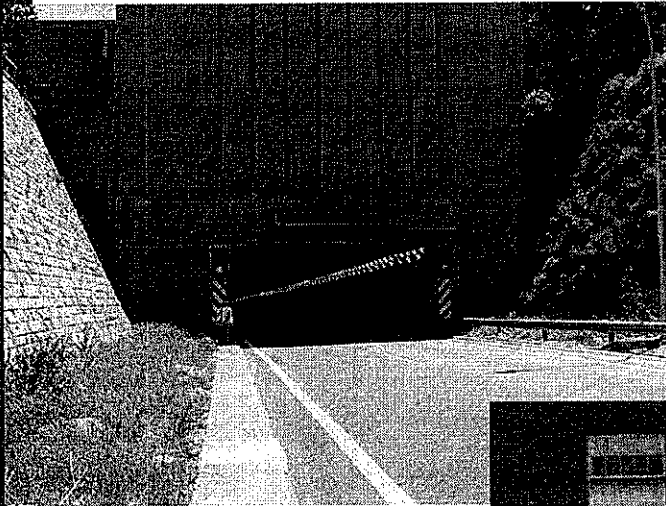
EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CONCESIÓN (1 de 2)

- 1.963 - Puesta en servicio del primer túnel de Guadarrama (Túnel 1)
 - Túnel bidireccional
 - Primera carretera de peaje de España
- 1.972 - Puesta en servicio del segundo túnel de Guadarrama (Túnel 2)
 - Dos túneles unidireccionales
- 2.004 - Comienzo de las obras del tercer túnel (Túnel 3)
 - Dos túneles unidireccionales y un túnel reversible
- 2.007 - Apertura del túnel 3
 - Obras de acondicionamiento en el túnel 1
 - Complejo régimen de explotación:
 - Túnel 2: Sentido Coruña
 - Túnel 3: Sentido Madrid
 - Túnel 1: Reversible

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CONCESIÓN (2 de 2)

BOCA NORTE TÚNEL 1



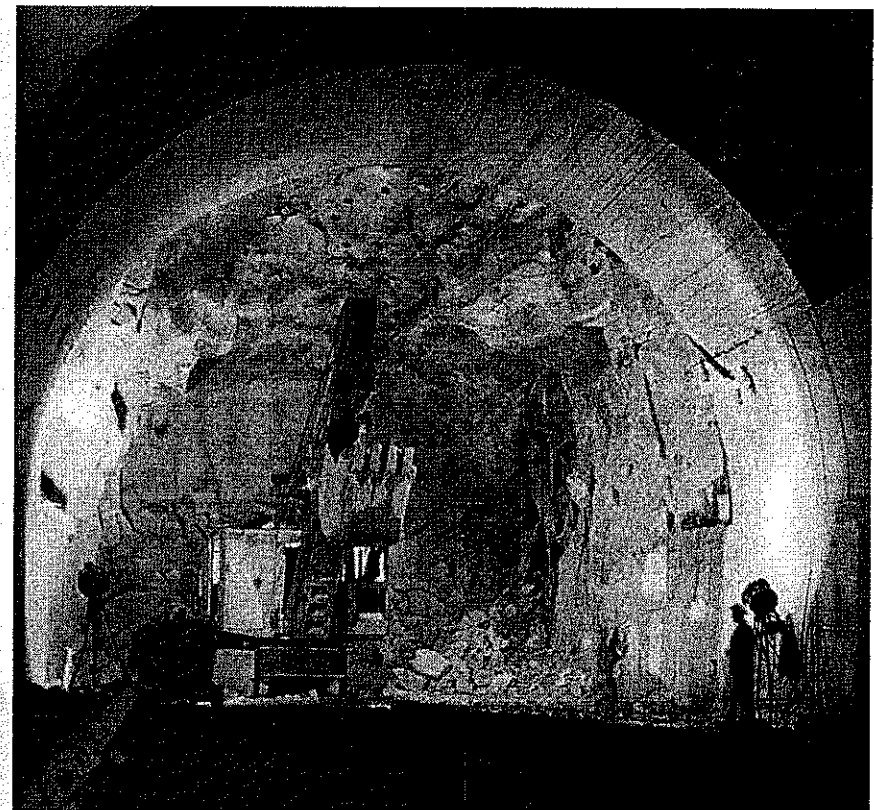
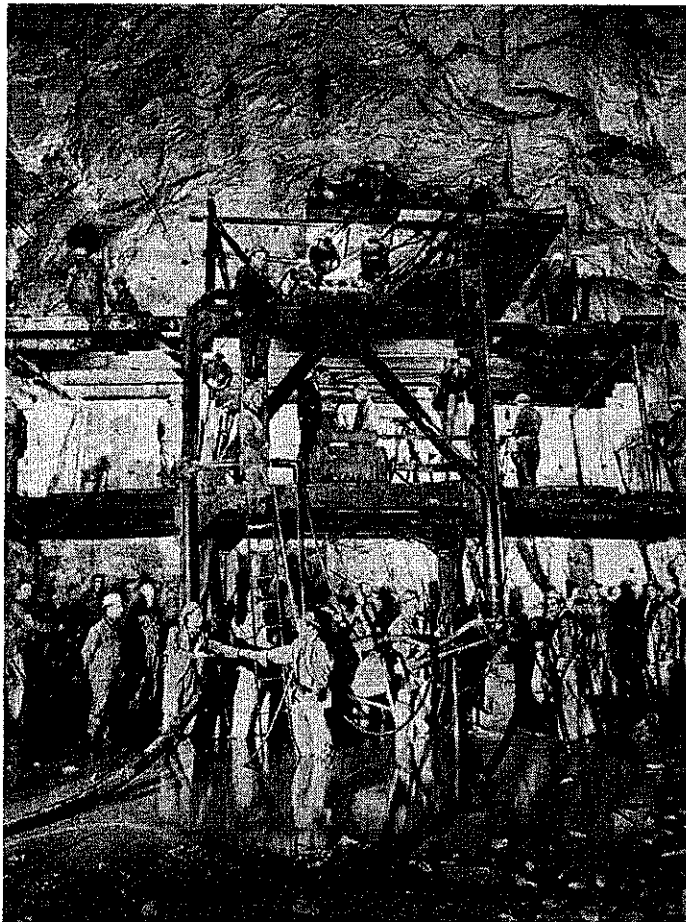
BOCA NORTE TÚNEL 3



BOCA SUR TÚNEL 2

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES EXISTENTES (1 de 4)

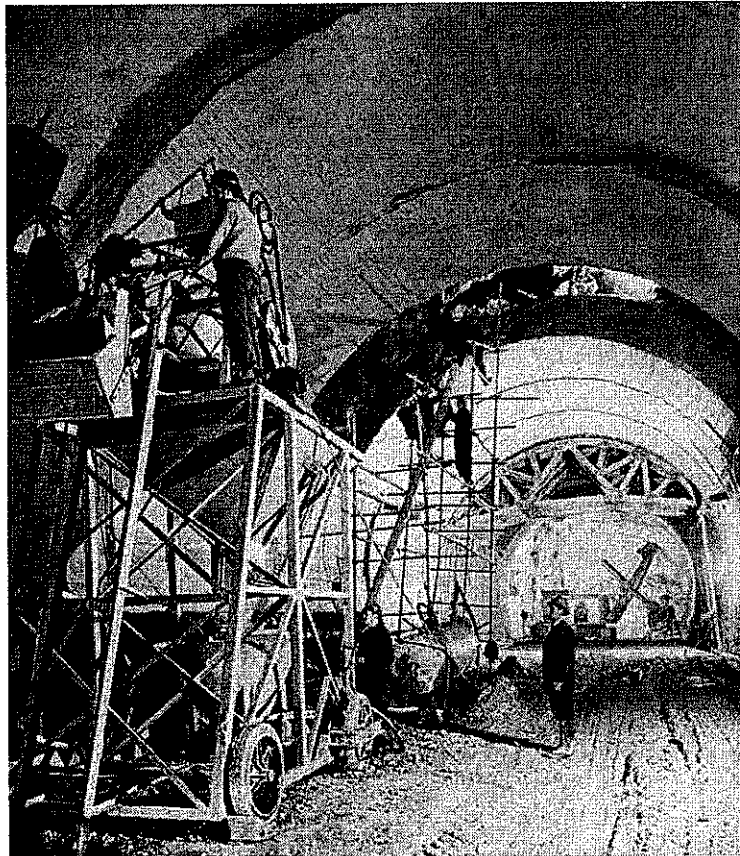


CONSTRUCCIÓN TÚNEL 1:

FEBRERO 1961 – DICIEMBRE 1963

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES EXISTENTES (2 de 4)

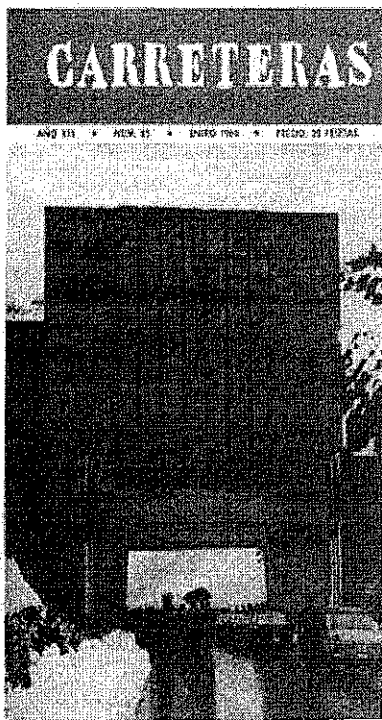


- Excavación a plena sección
- Equipos individuales de barrenado
- Hormigonado de anillos en tramos complicados
- Bulones, malla y gunita ocasionales



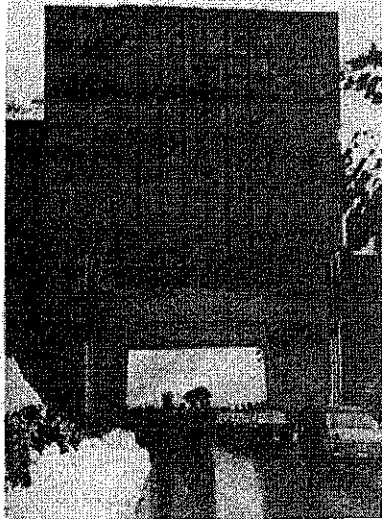


DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES EXISTENTES (3 de 4)



CARRETERAS

AÑO VIII • N.º 31 • ENERO 1964 • PÉGINO 22 (TOTAL)



EL TUNEL DEL GUADARRAMA TERMINADO

SU EXCELENCIA EL JEFE DE ESTADO LE INAUGURA EL DIA 4 DE DICIEMBRE



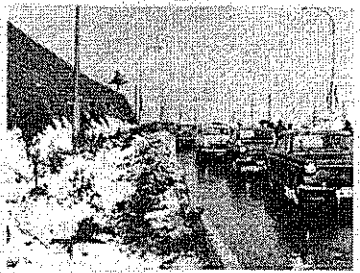
El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.



El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

El túnel de Guadarrama, que se inauguró el día 4 de diciembre, es el tercer túnel que se ha construido en España. Su longitud es de 2.150 metros y su anchura de 11 metros. El túnel fue construido por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transportes y Turismo. El túnel es el resultado de un proyecto que se inició en 1958 y que se completó en 1964.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES EXISTENTES (4 de 4)

an 60

Los mozos
"cadeneros"
del lugar
han emigrado
a Suiza

Culpable: El túnel de Guadarrama, con ochenta millones de pesetas de beneficios al año

El pueblo de San Rafael, desconsolado



La última época del automóvil ha despertado, del Guadarrama con la apertura del túnel.

Los cadeneros de Guadarrama han emigrado a Suiza. Estamos acostumbrados y, por eso, ya no nos sorprende, a que centenares de obreros especializados emigren a Alemania. Pero a Suiza... Y el pintoresco pueblo serrano de San Rafael lleva hoy la marcha de sus mozos peregrinos a tierras nevadas. ¿Por qué? ¿Por qué se han marelado decenas de mozos a Suiza, dejando hogares y esposas con los pechibrotos alados al Guadarrama?

Esta culpa la tuvo el túnel, nos dicen los que quedaron. Era un día templado de enero. De este enero en el que apenas quedan vestigios de nieve en las laderas de las montañas. En las isleteras de Guadarrama y de San Rafael se notan vientos que flotan en el nacimiento. Los vientos, con las pollizas del ciprésido que se levanta en los lados, miran, nostálgicos, hacia el Alto de los Leones.

—Este túnel va a ser nuestra ruina.
Por otro lado, por el lado de los que llegaron a Guadarrama sólo a hacer negocio, se escuchan frases de tipo semejante. El túnel de Guadarrama, una ruina para todos...

JUEGO DE MILLONES

Un día, no muy lejano, alguien pensó que sería un buen negocio buscar un sitio por donde pasaran los

automóviles sin necesidad de subir el puerto de Guadarrama. Hacer un cruce a cambio de un poquito de plata. Y la solución —no había otra— era la de perforar la gigantesca roca del puerto, arrastrar pedruzcos de las mismas enroscas del monte y dejar un hueco, tan como una ranada, plano como un campo de fútbol. Y la idea, que ya tiene antecedentes felices en el extranjero, se comenzó a llevar a la práctica.

La primera detonación de dinamita sometió a los alrededores del lugar. Y los avos, abrumados, emprendieron un vuelo tembloroso en busca de una atalaya que fuera más sólida y tranquila. Fue el primer aviso.

No había nada que hacer. El progreso, una vez más, paga con las tradiciones más íntimas del hombre. El cadenero, ese mozo torcido, sufrido, con la piel quemada por los vientos cálidos o fríos del puerto, sería liberado, por decirlo así, de su ruda tarea.

Responso a las veillas de la carretera, con las botas hundidas en la nieve, ofrecían cadenas a los autobuzistas para ayudarle a subir el puerto. Cobraban docenas o trescientas pesetas por adquirirlos. Demasiado caro. Pero no las aceptaban, y había meses que guardaban vejiguitas o trinitas mil pesetas. Ahora, con el túnel, no tiene razón de ser en Guadarrama.

De «Sábado Gráfico», de Madrid (1 febrero 1964).

REVISTA "SÁBADO GRÁFICO" (Febrero 1964)

“... Un día, no muy lejano, alguien pensó que sería un buen negocio buscar un sitio por donde pasaran los automóviles sin necesidad de subir el puerto de Guadarrama...”

“... No había nada que hacer. El progreso, una vez más, pudo con las tradiciones más íntimas del hombre. El “cadenero”, ese mozo fornido, sufrido, con la piel quemada por los vientos cálidos o fríos del puerto, sería liberado, por decirlo así, de su ruda tarea”

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

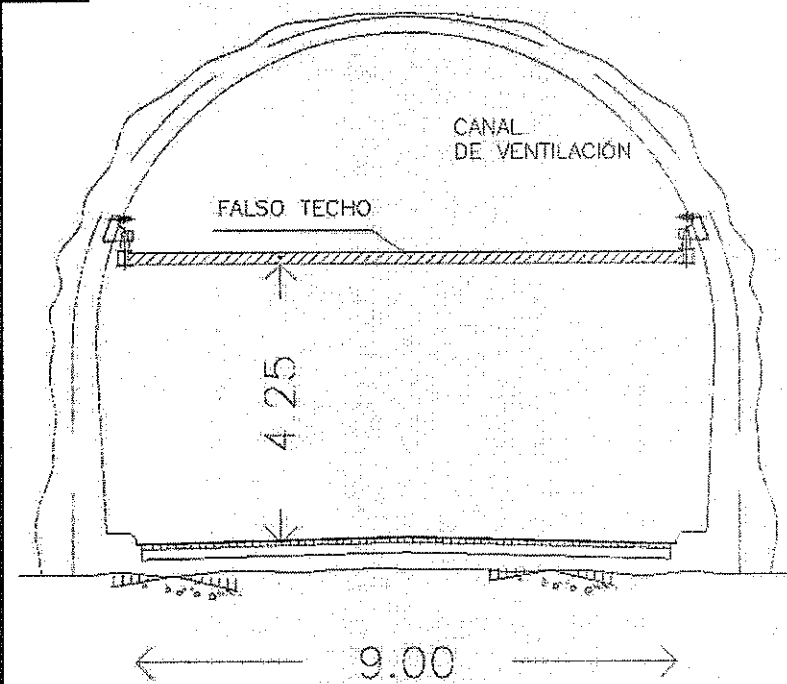
DESCRIPCIÓN DE LOS TÚNELES (1 de 2)

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TRES TÚNELES

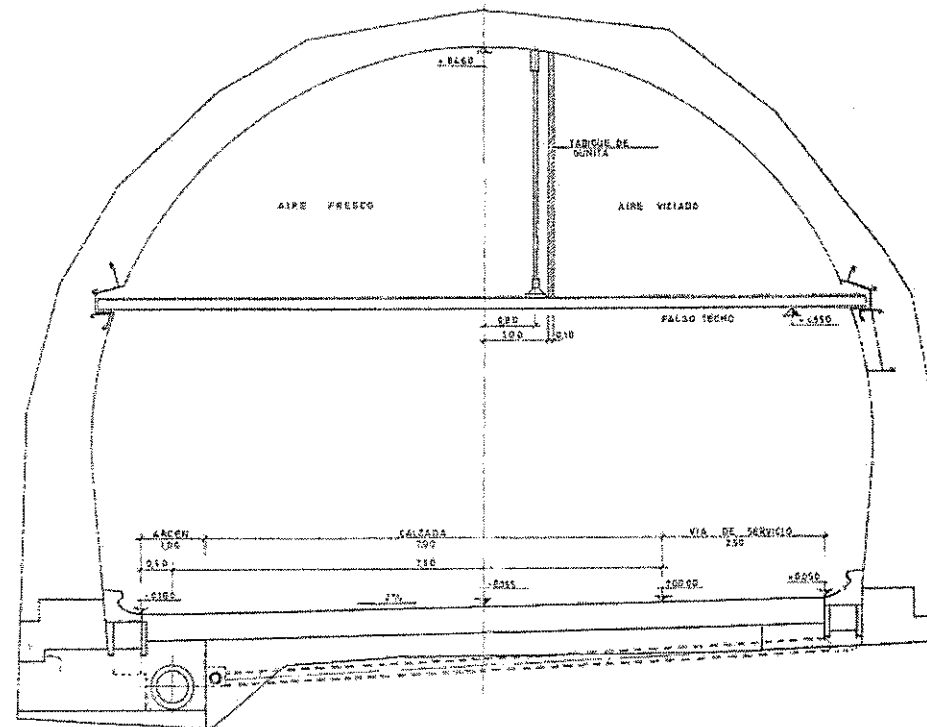
	Túnel I (1963)	Túnel II (1972)	Túnel III (2007)
Longitud	2.870 m	3.340 m	3.148 m
Cota Boca Sur (Guadarrama)	1.195 m	1.228 m	1.229 m
Cota Boca Norte (San Rafael)	1.292 m	1.258 m	1.275 m
Pendiente	-3,46 %	0,89 %	-1,50 %
Radio mínimo en planta	1.000 m	850 m	2.000 m
Anchura total	10,30 m	11,67 m	14,68 m
Anchura afirmada	9,00 m	10,50 m	12,50 m
Radio de la bóveda de clave	5,10 m	6,00 m	8,44 m
Altura en el eje	7,78 m	8,40 m	7,85
Gálbo vertical de circulación	4,25 m	4,35 m	5,00 m
Sistema de ventilación	Semitransversal	Semitransversal	Longitudinal
Sección libre	43,5 + 26,5 m ²	51,6 + 33,6 m ²	96,65 m ²

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN
DESCRIPCIÓN DE LOS TÚNELES (2 de 2)

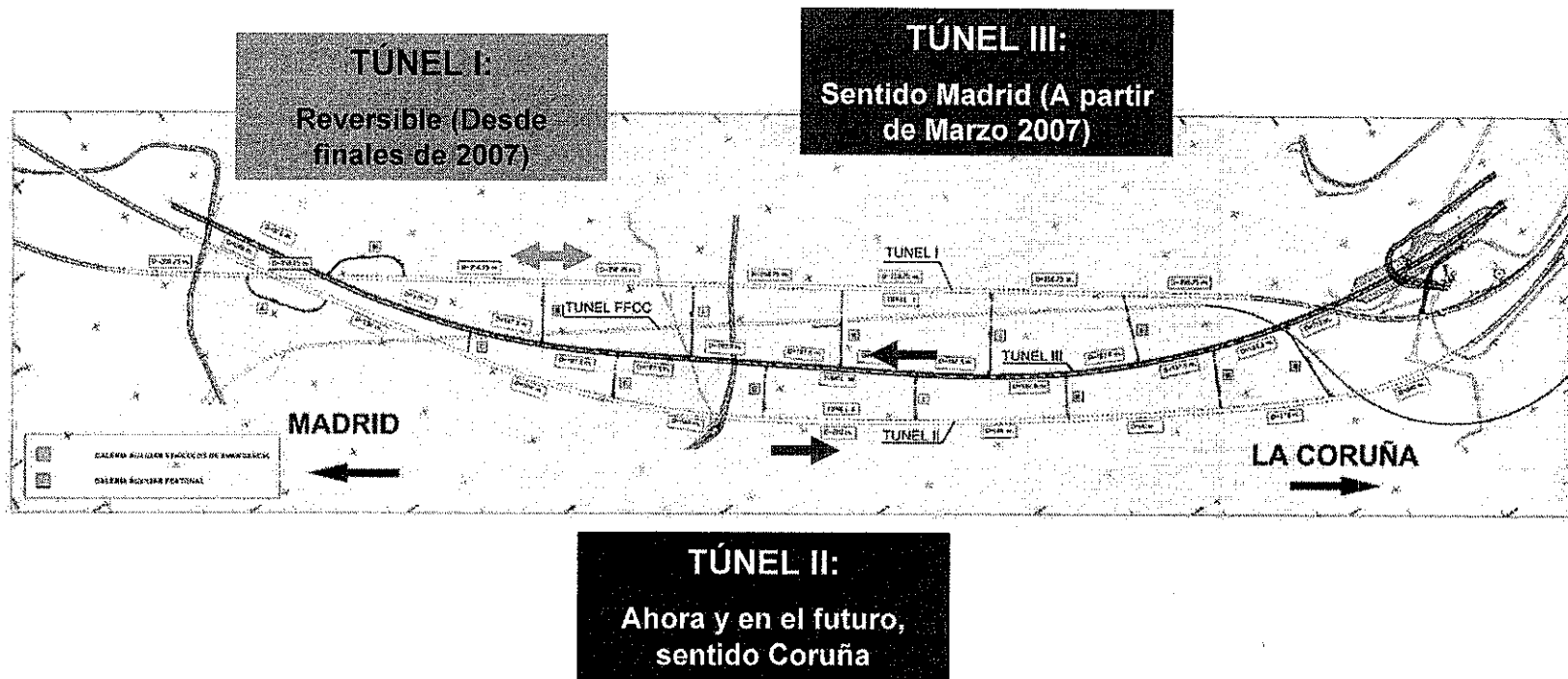
TÚNEL I (1963)



TÚNEL II (1972)

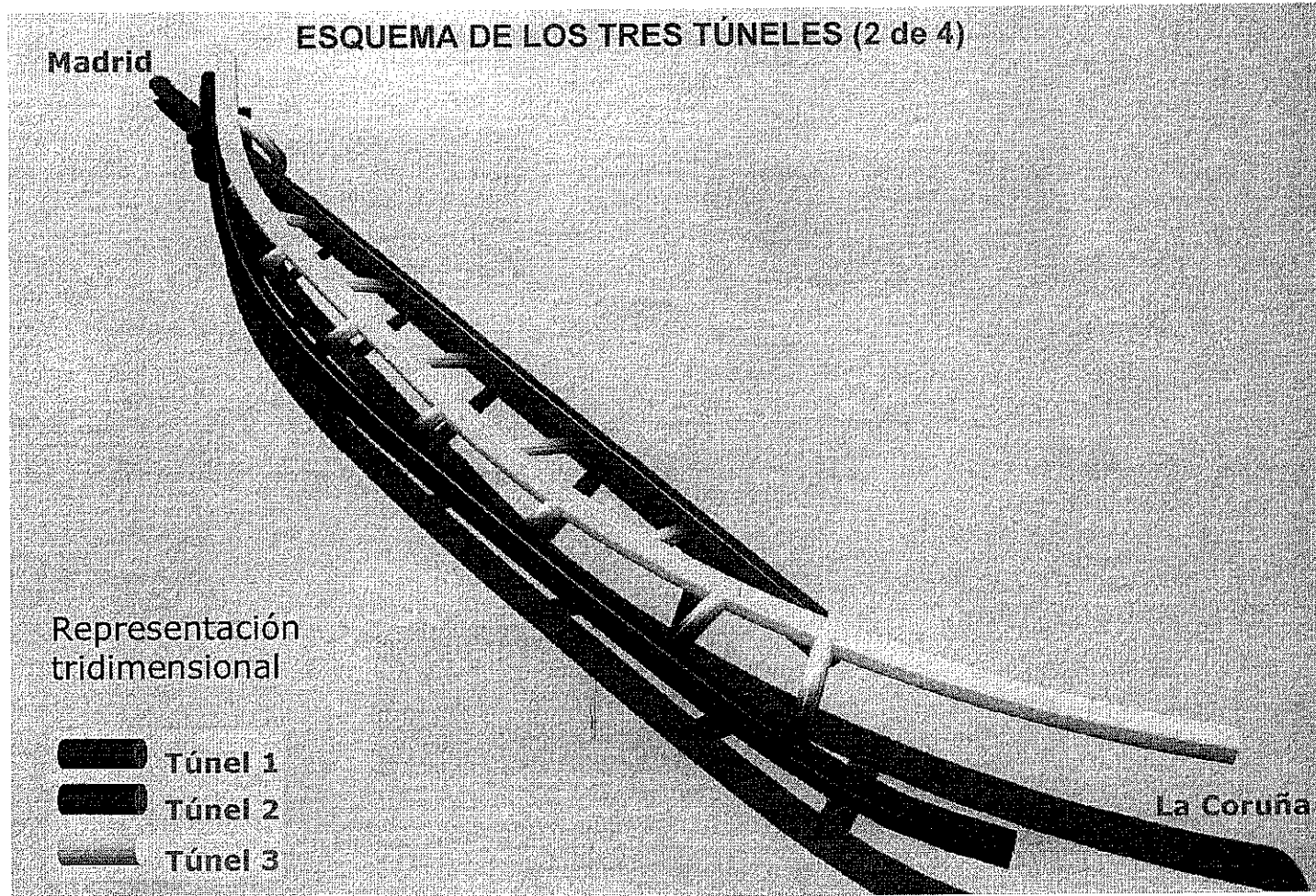


DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN ESQUEMA DE LOS TRES TÚNELES (1 de 4)



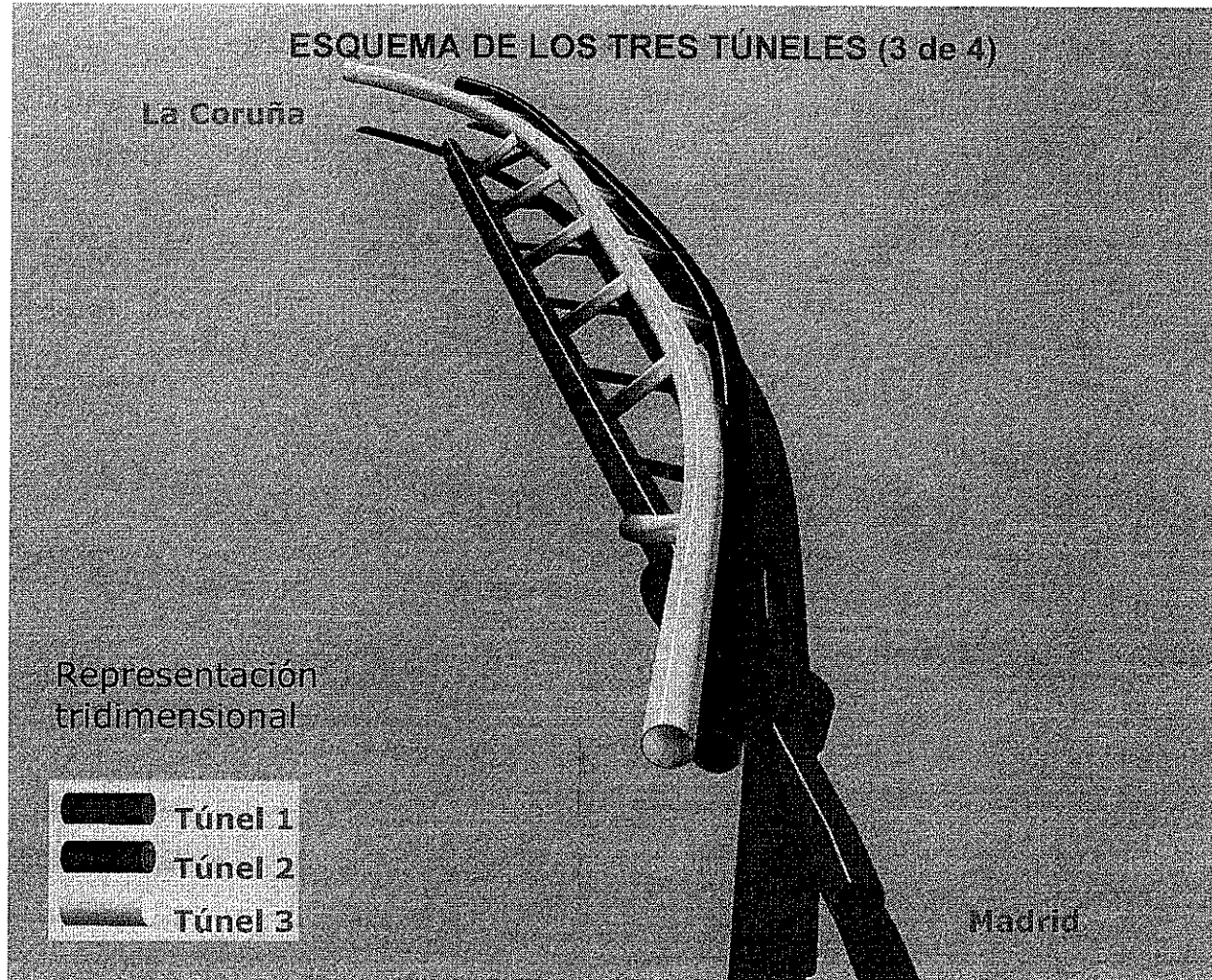
DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

ESQUEMA DE LOS TRES TÚNELES (2 de 4)



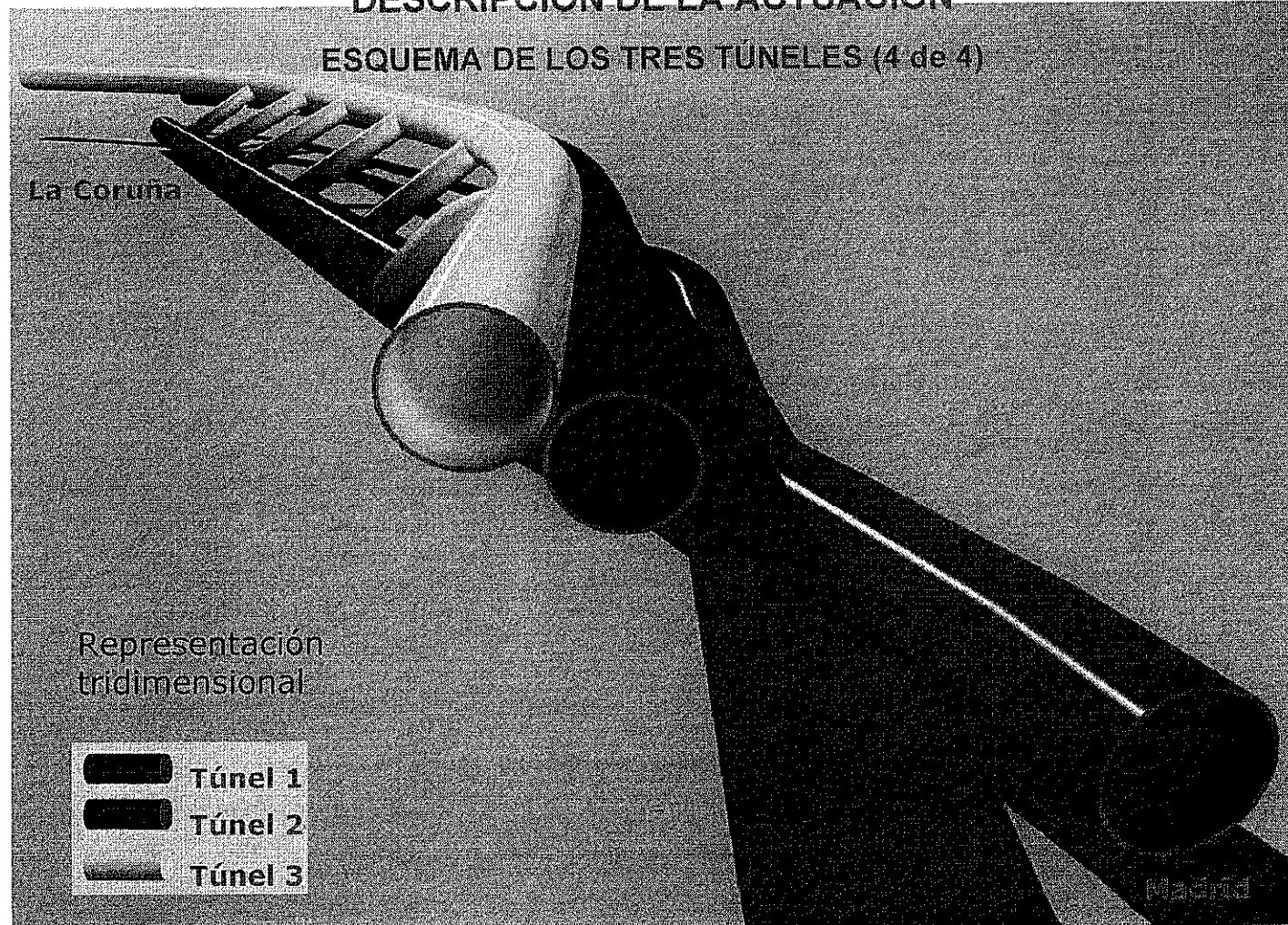
DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

ESQUEMA DE LOS TRES TÚNELES (3 de 4)



DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

ESQUEMA DE LOS TRES TÚNELES (4 de 4)





ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

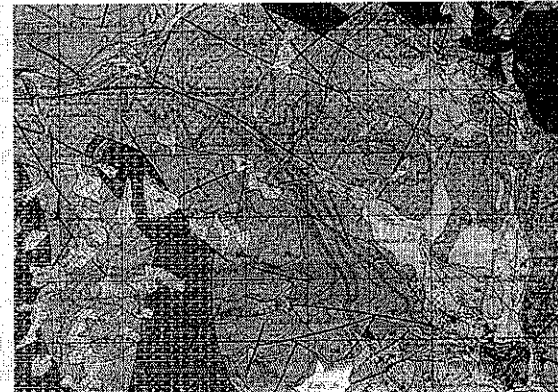
PROYECTO

- Geología y geotecnia
- Definición de la sección tipo
- Elección del sistema constructivo
- Definición del sostenimiento y revestimiento
- Emboquilles
- Pasos especiales
- Auscultación

GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

- Sector central de la Sierra de Guadarrama, entre las provincias de Madrid y Segovia
- Zona centro ibérica del macizo Hercínico
- Rocas ígneas y metamórficas de edades comprendidas entre el Precámbrico y el Paleozoico (600 – 300 m.a.)
 - Metamórficas: Ortoneises glandulares, no afectados por el túnel
 - Ígneas: Constituidas por distintas facies graníticas
- En Proyecto se distinguen hasta tres facies graníticas diferentes, si bien sólo dos de ellas son afectadas por la excavación del túnel:
 - Granitos con cordierita, tipo Alpedrete (G_2)
 - Leucogranitos de grano fino (G_3)

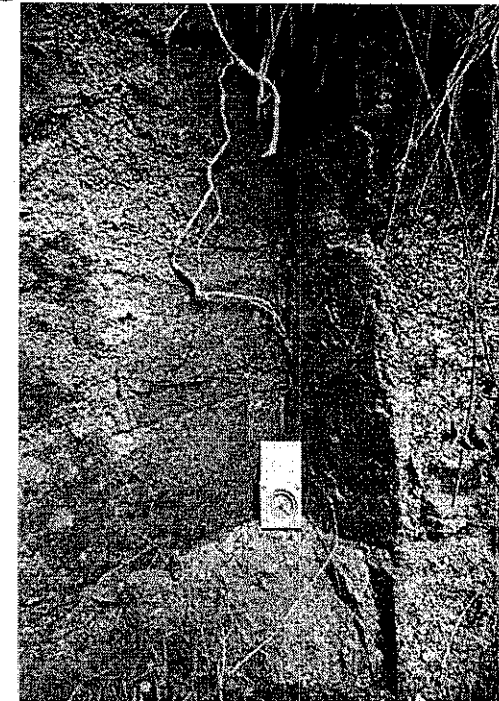


GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO

Dos tipos de estructuras principales

- Juntas planas y continuas distribuidas en 3 familias principales, ortogonales entre sí, con variantes y diaclasas ocasionales. En total hasta 7-8 familias de juntas
- Fallas y fracturas con brechas de falla areno – arcillosas de poco espesor, orientadas subparalelamente a las 3 direcciones de diaclasas principales



GEOLOGÍA Y GEOTECNIA HIDROGEOLOGÍA

- Permeabilidad primaria limitada a los suelos de recubrimiento superficiales (jabres)
- Permeabilidad secundaria por fracturación que se cierra en profundidad. Mayor en tramos afectados por fallas, que se acompañan de intensa fracturación
- Mediciones de caudal en los sistemas de drenaje de los dos túneles existentes. Unos 100 l/min (Abril 2002)
- Ensayos Lugeon en sondeos: permeabilidad entre 10^{-7} y 10^{-9} m/s

RESULTADO:

- Problemas de infiltración esperables sólo en tramos de emboquille (bajo recubrimiento) y fallas
- Tratamiento de impermeabilización previo a la ejecución del revestimiento definitivo
- Geotextil de 500 gr/cm^2 y lámina de PVC de 1,5 mm de espesor

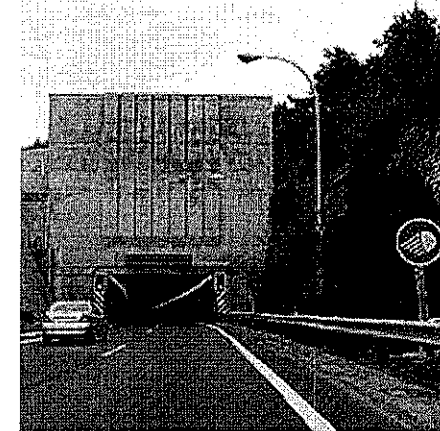


GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA (1 de 6)

INFORMACIÓN PREVIA

- Proyecto as-built del túnel II
- Estudio previo tercer túnel (INGEOTEC)
- Estudio informativo (EPTISA)
- Diario de obra del túnel II
 - Avance por pase
 - Detalle de tramos a media sección
 - Descripción somera de sostenimiento
- Recorrido geotécnico del túnel de ferrocarril
 - Levantamiento detallado del estado actual
 - 48 Estaciones geomecánicas en nichos



GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA (2 de 6)

DIARIO DE OBRA DEL TÚNEL II

Información extraída de los diarios de obra redactados durante la construcción del túnel II

“Veta de arena en frente. Se forma una “chimenea”. Desprendimiento de terreno en bóveda. Se detiene la perforación una semana”

Análisis de los datos obtenidos en el campo de los trabajos de perforación y explotación de túneles y obras subterráneas.

Día	Hora	DESCRIPCIÓN DE LA OBRA		Método	Materiales	Observaciones	Estado	Temperatura ambiente	Temperatura túnel	Temperatura roca	Observaciones
		Actividad	Horas								
10/01	08:00	1	10								
11/01	08:00	1	10								
12/01	08:00	1	10								
13/01	08:00	1	10								
14/01	08:00	1	10								
15/01	08:00	1	10								
16/01	08:00	1	10								
17/01	08:00	1	10								
18/01	08:00	1	10								
19/01	08:00	1	10								
20/01	08:00	1	10								
21/01	08:00	1	10								
22/01	08:00	1	10								
23/01	08:00	1	10								
24/01	08:00	1	10								
25/01	08:00	1	10								
26/01	08:00	1	10								
27/01	08:00	1	10								
28/01	08:00	1	10								
29/01	08:00	1	10								
30/01	08:00	1	10								
31/01	08:00	1	10								

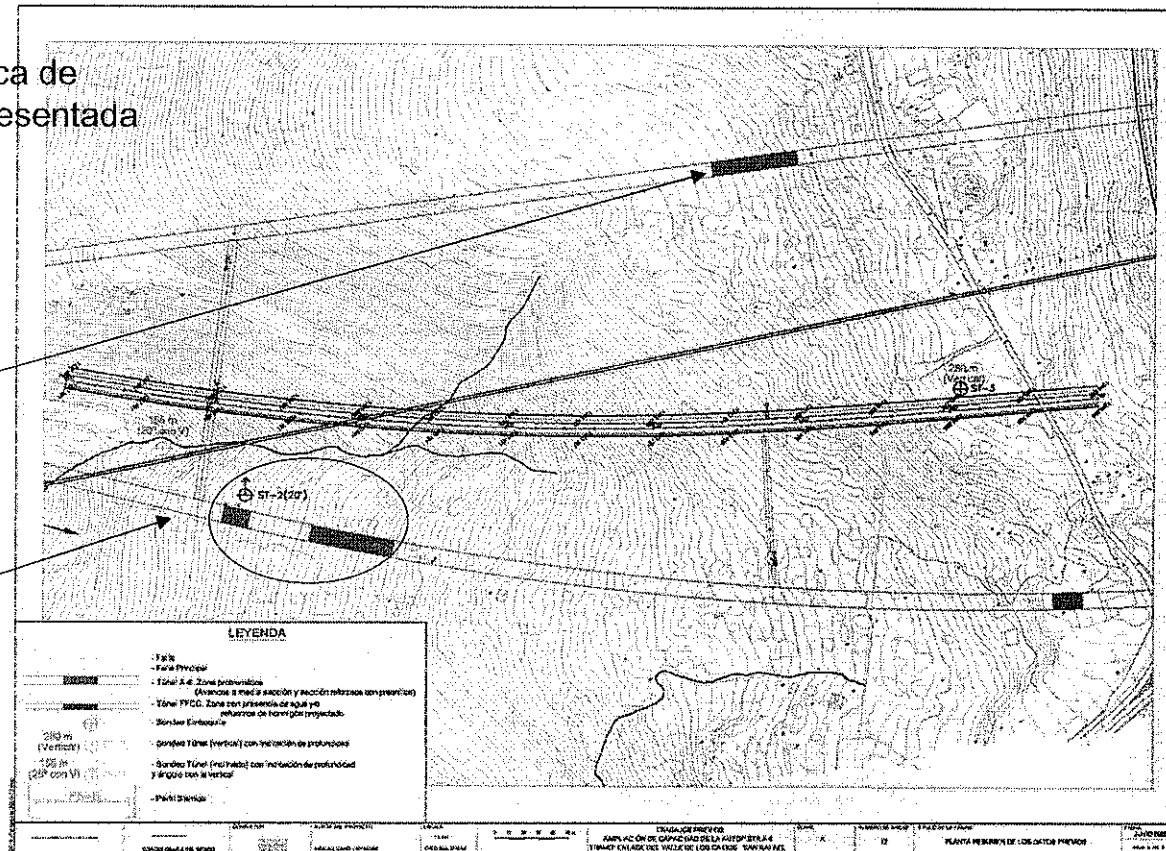
Análisis de los datos obtenidos en el campo de los trabajos de perforación y explotación de túneles y obras subterráneas.

GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA (3 de 6)
DIARIO DE OBRA DEL TÚNEL II

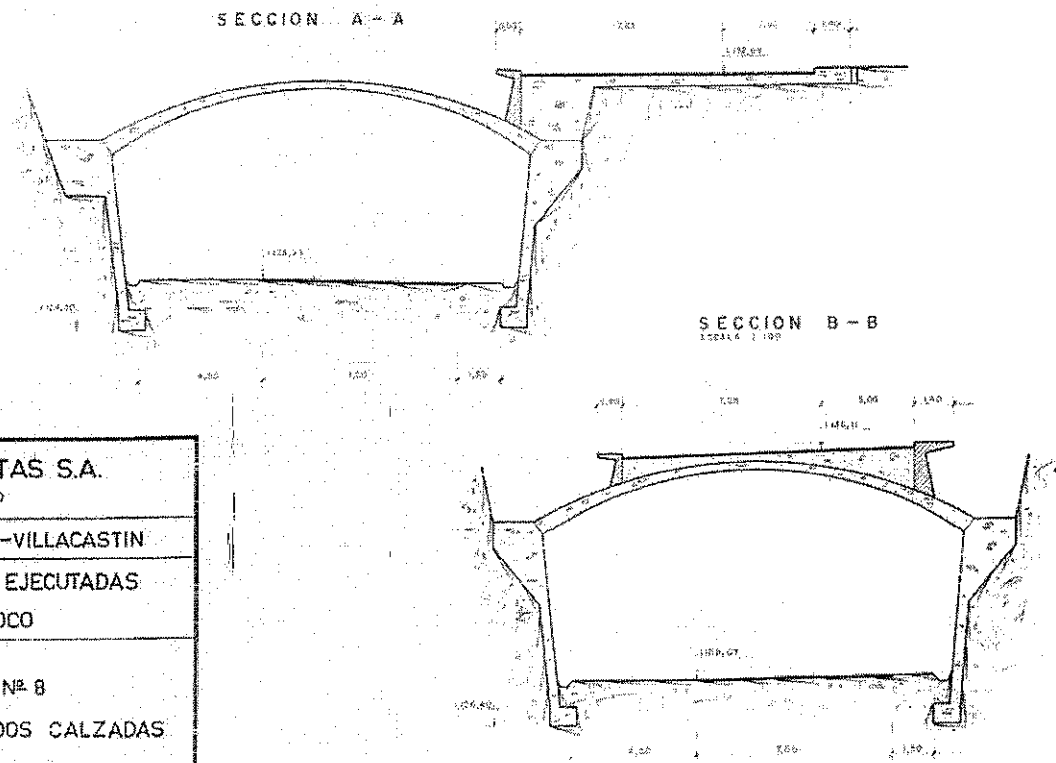
Información geotécnica de proyectos anteriores representada en planos



Posible falla

Zonas problemáticas (fallas, chimeneas, etc...)



GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA (4 de 6)



IBERICA DE AUTOPISTAS S.A. CONCESIONARIA DEL ESTADO			
AUTOPISTA DE PEAJE VILLALBA-VILLACASTIN			
ESTADO FINAL DE LAS OBRAS EJECUTADAS TRAMO VILLALBA-CALOCO			
COTEJO 	TITULO DEL PLANO PUENTE Nº 8 CRUCE DE LAS DOS CALZADAS		
EL INGENIERO DIRECTOR 	COLABORADORES AEPO, S.A. Empresa Consultora	FECHA Julio 1972 HOJA 191 DE 245	Nº DEL PLANO 1.1.7-40

AS-BUILT DEL TÚNEL II Y AUTOPISTA

GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

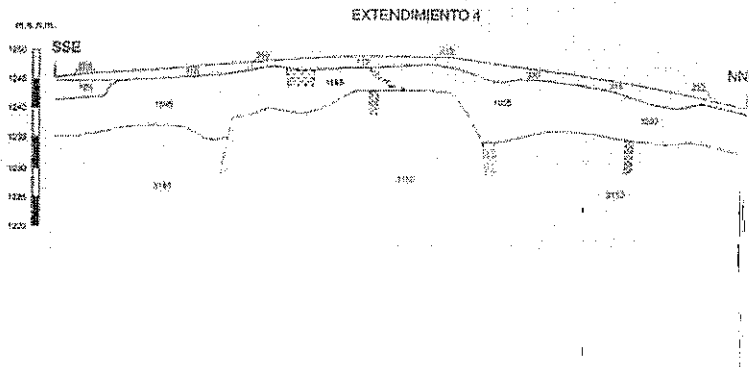
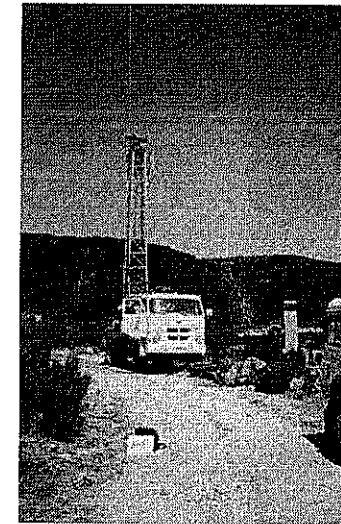
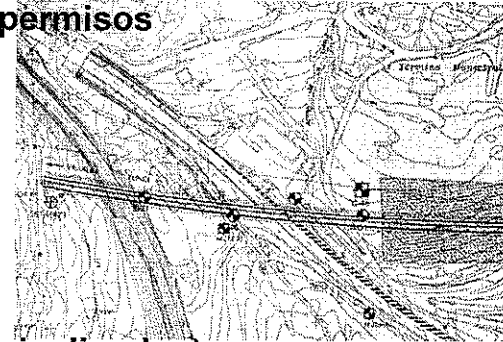
INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA (5 de 6)

CAMPAÑA GEOTÉCNICA

- Gran dificultad para la obtención de permisos

Sondeos. 1307 m perforados:

- Emboquille Sur: 4 sondeos
- Emboquille Norte: 5 sondeos
- Traza del túnel: 6 sondeos (2 de ellos inclinados)



Geofísica. Sísmica de refracción:

- Emboquille Sur: 3 perfiles (240 m)
- Emboquille Norte: 5 perfiles (450 m)



GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA (6 de 6)

CAMPAÑA GEOTÉCNICA. ENSAYOS IN SITU



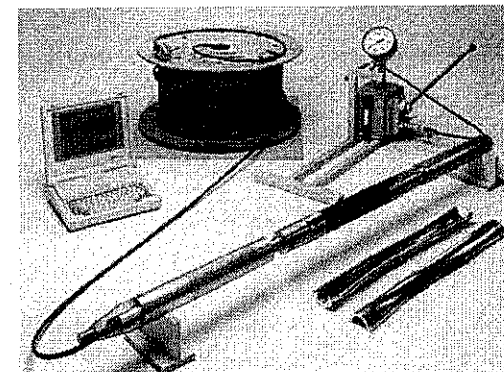
Ensayos presiométricos:

- 32 ensayos en el macizo granítico



Ensayos Lugeon de permeabilidad:

- 18 ensayos en sondeos de túnel y emboquille



Geofísica en interior de sondeo:

- Reflexión – absorción rayos gamma
- Medida de inclinación y desviación real de sondeos

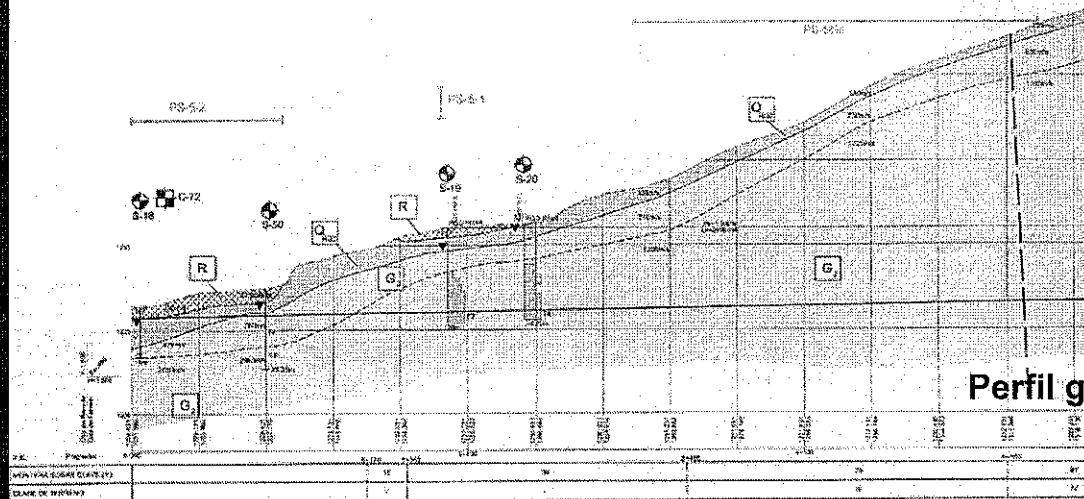
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

TRAMIFICACIÓN DEL TÚNEL (1 de 2)

Identificación de terrenos tipo

Asignación a lo largo del túnel

Terreno tipo	Calidad del macizo rocoso			Longitud	
	RMR	Q	Descripción	m	%
I	>70	>20	Calidad óptima	150	5
II	55 - 70	3,5 - 20	Macizo de calidad buena	2133	71,1
III	40 - 55	0,5 - 3,5	Calidad aceptable a buena	275	9,2
IV	20 - 40	0,05 - 0,5	Zonas de falla	24	13,9
V	-	-	Emboquilles	24	0,8



Perfil geológico – geotécnico de túnel

GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

TRAMIFICACIÓN DEL TÚNEL (2 de 2)

Ensayos de laboratorio:

- Compresión simple
- Triaxiales en roca
- Tracción indirecta
- Lamina delgada
- Velocidad sónica
- Schimacek
- Dureza y abrasividad Cerchar



Asignación de parámetros representativos de la roca intacta (no del macizo rocoso):



Parámetro	Unidades	Valor	
Densidad aparente	ton/m ³	2.20	
Resistencia a compresión simple	MPa	2-3	
Granulometría	Contenido de gravas	Gr: %	35
	Contenido de arenas	A: %	55
	Contenido de finos	F: %	10
Plasticidad	Límite líquido	LL: %	NP
	Índice de plasticidad	Ip: %	NP
Mohr - Coulomb	Cohesión	c: t/m ²	0.8
	Ángulo de rozamiento interno	φ: °	40
Índice de Schimacek	Kg/cm	>0.05	
Abrasividad Cerchar	mm	1-2	
Dureza Cerchar	seg/cm		

Granitos alterados. Gr. IV

Base para determinar los parámetros del macizo rocoso

Parámetro	Unidades	Valor	
Densidad aparente	ton/m ³	2.55	
Resistencia a compresión simple	MPa	25.0	
Resistencia a tensión	MPa	3.8	
Módulo de deformación	MPa	10.000	
Coefficiente de Poisson	ν	0.22	
Dilatancia	ε	10	
Mohr - Coulomb	Cohesión	c: t/m ²	80.0
	Ángulo de rozamiento interno	φ: °	38
Hoek - Brown	Constante del material	m	52
	Constante del material reducida	m _r	3.140
	Constante del macizo rocoso	s	0.0007
	Constante del macizo rocoso	b	0.516
Índice de Schimacek	Kg/cm	0.049	
Abrasividad Cerchar	mm	2.40	
Dureza Cerchar	seg/cm	>600	

Granitos moderadamente meteorizados. Gr III

Parámetro	Unidades	Valor	
Densidad aparente	ton/m ³	2.64	
Resistencia a compresión simple	MPa	69.5	
Resistencia a tensión	MPa	9.5	
Módulo de deformación	MPa	25.000	
Coefficiente de Poisson	ν	0.28	
Dilatancia	ε	2-3	
Mohr - Coulomb	Cohesión	c: t/m ²	180.0
	Ángulo de rozamiento interno	φ: °	56
Hoek - Brown	Constante del material	m	50
	Constante del material reducida	m _r	11.258
	Constante del macizo rocoso	s	0.0117
	Constante del macizo rocoso	b	0.503
Índice de Schimacek	Kg/cm	0.615	
Abrasividad Cerchar	mm	5.43	
Dureza Cerchar	seg/cm	>600	

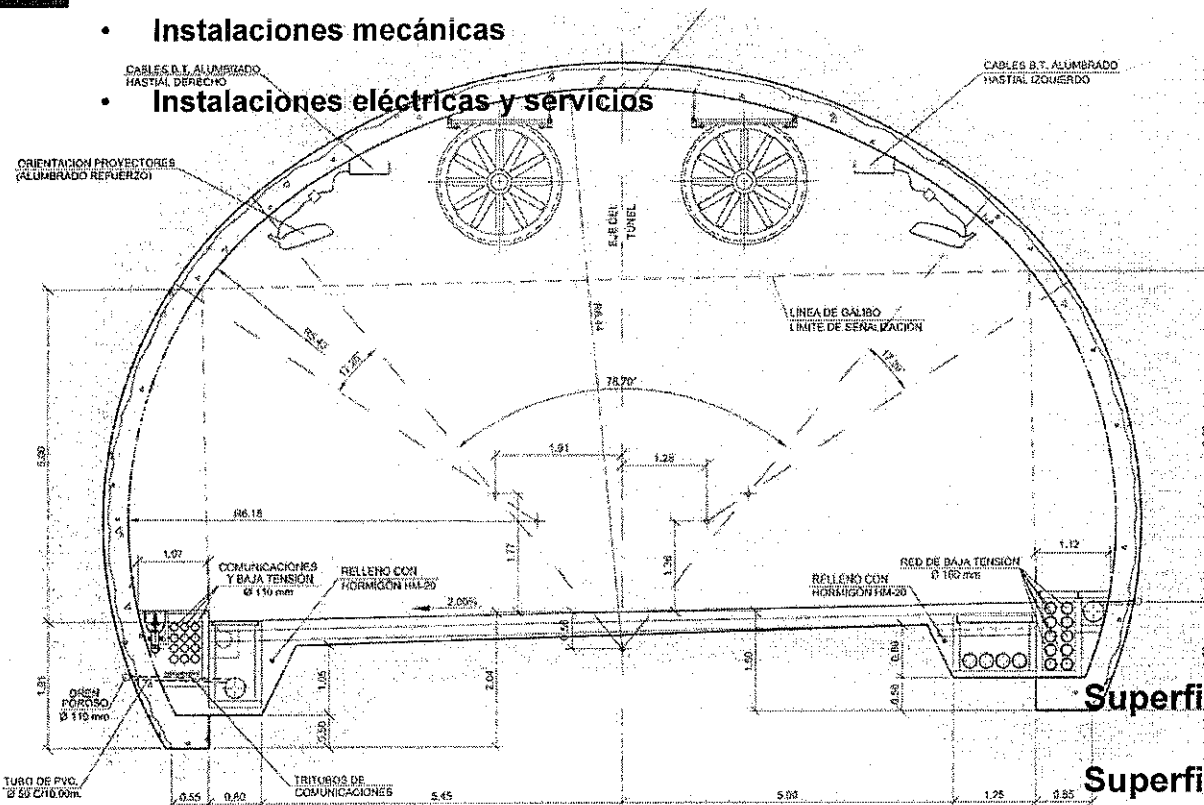
Granitos sanos. Gr. I-II

DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN TIPO

Condicionantes:

ENCAJE GEOMÉTRICO (1 de 2)

- Gálibos horizontal y vertical exigidos por la Normativa de Trazado 3.1-IC
- Sistemas de drenaje de túnel: aguas de infiltración y aguas procedentes de la calzada
- Instalaciones mecánicas
- Instalaciones eléctricas y servicios



Gálibos (norma 3.1-IC)

Ventilación longitudinal

Caz de aguas de calzada

Recogida infiltraciones

Colector y arqueta sifónica

Red de comunicaciones

Red de baja tensión

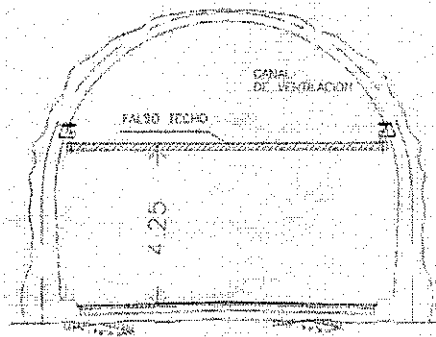
Red de media tensión

Superficie de excavación: 124 m²

Superficie libre: 96 m²

DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN TIPO

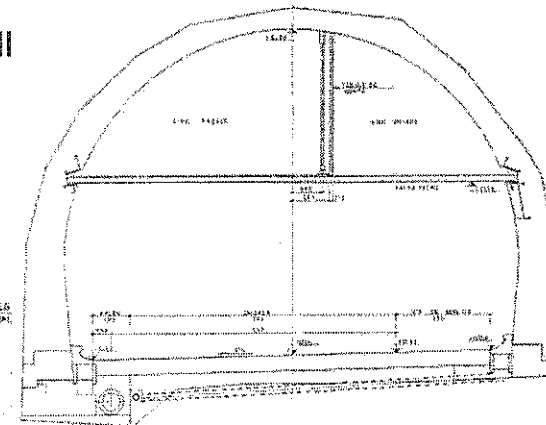
TÚNEL I (1963)



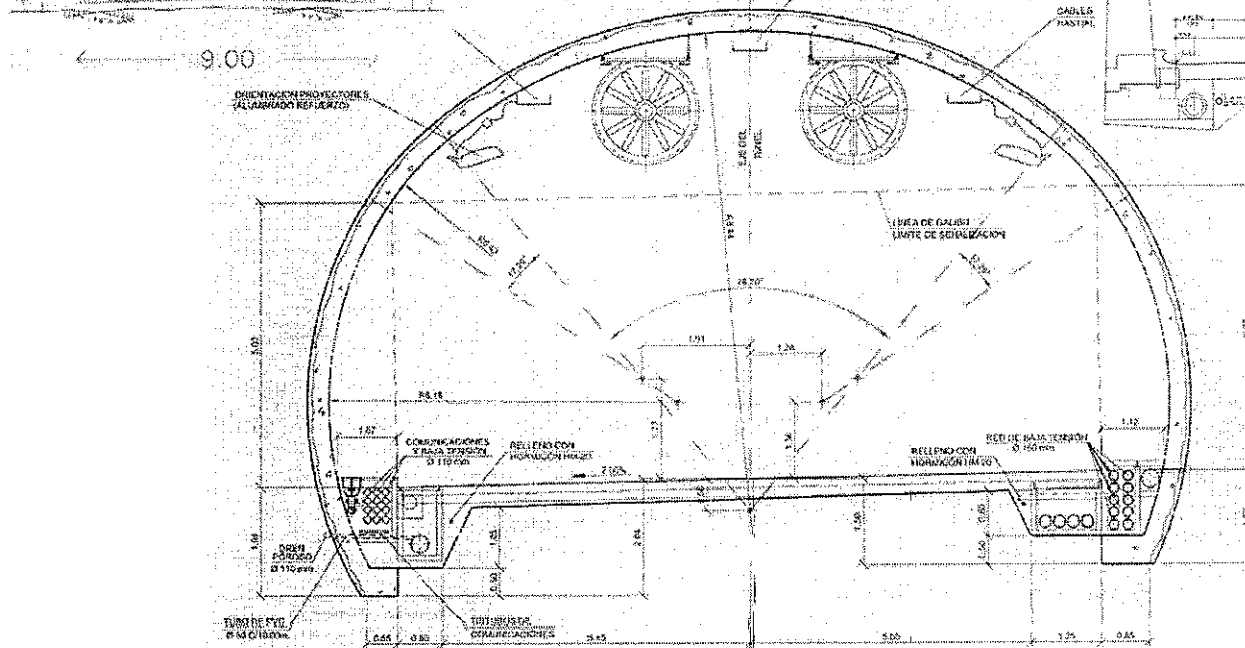
ENCAJE GEOMÉTRICO (2 de 2)

TÚNEL II (1972)

TÚNEL III



TÚNEL III (2007)

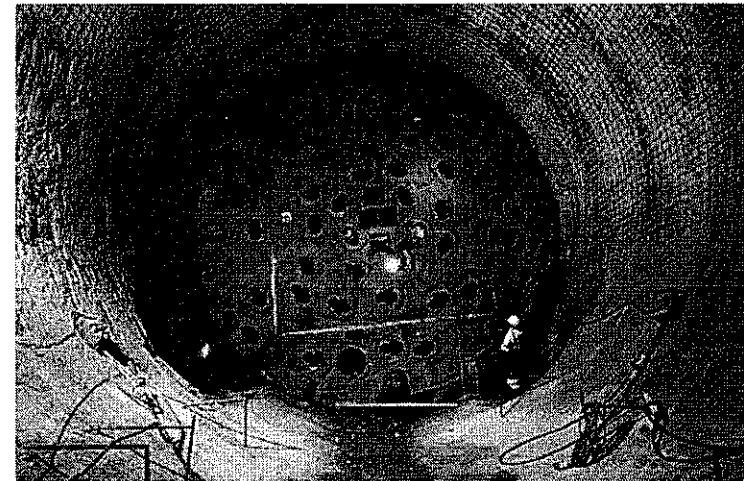
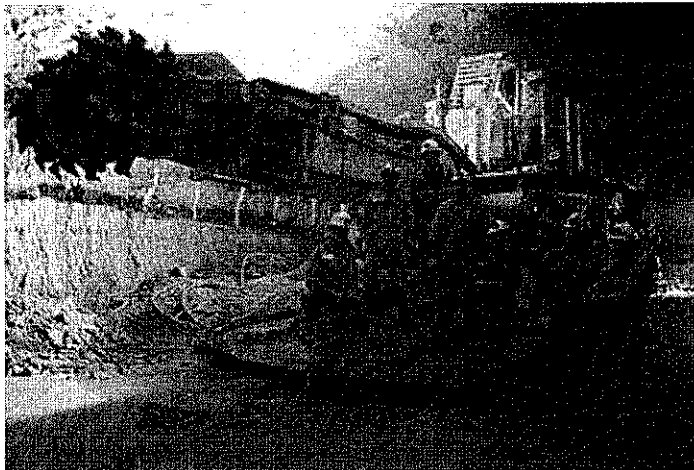


ELECCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

OPCIONES CONTEMPLADAS (1 de 2)

TBM en roca

- Solución antieconómica
- El gálibo horizontal necesario hubiera precisado la mayor TBM de roca del mundo
- Gran rendimiento de excavación no compensa los plazos de arranque de la obra



Rozadora

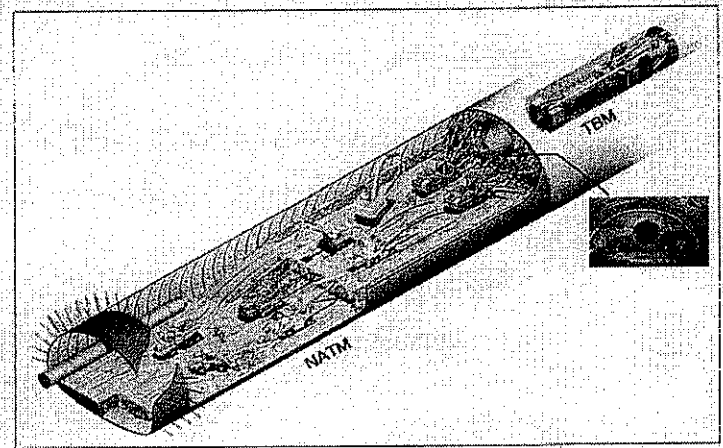
- Empleo de rozadora de gran tamaño
- Ensayos de abrasividad indican un excesivo desgaste de picas
- Rendimientos bajos en granitos sanos

ELECCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

OPCIONES CONTEMPLADAS (2 de 2)

Galería piloto con TBM y voladura

- Permite conocer los terrenos previamente a la excavación del túnel: el macizo es bien conocido
- La galería de avance sirve de ventilación natural: los modernos medios de ventilación suplen las necesidades de ventilación
- Permite drenar el macizo: irrelevante en este caso
- La galería permite reducir la carga específica de explosivo: los jumbos modernos reducen ésta considerablemente gracias a la precisión del barrenado
- Aumento del plazo. La galería disminuye la calidad del macizo

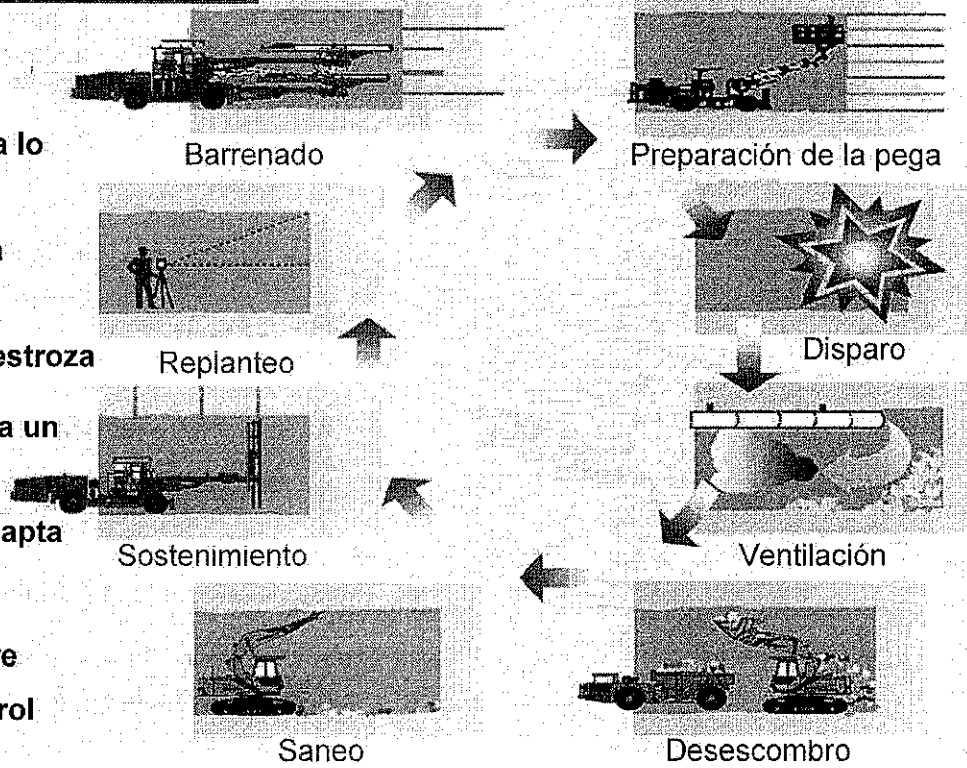


ELECCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

PROCEDIMIENTO ELEGIDO

Perforación y voladura

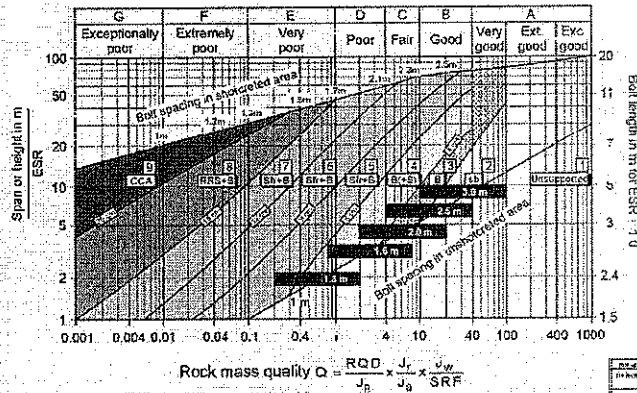
- Aplicación de criterios del NATM
- Pese a que la calidad del macizo a lo largo de la mayor parte del túnel permitiría la excavación a sección completa, se optó finalmente por excavar en dos fases, avance y destroza
- La excavación en dos fases aporta un grado adicional de seguridad. Además, no requiere maquinaria apta para grandes gálibos
- Procedimiento cíclico que requiere equipos especializados y un control técnico exhaustivo



DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO

PREDIMENSIONAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO (1 de 2)

- Caracterización de los terrenos tipo
- Empleo de clasificaciones geomecánicas:
 - Bieniawski – RMR (1979, rev. 1989)



Clase de roca RMR	Excavación	Bombas (Ø=20 mm rielados con resina)	Cunetas	Cerchas
1 - Roca muy buena - RMR: 81 - 100	Sección completa Avances de 3 m			Excesivos salvo algún caso ocasional
II - Roca buena - RMR: 61 - 80	Sección completa Avances de 1 - 1,5 m Sostenimiento completo a 20 m del frente	Bombado total en bóveda con separación de 1 m y eventualidad de 2,5 m, eventualmente con malata	5 cm en bóveda cuando sea necesario	no
III - Roca media - RMR: 41 - 60	Galería en clavos y bolachos Avances de 1,5 - 3 m en la galería de cave Trazo del 100% (incluido el trazo de cave) Colocación inmediata a 10 m del frente	Bombado sistemático de 4 m con separación de 1,5 a 2 m en bóveda y bolachos, con malata en bóveda	5 a 10 cm en bóveda y 3 cm en bolachos	fin
IV - Roca mala - RMR: 21 - 40	Galería en clavos y bolachos Avances de 1,0 - 1,5 m en la galería de cave Colocación del sostenimiento concurrentemente con la excavación a 10 m del frente	Bombado sistemático de 1 - 5 m de longitud con separación de 1 - 1,5 m en bóveda y bolachos con malata	10 a 15 cm en bóveda y 10 cm en bolachos	Legar a media cada 1,0 m cuando sea necesario
V - Roca muy mala - RMR: < 20	Galería en pilotes Avances de 0,5 - 1,0 m en la galería de cave Colocación del sostenimiento concurrentemente con la excavación Cunetas inmediatamente después del avance	Bombado sistemático de 0 - 6 m de longitud con separación de 1 - 1,5 m en bóveda y bolachos con malata Bombado de solera	10 a 20 cm en bóveda, 10 cm en bolachos y 5 cm en el fondo	Resaca a períodos cada 0,75 m con lavaje de taludes y entablado en caso necesario y cerchas en solera

- Barton – Q (1974, rev. 1993, rev. 2003)
- Romana (2000)

CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN	NOMBRE DE LA OBRA	TIPO DE OBRA	MATERIAL DE LA OBRA	MATERIAL DE LA OBRA	MATERIAL DE LA OBRA	DIMENSIONES		INDICADORES DE CALIDAD		ESTADO DE LA OBRA	OBSERVACIONES
						LONGITUD (m)	ANCHO (m)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA (MPa)		
01	EXCAVACION	1	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
02	BOMBEO	2	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
03	BOVEDA	3	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
04	BOLACHOS	4	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
05	BOVEDA	5	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
06	BOLACHOS	6	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
07	BOVEDA	7	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
08	BOLACHOS	8	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
09	BOVEDA	9	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	
10	BOLACHOS	10	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	20	20	20	20	BUENO	



DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO

PREDIMENSIONAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO (2 de 2)

- Envoltente de las recomendaciones de los diversos autores
- Aplicación del criterio geotécnico y consulta a nuestros asesores

Recomendaciones sobre el sostenimiento	
Clase de terreno	RMR
I	>10
II	55 - 70
III	40 - 55
IV	20 - 40

Recomendaciones sobre el sostenimiento	
Clase de terreno	RMR
I	>20
II	2 - 25
III	0,5 - 4
IV	0,05 - 0,5

Recomendaciones sobre el sostenimiento		
Clase de terreno	RMR	Sostenimiento Bierliwahi (1979)
I	>70	Bulones L=3 m, malla 2,5 x 2,5 m en bóveda Maillazo ocasional Gunitado: 5 cm bóveda para impermeabilización Plena sección. Pases de 1 - 1,5 m
II	55 - 70	Bulones L=4 m, malla 1,7 x 1,7 m, bóveda y hastiales Maillazo en bóveda Gunitado: 7,5 cm bóveda, 3 cm hastiales Pases de 1,5 - 3,0 m en avance y destroza
III	40 - 55	Bulones L=4 m, malla 1,25 x 1,25 m, bóveda y hastiales Maillazo en bóveda y hastiales Gunitado: 12 cm bóveda, 10 cm hastiales Cerchas: Lineras, espaciadas 1,5 m Pases de 1 - 1,5 m
IV	20 - 40	Bulones L=5 - 6 m, malla 1,0 x 1,0 m, bóveda y hastiales Maillazo en bóveda y hastiales Gunitado: 15 - 20 cm bóveda, 15 cm hastiales Cerchas: Pesadas, espaciadas 0,75 m Gunitado en el frente: 50 mm. Pases de 0,5 - 1,5 m

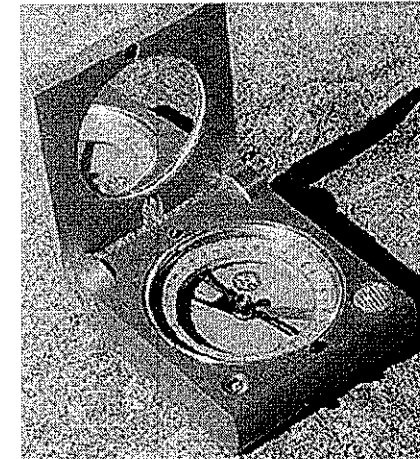
SECCIÓN TIPO	HORMIGÓN PROYECTADO (cm)	CERCHAS		BULONES L=4,0 m Tipo expansión	PASS DE AVANCE (m)	MÉTODO DE AVANCE	PARAGUAS PESADO (%)	ESPESOR DE HORMIGÓN PROYECTADO EN EL FRENTE (cm)	CONTRA-BÓVEDA		BULONES DE FIBRA DE VIDRIO EN EL FRENTE
		TIPO	ESPACIADO (m)						SOLERA PROVISIONAL	PATA DE ELEFANTE EN AVANCE	
S-I	(sellado)			2,5x2,5	5,0	Sección completa					
S-II	3+5			2,0x2,0	4,0	Sección completa					
S-III	5+10			1,5x1,5	2,5	Sección completa					
S-IV	5+5+ maillazo + 10 (sin fibras)	TH-20	1,0	1,0x1,0	1,0	Avance - destroza	SI	5	SI	SI	SI

DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO

COMPROBACIÓN NUMÉRICA DEL SOSTENIMIENTO (1 de 4)

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

- **Modelo geológico**
 - Basado en reconocimiento geológico detallado de campo
 - Investigación geotécnica realizada
- **Modelo geotécnico**
 - Parámetros geotécnicos, resistentes y deformacionales basados en investigación geotécnica, correlaciones empíricas y experiencia acumulada
 - Densidad del material
 - Recubrimiento del túnel: Estado de tensiones iniciales y naturales
 - Resistencia a compresión simple (roca intacta)
 - Módulo de deformación (E) y coeficiente de Poisson (ν), para obtener el módulo de rigidez transversal (G) y volumétrica (K)
 - Cohesión y fricción (Mohr – Coulomb) y parámetros m y s (Hoek y Brown)

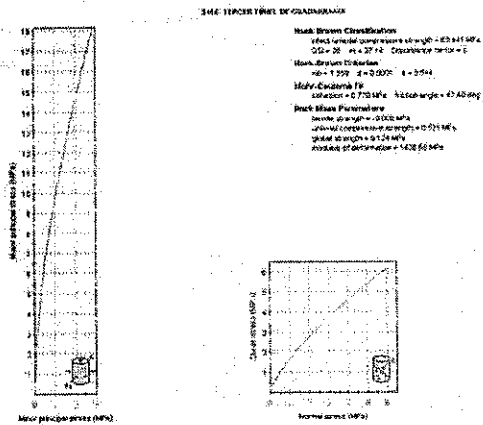


DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO

COMPROBACIÓN NUMÉRICA DEL SOSTENIMIENTO (2 de 4)

CRITERIO DE ROTURA HOEK - BROWN

- Para el modelo numérico se empleo el criterio de rotura de Hoek y Brown: $\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_c \cdot \left[m \cdot \frac{\sigma_2}{\sigma_c} + s \right]^a$
- Para cada *terreno tipo*, partiendo de los parámetros de roca intacta, se obtuvieron los parámetros característicos del modelo de rotura para el macizo rocoso. Se empleó el programa RocLab.



- Los parámetros adoptados fueron los siguientes:

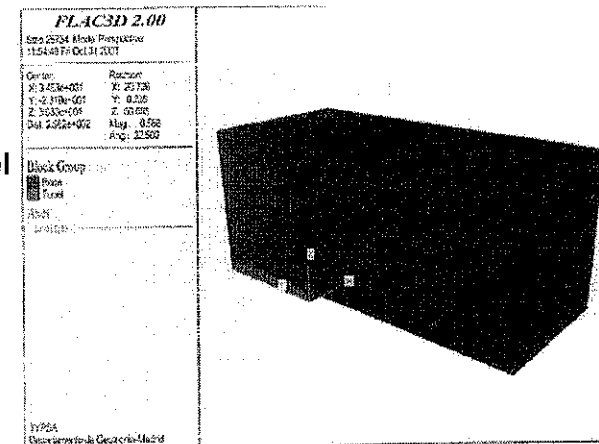
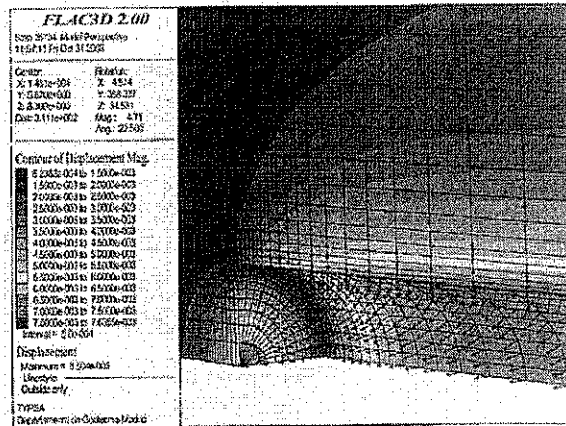
PARAMETRO	S-I	S-II	S-III	S-IV
GSI	70	55	40	20
m _i	27,14	27,14	27,14	27,14
Densidad, (t/m ³)	2,65	2,6	2,2	2,2
Módulo def., E (GPa)	25,58	8,09	4,55	1,44
Coefficiente Poisson, ν	0,20	0,23	0,28	0,31
Cohesión, c (MPa)	2,26	1,50	0,97	0,77
Ángulo de rozamiento, φ (°)	57	52	52	43
Resist. Tracción (MPa)	0,25	0,06	0,03	0,0
Dilatancia, Ψ (°)	2	5	5	10

- Se adoptó un valor de K₀ de 1,25 (tensiones naturales)

DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO

COMPROBACIÓN NUMÉRICA DEL SOSTENIMIENTO (3 de 4)

- Cuatro casos analizados. Cada terreno tipo con su montera máxima
- Modelo tridimensional FLAC3D sin sostenimiento para simular el efecto frente



Tasa de desconfinamiento o relajación

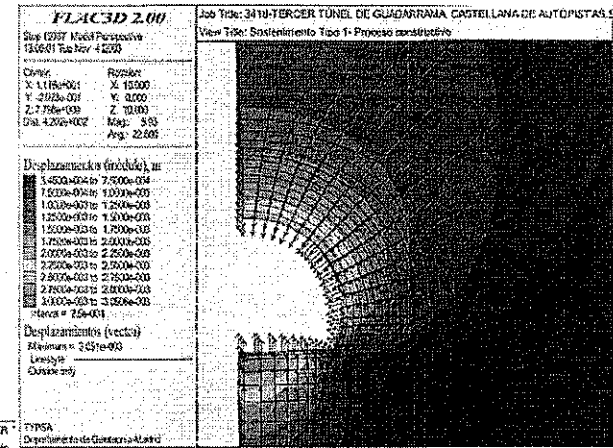
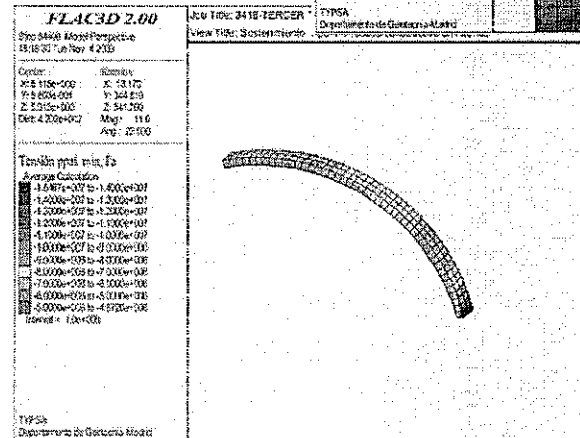
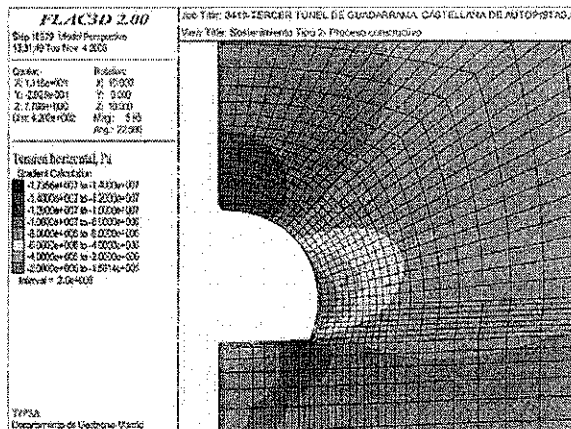
Clase de terreno	GSI	Cobertera (m)	Corona de plastificación (m)	Pase (m)	Convergencia inicial (mm)	Presión confinamiento (MPa)	Pérdida de sección (%)	Tasa de desconfinamiento (%)
I	70	260	0,06	5,00	1,8	1,78	0,05	74
II	55	260	1,14	4,00	5,5	1,82	0,15	73
III	40	170	1,33	2,50	5,5	1,71	0,16	81
IV (Avance)	20	230	4,49	1,00	23	0,88	0,84	83
IV (Destroza)	20	230	6,40	1,00	23	2,35	0,63	61

DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO

COMPROBACIÓN NUMÉRICA DEL SOSTENIMIENTO (4 de 4)

CÁLCULO BIDIMENSIONAL. Se empleó FLAC3D, con espesor unidad en el sentido del eje del túnel

- Pasada de gravedad
- Excavación de la fase de avance. Fuerzas ficticias en el perímetro para simular el efecto de confinamiento
- Colocación del sostenimiento en avance
- Excavación de la fase de destroza
- Sostenimiento de la destroza
- Colocación del revestimiento. Se simula la desaparición del sostenimiento



TYPSA

Un túnel en rocas ígneas: Tercer túnel de
Guadarrama. Autopista AP-6

MASTRA UNIVERSITARIO EN
Túneles y Obras Subterráneas

EDICIÓN ENERO-OCTUBRE 2007

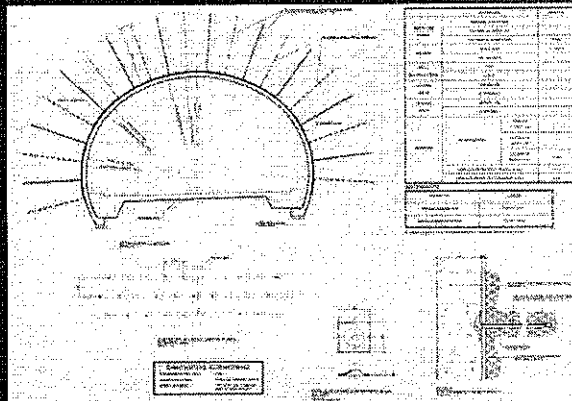
ORGANIZAN



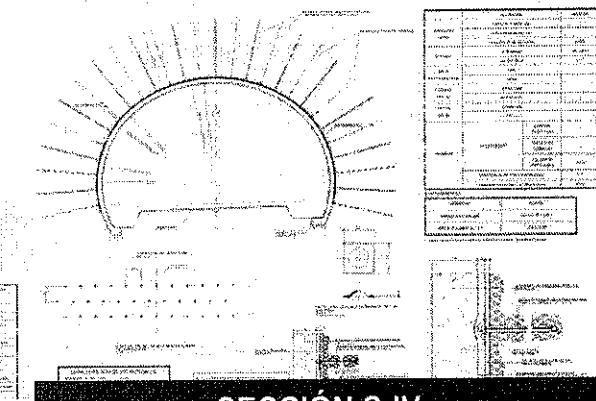
DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO

SECCIONES TIPO ELEGIDAS (1 de 2)

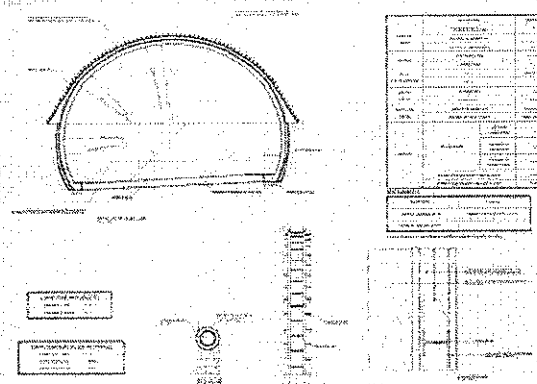
SECCIÓN S-I



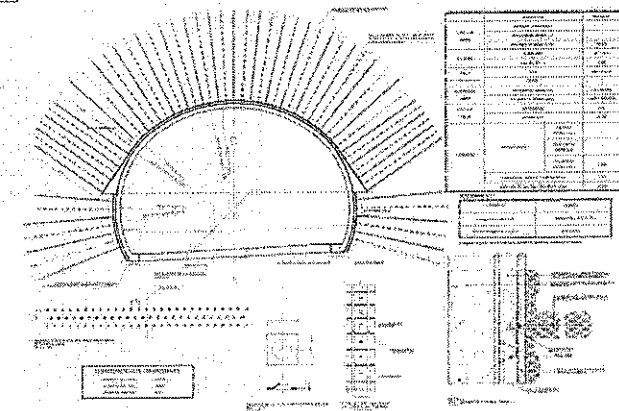
SECCIÓN S-II



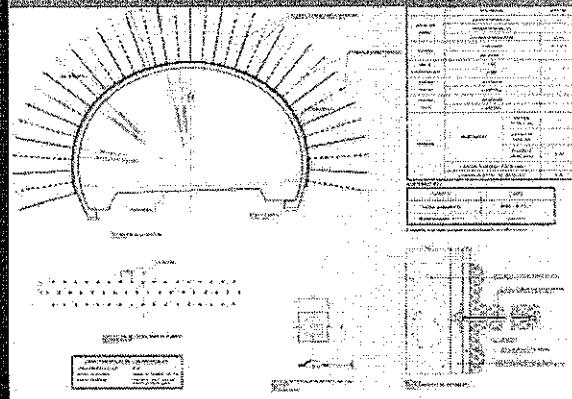
SECCIÓN S-V



SECCIÓN S-IV



SECCIÓN S-III



DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO

REVESTIMIENTO

ALTERNATIVAS

<p>Sostenimiento primario sin revestimiento adicional</p>	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Menor coste Importante reducción de plazo 	<p>INCONVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> Menor resistencia estructural. Control con secciones de auscultación permanentes Mayores costes de mantenimiento. Disminuye funcionalidad de iluminación y ventilación Nula protección contra incendios Peor percepción por parte del usuario 	<p>Sostenimiento y paneles de acero vitrificado</p>	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Mejora la funcionalidad de la iluminación Notable mejora de la percepción del usuario Soluciones de impermeabilización que disminuyen el riesgo ante incendios
	<p>INCONVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> No se mejora la eficiencia del sistema de ventilación Requiere auscultación permanente para controlar el correcto funcionamiento del sostenimiento Coste menor que la solución de hormigón bombeado, pero elevado en cualquier caso 			

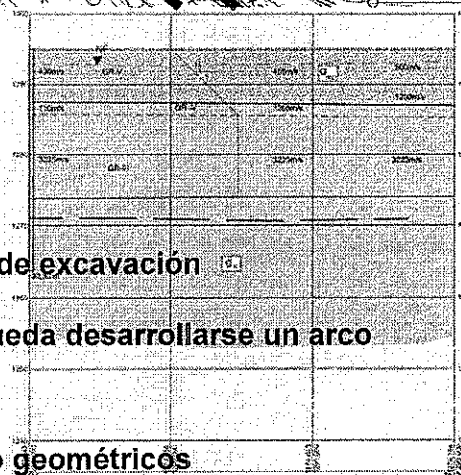
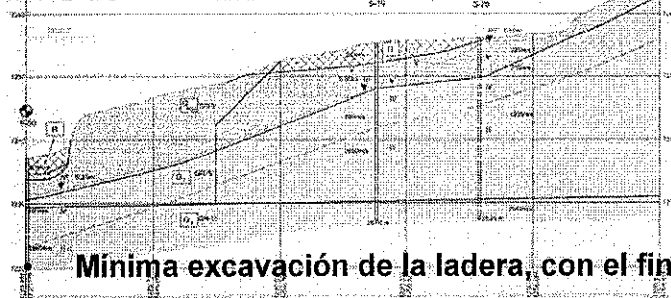
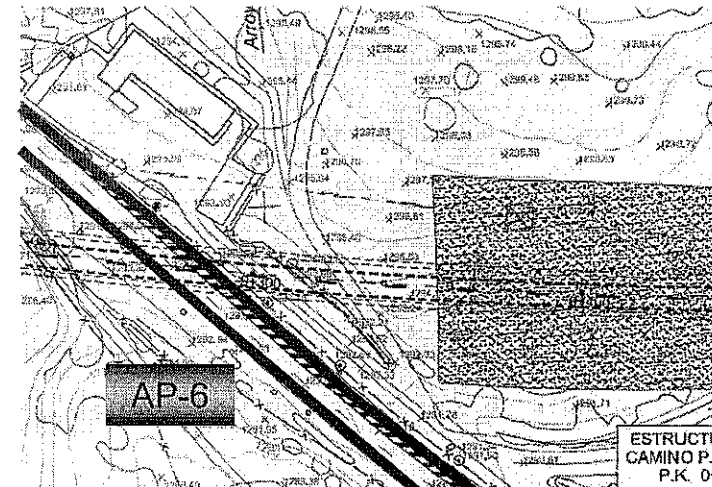
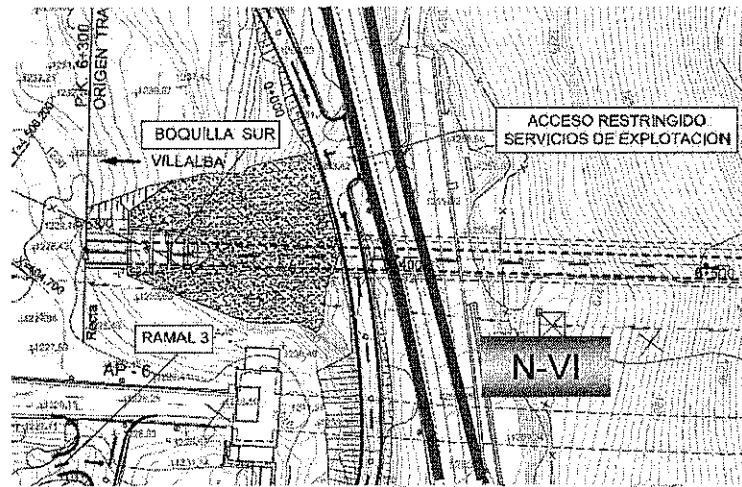
<p>Revestimiento de hormigón bombeado</p>	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Funcionalidad de iluminación y ventilación Máxima protección en caso de incendio Seguridad estructural adicional Mínimo mantenimiento Percepción óptima por parte del usuario
	<p>INCONVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> Mayor plazo de ejecución Solución más cara

EMBOQUILLES

BOCA SUR

ENCAJE DE LOS FRENTES DE ATAQUE

BOCA NORTE



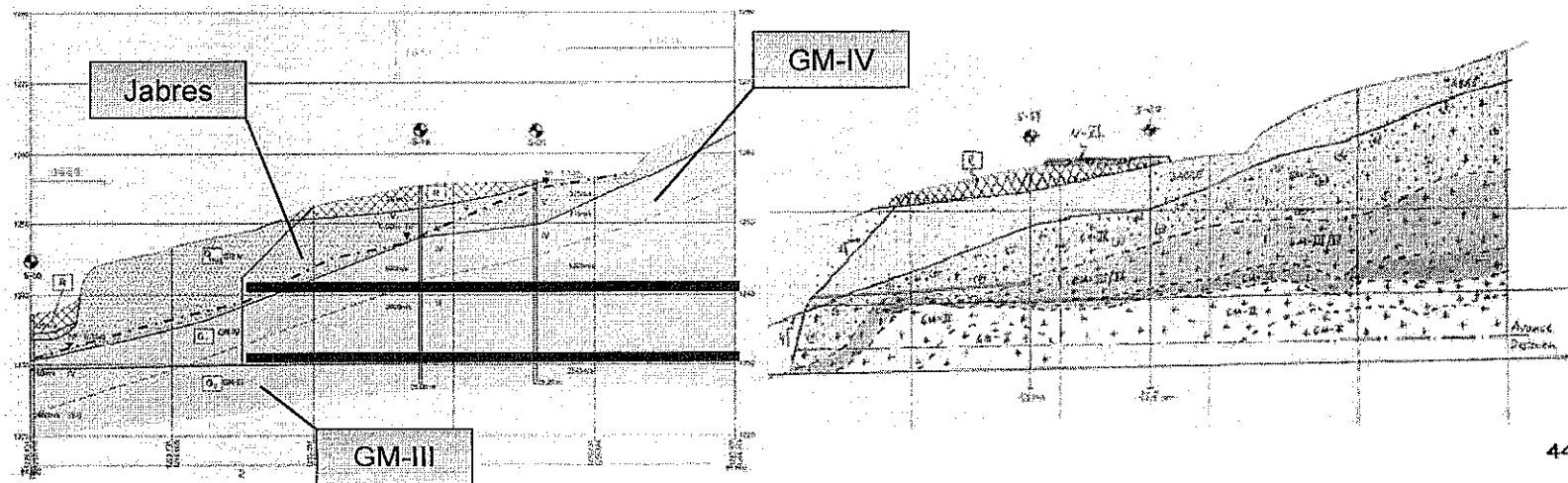
- Cobertura suficiente de material competente, con el fin de que pueda desarrollarse un arco autoportante al iniciarse la excavación
- Existencia de condicionantes de diseño, tanto geotécnicos como geométricos

EMBOQUILLES

DISEÑO DEL EMBOQUILLE SUR DEL TÚNEL (1 de 3)

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA REALIZADA

- Sondeos a rotación con recuperación de testigo: 4 sondeos, S-18, S-19, S-20 y S-50
- Calicatas C-71 y C-72
- Perfil sísmico de refracción: PS-5
- Registros simplificados de sondeos helicoidales del proyecto del túnel II: S-1 a S-6
- Puntos de lectura y fichas de desmontes existentes



EMBOQUILLES

DISEÑO DEL EMBOQUILLE SUR DEL TÚNEL (2 de 3)

- Talud frontal excavado en jabres y granitos alterados a grado IV
- Son materiales cuyo comportamiento es asimilable al de un suelo (rotura a través de la masa)
- Cálculo de estabilidad empleando el criterio de Bishop y Spencer

PARÁMETROS DE LOS DIFERENTES MATERIALES

	Densidad (t/m^3)	Cohesión (t/m^2)	Angulo de rozamiento ($^\circ$)
Relleno de la carretera N-VI	2,0	0,0	32
Jabre y granitos grado V	2,2	0,0	35
Granito grado IV	2,2	0,0	40

PROGRAMA GEO-SLOPE

- Permite modelizar cualquier geometría
- Representación fiel del perfil litológico del problema
- Modelización del nivel freático
- Análisis con elementos de sostenimiento (claveteado de taludes)

EMBOQUILLES

DISEÑO DEL EMBOQUILLE SUR DEL TÚNEL (3 de 3)

Ampliación de la Autopista A-6
Emboquille Sur. P.K. 6+280 - P.K. 6+450
Nombre del archivo: Emboquilla Sur PK 06+280 - 06+450 malla 3x3 - 1.5x1.5 Cálculo 02.st2
Método de cálculo: Spencer

Escala: 1:400

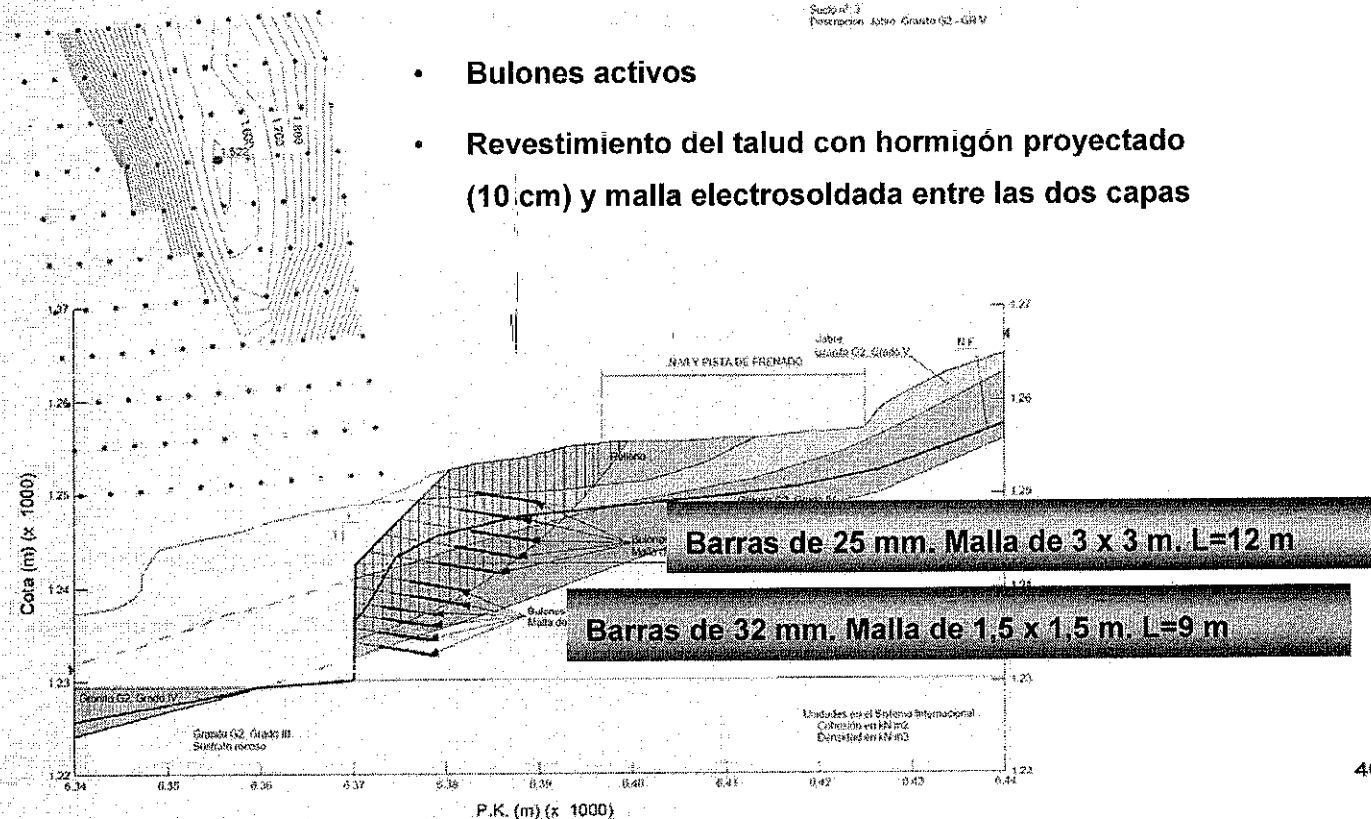
Cálculo 2: Eisaño de mano izquierda

Legenda

Sección nº 1
Descripción: Rikano
Módulo: 5x10x50
Dimension: 30
Cobertura: 0
Revestimiento: 02
Escala: geométrica 1:1

Sección nº 2
Descripción: Julio Granado 02 - G1 V

- **Bulones activos**
- **Revestimiento del talud con hormigón proyectado (10 cm) y malla electrosoldada entre las dos capas**





EMBOQUILLES

SOSTENIMIENTO EN TRAMOS DE EMBOQUILLES (1 de 5)

APROXIMACIÓN SEMIEMPÍRICA

BOCA NORTE

- Túnel excavado en granitos moderadamente meteorizados, GM-III, con alto grado de fracturación.
- Baja montera. Recubrimiento de jabres y granitos GM-IV. Elevado riesgo de formación de chimeneas (AP-6)

BOCA SUR

- Primeros metros en jabres y granitos alterados. Roca sana se sitúa rápidamente en clave.
- Cruce bajo N-VI con granitos alterados próximos a clave con N-VI muy próxima

Recomendaciones de emboquille de túneles (Romana, 2000)

CLASIFICACIÓN	EXCAVACIÓN	TRATAMIENTO TALUD FRONTAL						
		Secciones de excavación	Paraguas	Bulones			Hormigón proyectado	Red malla
RMR	Clase			L (m)	B/m ²	S (m)	(cm)	
100	Ia	I	Opcional	No	No	No	No	Opcional
80	Ib		Opcional	3/4	<0,10	Ocasional	No	Si
60	IIa	II	Ligero	3/4	0,11	3x3	No	Si
70	IIb		Ligero a medio	3/4	0,25	2x2	Ocasional	Si
60	IIIa	III	Medio	4	0,34	1,5x1,5	Ocasional	Si
50	IIIb		Medio	4/5	0,70	1,2x1,2	Ocasional	Si
40	IVa	IV	Medio	5/8	1,00	1x1	0,10-0,5	No
30	IVb		Pesado	6	1,50	0,8x0,8	0,15-0,20	Malla opc.
30	Va	V	Pesado	No	No	No	0,20-0,25	Malla simple o doble
10	Vb		Pesado	No	No	No	0,25-0,30	Malla doble

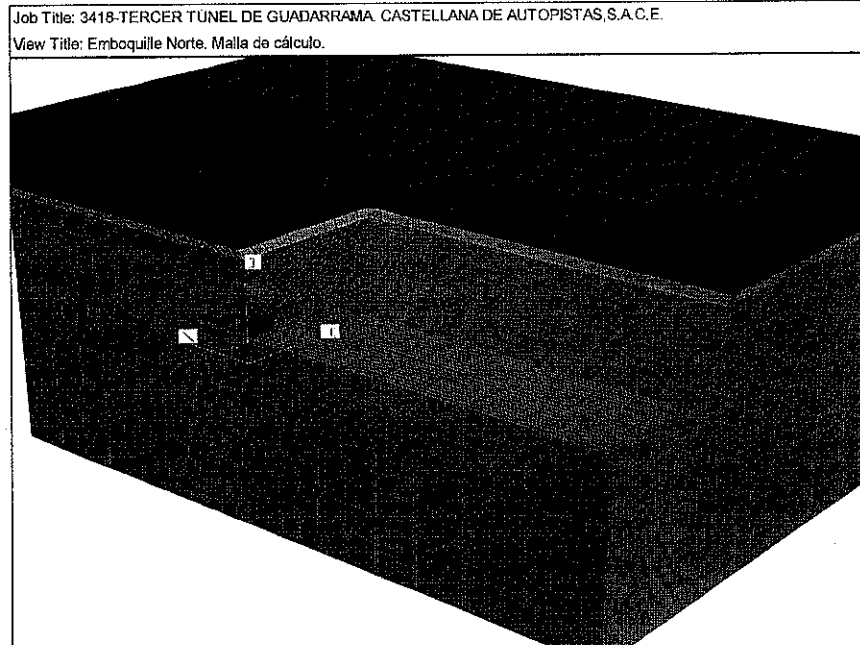
SECCIÓN TIPO DE SOSTENIMIENTO EN EMBOQUILLES

SECCIÓN TIPO	HORMIGÓN PROYECTADO (cm)	CERCHAS		PASE DE AVANCE (m)	MÉTODO DE AVANCE	PARAGUAS PESADO (t)	ESPESOR DE HORMIGÓN PROYECTADO EN EL FRENTE (cm)	SOLERA
		TIPO	ESPACIADO (m)					
S-V	5+ mallazo +20+ mallazo+5 (sin fibras)	HEB-180	1,0	1,0	Avance - destroza	SI	5	SI

EMBOQUILLES

SOSTENIMIENTO EN TRAMOS DE EMBOQUILLES (2 de 5)

MODELIZACIÓN NUMÉRICA. BOCA NORTE



FLAC 3D

- Materiales: G3-III - G3-IV - G3-V

PARÁMETRO	G3-V	G3-IV	G3-III	G3-II
Densidad, (t/m ³)	2,2	2,2	2,6	2,65
Módulo def., E (MPa)	655	1278	2885	7746
Coefficiente Poisson, ν	0,31	0,28	0,23	0,20
Cohesión, c (MPa)	0,00	0,00	0,307	0,531
Ángulo de rozamiento, Φ (°)	35	40	60	67
Resist. Tracción (MPa)	0,0	0,0	0,005	0,03
Dilatancia, Ψ (°)	10	5	5	2

EMBOQUILLES

SOSTENIMIENTO EN TRAMOS DE EMBOQUILLES (4 de 5)

MODELIZACIÓN NUMÉRICA. BOCA SUR

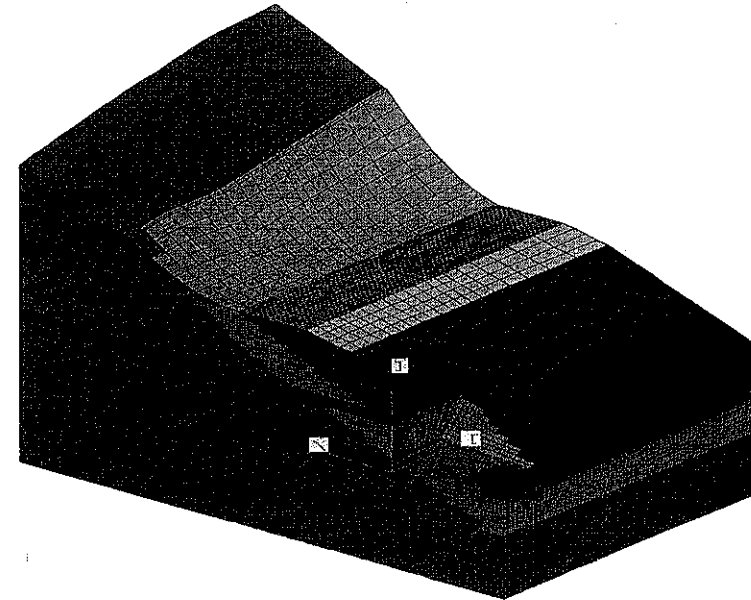
FLAC 3D

- **Materiales: G2-III - G2-IV**
- G2-V - N-VI

PARÁMETRO	G2-V	G2-IV	G2-III	Rellenos
Densidad, (t/m ³)	1,8	2,2	2,6	1,80
Módulo def., E (MPa)	231	1119	2124	115,6
Coefficiente Poisson, ν	0,31	0,28	0,23	0,32
Cohesión, c (MPa)	0,00	0,00	1,9	0,0
Ángulo de rozamiento, ϕ (°)	35	40	42	32
Resist. Tracción (MPa)	0,0	0,0	0,006	0,0
Dilatancia, ψ (°)	5	5	5	5

Job Title: 3418-TERCER TUNEL DE GUADARRAMA. CASTELLANA DE AUTOPISTAS,S.A.C.E.

View Title: Emboquille Sur. Malla de cálculo.

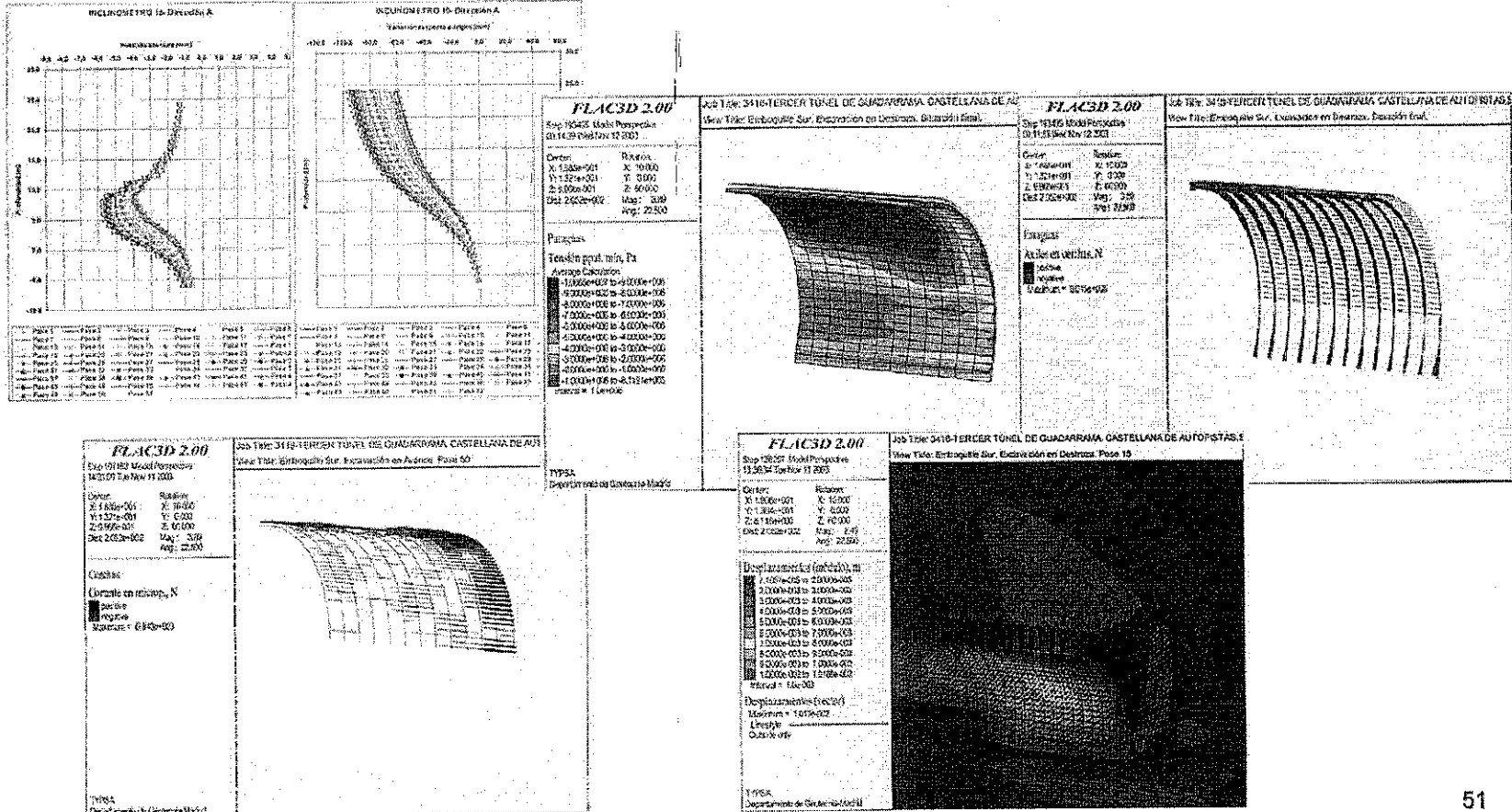




EMBOQUILLES

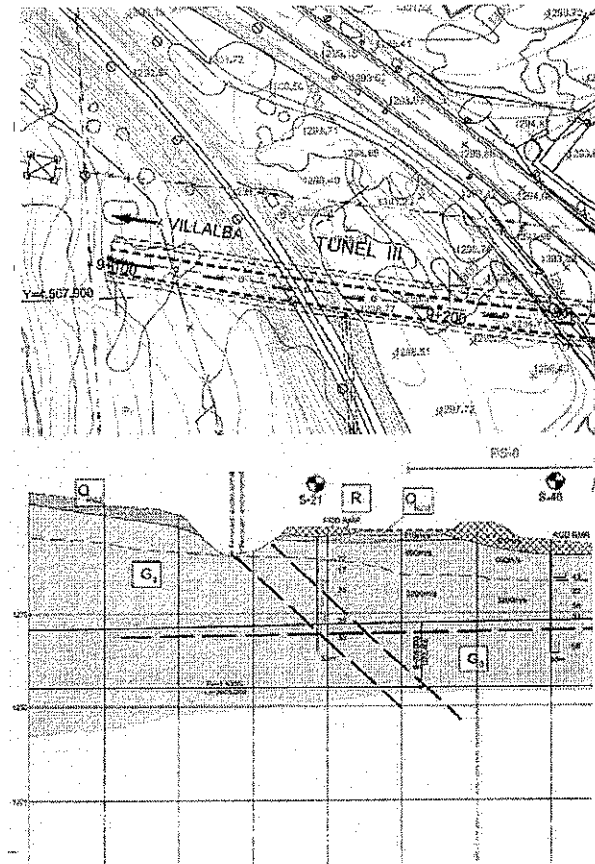
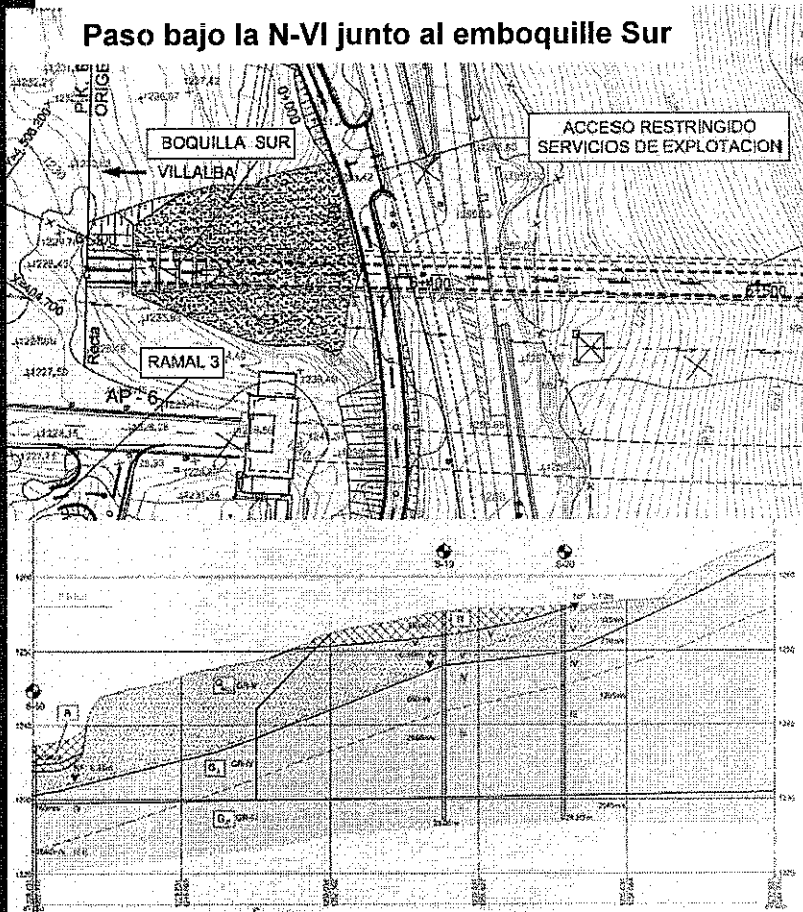
SOSTENIMIENTO EN TRAMOS DE EMBOQUILLES (5 de 5)

MODELIZACIÓN NUMÉRICA. BOCA SUR



PASOS ESPECIALES
TRAMOS SINGULARES

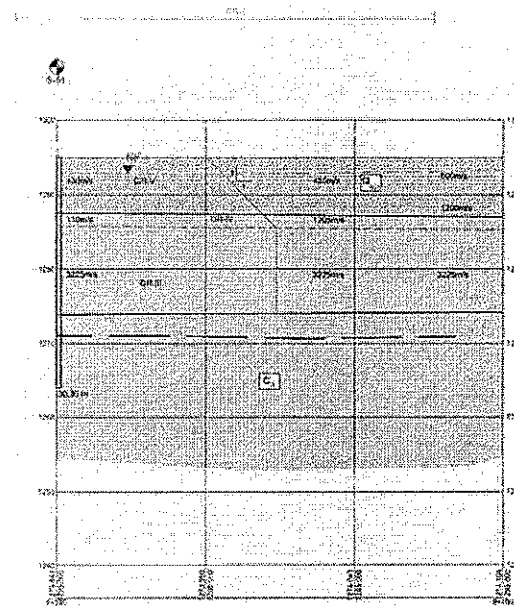
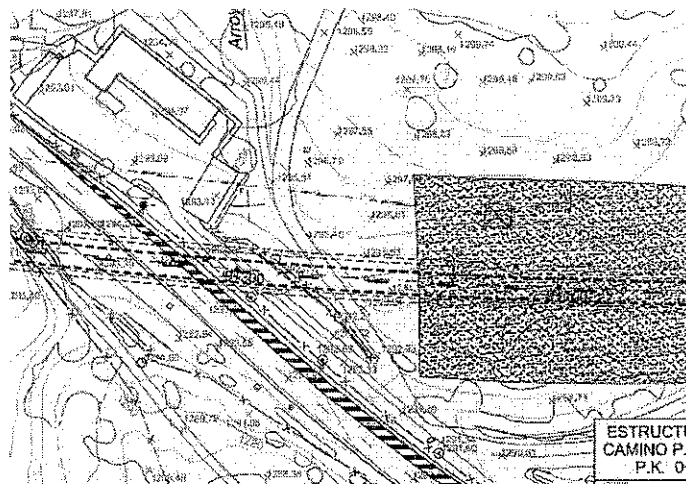
Paso bajo la N-VI junto al emboquille Sur



Paso bajo el ferrocarril Madrid - Segovia

PASOS ESPECIALES

PASO BAJO LA CALZADA MADRID DE LA AP-6 (1 de 4)



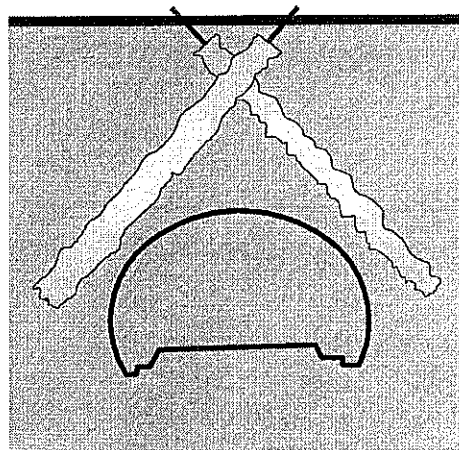
- Cruce con fuerte esviaje. Recubrimiento total sobre clave de aproximadamente 10 m
- Sondeos y perfiles sísmicos de refracción confirman que existen del orden de 6 – 8 m de jabres y granitos alterados a grado IV sobre granitos moderadamente meteorizados, grado III, muy fracturados
- Sobre clave pueden existir entre 2 y 4 m de granitos grado III, pero la variabilidad del techo del tramo menos alterado no permite descartar presencia de jabres en clave

PASOS ESPECIALES

PASO BAJO LA CALZADA MADRID DE LA AP-6 (2 de 4)

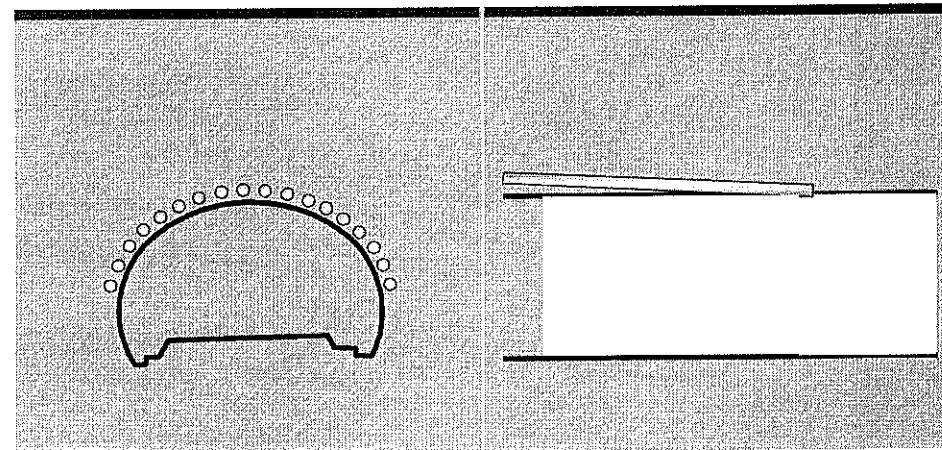
ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Tratamiento de mejora del terreno a
modo de campana



- El gran esviaje del cruce da lugar a que los tratamientos tengan excesiva longitud para evitar la ocupación de la AP-6
- Eficacia discutible por la heterogeneidad de los materiales a tratar.

Paraguas de micropilotes desde el
interior del túnel

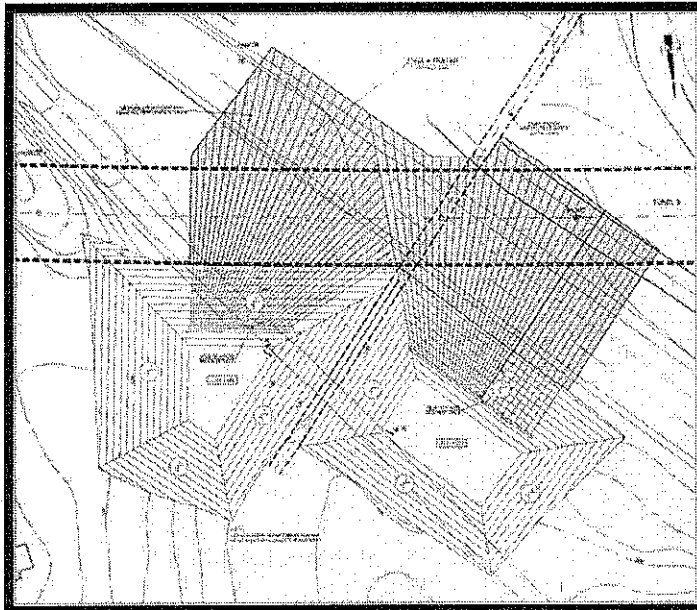


- Serían necesarios dos paraguas de al menos 30 m de longitud, con sus respectivos solapes
- Solución eficaz pero muy costosa en términos de afección al ritmo de producción del túnel

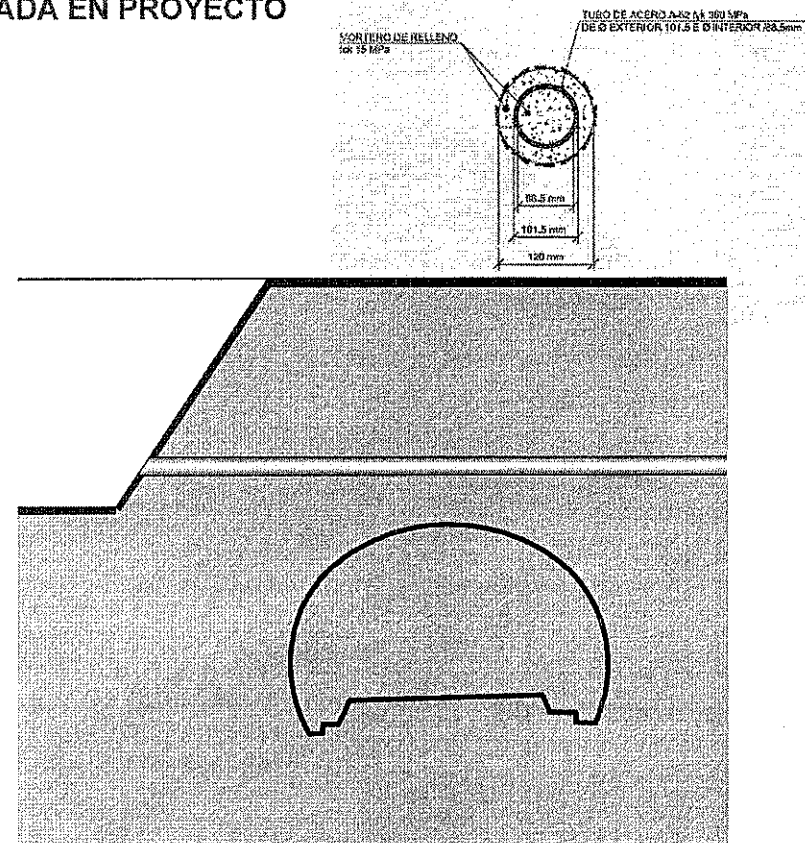
PASOS ESPECIALES

PASO BAJO LA CALZADA MADRID DE LA AP-6 (3 de 4)

SOLUCIÓN ADOPTADA EN PROYECTO



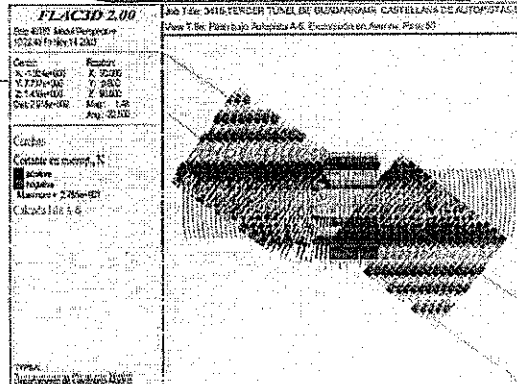
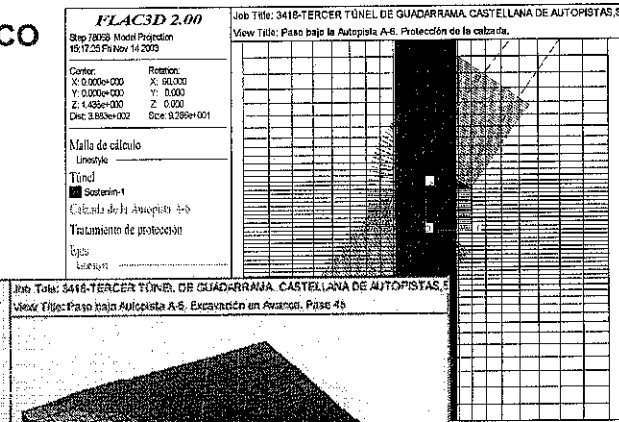
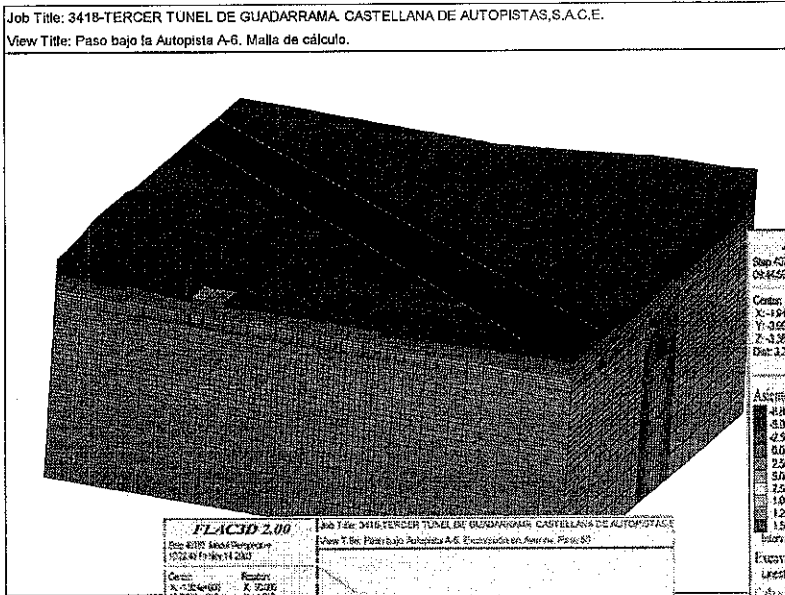
- Perforación e instalación de micropilotes previa al paso del túnel, sin afectar a la producción
- Posibilidad de instalar inclinómetros horizontales desde la zanja
- La solución propuesta garantiza seguridad y flexibilidad. Coste similar al paraguas desde interior



PASOS ESPECIALES

PASO BAJO LA CALZADA MADRID DE LA AP-6 (4 de 4)

CÁLCULO NUMÉRICO



ASISTENTE

- 0.000e+000 to 4.000e+004
- 0.000e+000 to 2.000e+004
- 0.000e+000 to 2.000e+004
- 0.000e+000 to 2.500e+004
- 2.500e+004 to 3.000e+004
- 3.000e+004 to 3.500e+004
- 3.500e+004 to 4.000e+004
- 4.000e+004 to 4.500e+004
- 4.500e+004 to 5.000e+004
- 5.000e+004 to 5.500e+004

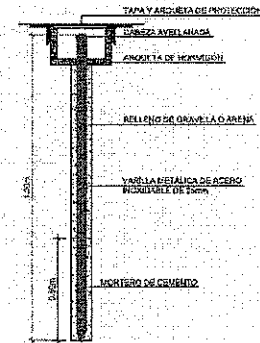
Intervalo = 2.50e+004

TYPSA
Departamento de Gestión de Obras

AUSCULTACIÓN OBRAS DE TIERRAS

EMBOQUILLE SUR

- Hitos de nivelación: 21 en coronación
- Inclínómetros verticales: 3 (de 40 m)
- Dianas de control topográfico en talud frontal: 5



SECCIÓN ESQUEMÁTICA DE
HITO DE NIVELACIÓN

EMBOQUILLE NORTE

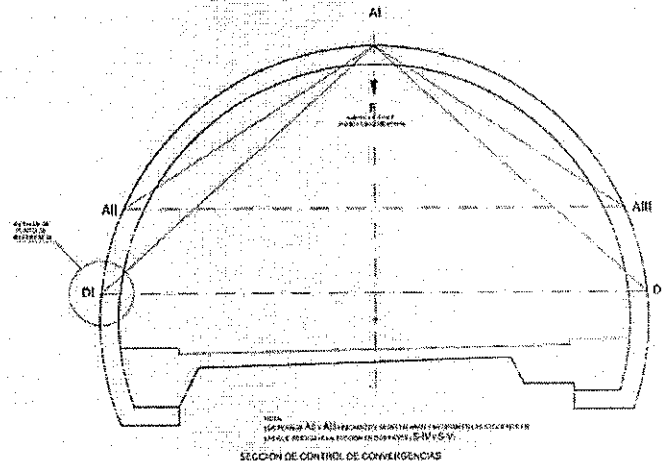
- Inclínómetros verticales: 3 (de 37 m)
- Dianas de control topográfico en talud frontal: 5

PASO BAJO LA AP-6

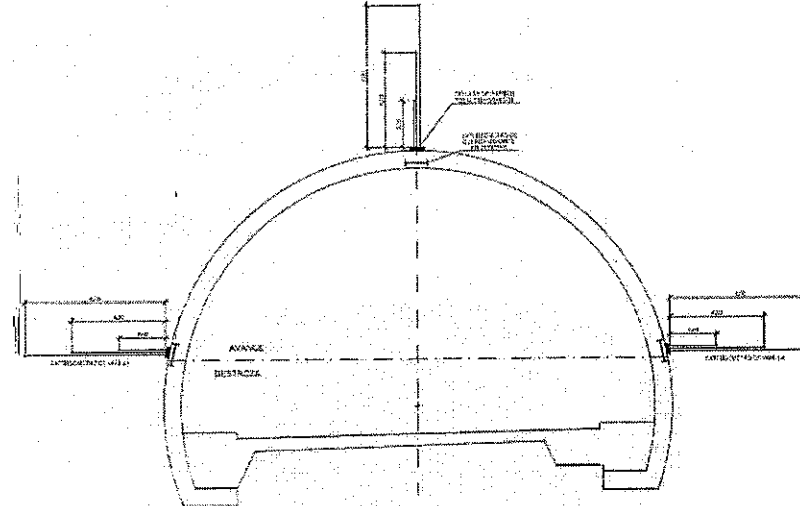
- Hitos de nivelación: 32 a los lados de la AP-6
- Inclínómetros horizontales: 3 (de 20, 30 y 40 m)

AUSCULTACIÓN TÚNEL EN MINA

CONVERGENCIAS



SECCIONES DE CONTROL

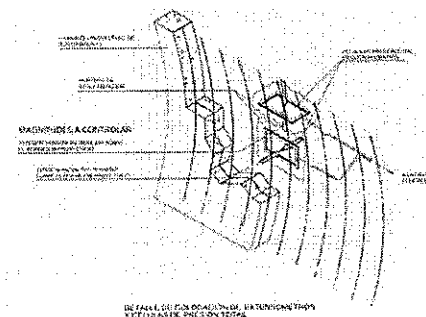


SITUACIÓN SECCIONES DE CONTROL

SITUACIÓN ORIENTATIVA DE LAS SECCIONES DE CONTROL TOTAL

PK	Descripción	Montera sobre clave (m)	Sección de sostenimiento
6+380	Emboquille de entrada	12	S-V
7+300	Clase de terreno II	214	S-II
7+610	Tramo de falla	283	S-IV
7+840	Clase de terreno I	230	S-I
8+260	Clase de terreno III	167	S-III
9+160	Paso bajo ferrocarril	13	Especial
9+260	Paso bajo AP-6	13	Especial
9+360	Emboquille de salida	14	S-V

DETALLE DE PLACAS DE CARGA



ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

CONSTRUCCIÓN

- Datos principales de ejecución
- Proceso constructivo. Túnel principal
- Construcción de las galerías
- Pasos especiales
- Impermeabilización
- Revestimiento y falsos túneles
- Instalaciones

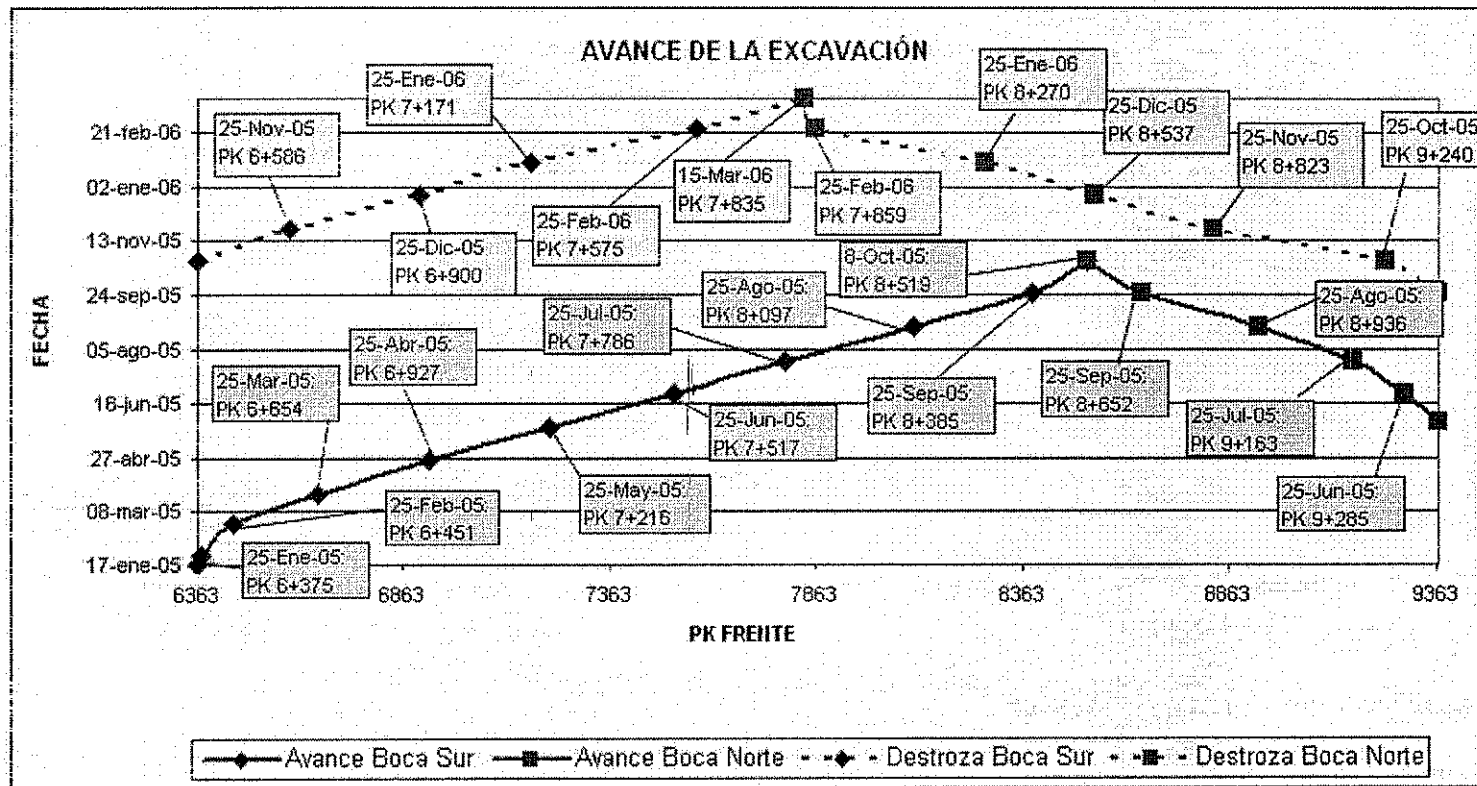
DATOS PRINCIPALES DE EJECUCIÓN

DIARIO DE TÚNEL

- Túnel excavado en fases de avance y destroza, aplicando criterios del NATM
- Longitud total en mina 3.004 m. Sección de avance: 76 m². Sección de destroza: 48 m²
- Comienzo del avance en boca Sur: 18-Enero-2005. Permiso para disparar sin cortes de tráfico desde el 8-Febrero-2005
- Comienzo del avance en boca Norte: 30-Mayo-2005
- Fecha de cale del avance: 8-October-2005 (8 meses y medio)
- Cale de la destroza: 15-Marzo-2006 (5 meses)
- Excavación de las galerías concluida a lo largo de Marzo – Abril de 2006
- Ejecución del revestimiento concluye el 5-October-2006 (túnel principal en Agosto)
- Apertura prevista en Marzo de 2007

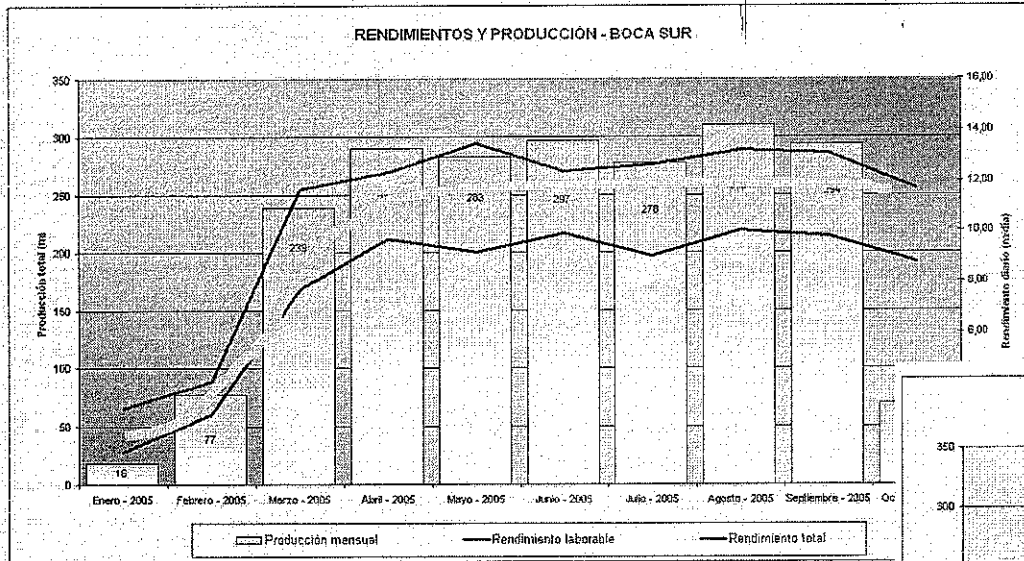


DATOS PRINCIPALES DE EJECUCIÓN RENDIMIENTOS DE EXCAVACIÓN (1 de 4)





DATOS PRINCIPALES DE EJECUCIÓN RENDIMIENTOS DE EXCAVACIÓN (2 de 4)



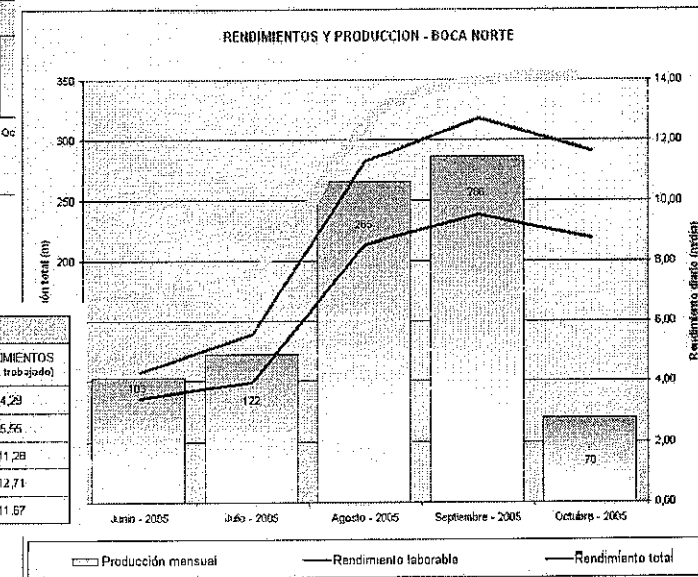
RENDIMIENTOS EN SECCIÓN DE AVANCE - BOCA SUR

MES	EXCAVACIÓN		AVANCE MENSUAL	RENDIMIENTOS (m/día trabajado)
	PK Inicio	PK Final		
Enero 2005	6+363	6+381	18	3
Febrero 2005	6+381	6+468	77	4,05
Marzo 2005	6+468	6+697	239	11,66
Abril 2005	6+697	6+887	290	12,34
Mayo 2005	6+887	7+270	293	13,48
Junio 2005	7+270	7+567	297	12,39
Julio 2005	7+567	7+845	278	12,64
Agosto 2005	7+845	8+165	310	13,19
Septiembre 2005	8+165	8+449	294	13,07
Octubre 2005	8+449	8+519	70	11,67

- Ritmo de trabajo: 24 horas, de lunes a viernes. Sábado hasta el mediodía
- Dos turnos, de 12 horas cada uno
- Máximo mensual: 310 m/mes
- Rdto. en día normal: 12 m

RENDIMIENTOS EN SECCIÓN DE AVANCE - BOCA NORTE

MES	EXCAVACIÓN		AVANCE MENSUAL	RENDIMIENTOS (m/día trabajado)
	PK Inicio	PK Final		
Junio 2005	9+367	9+262	105	4,29
Julio 2005	9+262	9+140	122	5,55
Agosto 2005	9+140	8+875	255	11,29
Septiembre 2005	8+875	8+589	286	12,71
Octubre 2005	8+589	8+519	70	11,67





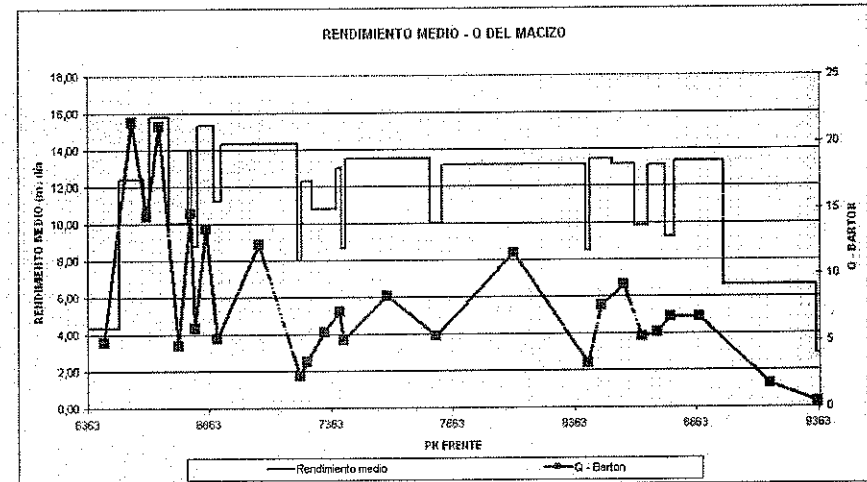
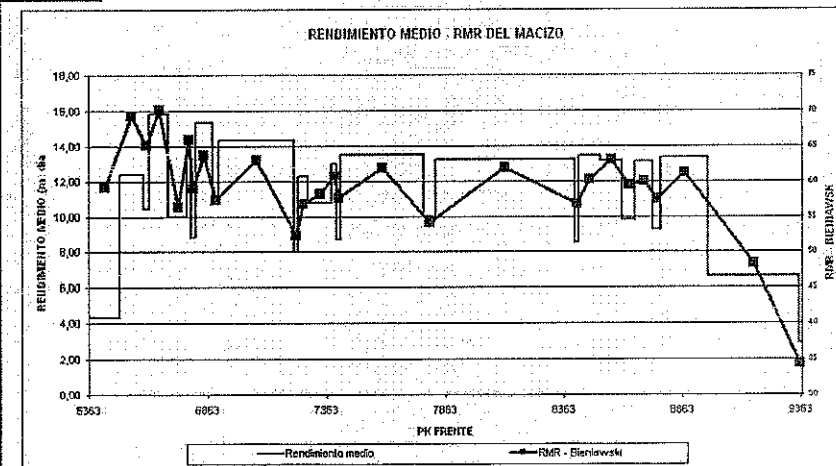
DATOS PRINCIPALES DE EJECUCIÓN

RENDIMIENTOS DE EXCAVACIÓN (3 de 4)

RENDIMIENTOS EN SECCIÓN DE DESTROZA				
MES	DESTROZA SUR		DESTROZA NORTE	
	AVANCE MENSUAL	RENDIMIENTOS (m/día trabajado)	AVANCE MENSUAL	RENDIMIENTOS (m/día trabajado)
Octubre 2005	-	-	186	14,3
Noviembre 2005	311	14,13	419	18,2
Diciembre 2005	232	19,33	232	19,33
Enero 2006	326	17,62	321	17,35
Febrero 2006	389	17,68	359	17,95
Marzo 2006	221	18,41	-	-

DATOS PRINCIPALES DE EJECUCIÓN

RENDIMIENTOS DE EXCAVACIÓN (4 de 4)



- Se aprecia una clara correlación entre rendimiento y calidad del macizo
- Se trata de una correlación indirecta, sin embargo. El rendimiento depende en este caso de manera directa del “frente tipo”, y a estos “frentes tipo”, a su vez, les corresponden valores diferentes de RMR y Q



PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

SECCIONES DE SOSTENIMIENTO (1 de 4)

Sección tipo	Hormigón proyectado (cm)	Cerchas		Bulones de expansión L=4 m Espaciado (m)	Pase de avance (m)	Paraguas pesado	Espesor de hormigón proyectado en el frente (cm)	Contrabóveda o solera provisional
		Tipo	Espaciado (m)					
S-I	3 – con fibras	-	-	2,5x2,5	5,0	-	-	-
S-II	3 + 5 – con fibras	-	-	2,0x2,0	4,0	-	-	-
S-III	5 + 10 – con fibras	-	-	1,5x1,5	2,5	-	-	-
S-III B	5+15 – con fibras	TH-29	1,0	1,0x1,5	2,5	-	-	-
S-IV	5 (con fibras) + mallazo (2 capas) + 15 (sin fibras)	TH-29	1,0	1,0x1,0 φ32 mm Anclados con resina L=6 m	1,0	-	5	SI
S-V	5 (con fibras) + mallazo (2 capas) + 20 + 5 (sin fibras)	HEB-180	1,0	-	1,0	SI	5	SI

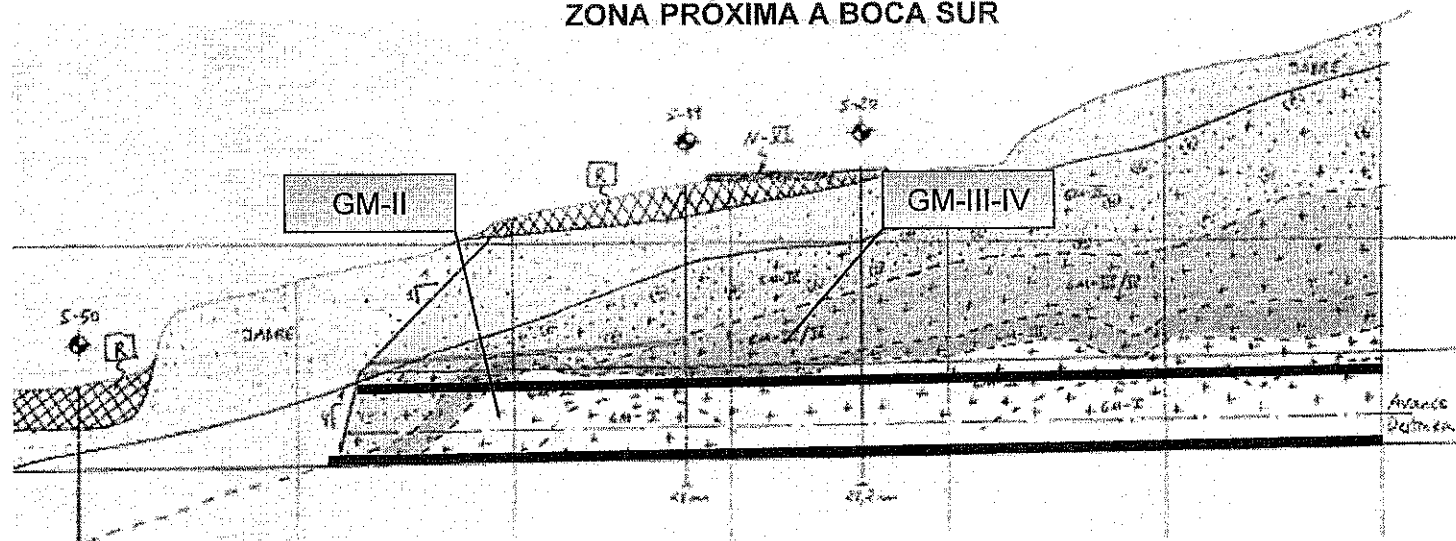
Criterio de aplicación

Sección tipo	Calidad del macizo rocoso		
	RMR	Q	Descripción
S-I	>70	>20	Calidad óptima
S-II	55 - 70	3,5 - 20	Macizo de calidad buena
S-III o S-III B	40 - 55	0,5 - 3,5	Calidad aceptable a buena
S-IV	20 - 40	0,05 - 0,5	Zonas de falla
S-V	-	-	Emboquilles

PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

SECCIONES DE SOSTENIMIENTO (2 de 4)

ZONA PRÓXIMA A BOCA SUR



- A lo largo del primer centenar de metros en mina, el contacto entre el granito alterado y el granito sano se sitúa prácticamente a cota de clave
- Los valores de RMR son superiores a 55 – 60, lo que corresponde a una sección ligera, S-II
- El bajo recubrimiento da lugar a que los planos subhorizontales estén muy abiertos. Su gran continuidad favorece la formación de “techos planos”. Se dimensiona una nueva sección tipo, S-IIIB, para esta situación particular

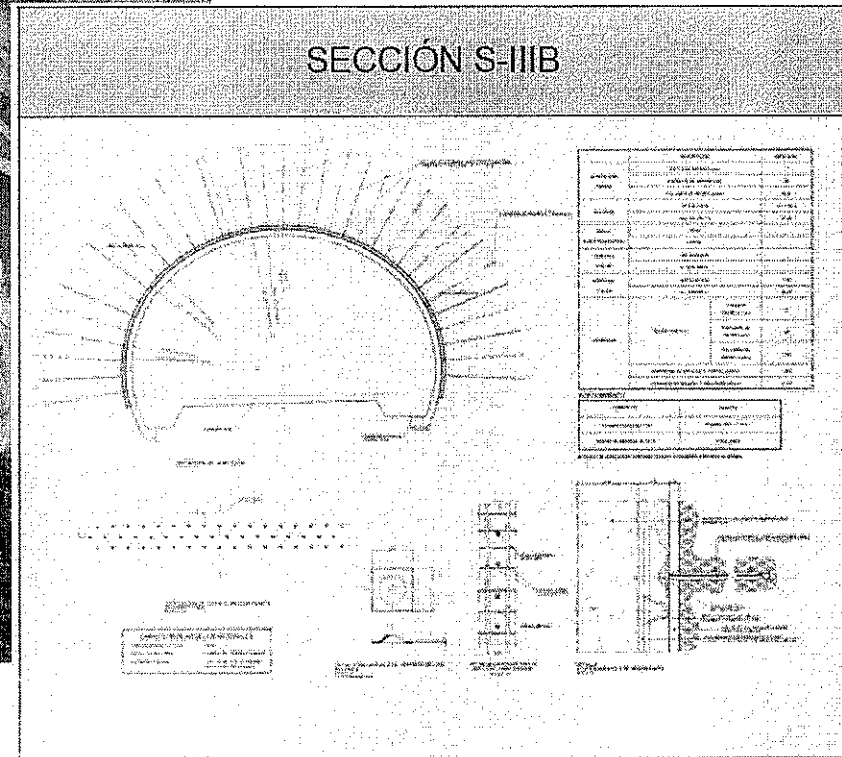
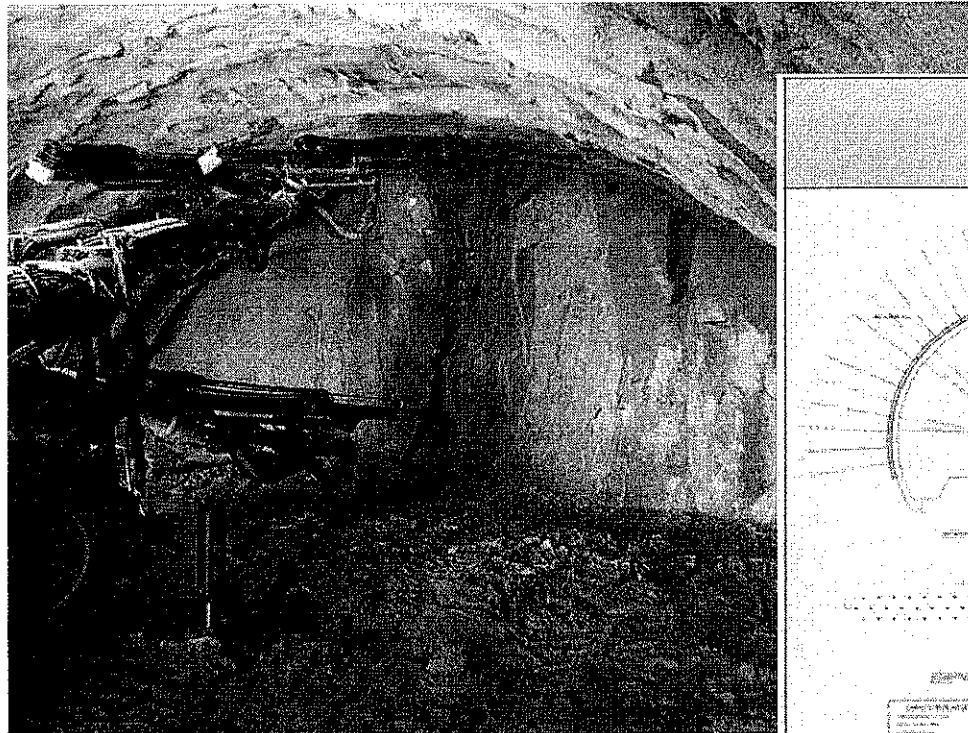


Comité de Asesoría de la Comisión de Túneles y Obras Subterráneas

Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas

Fundación Española de Balancourt

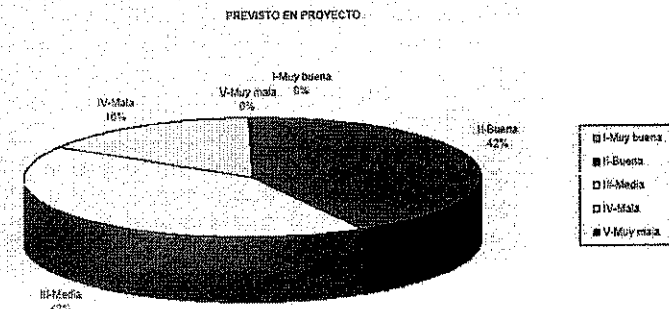
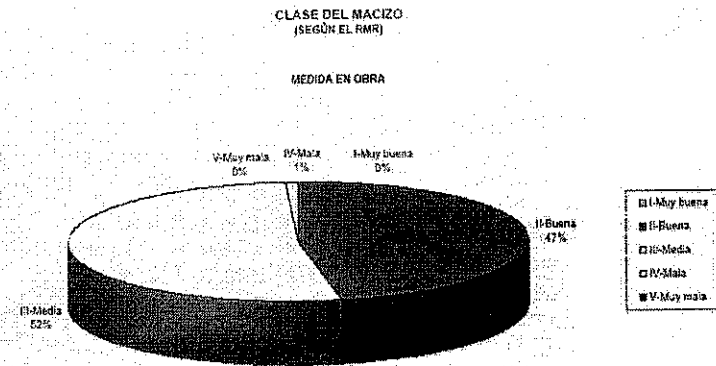
PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL SECCIONES DE SOSTENIMIENTO (3 de 4)



PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

SECCIONES DE SOSTENIMIENTO (4 de 4)

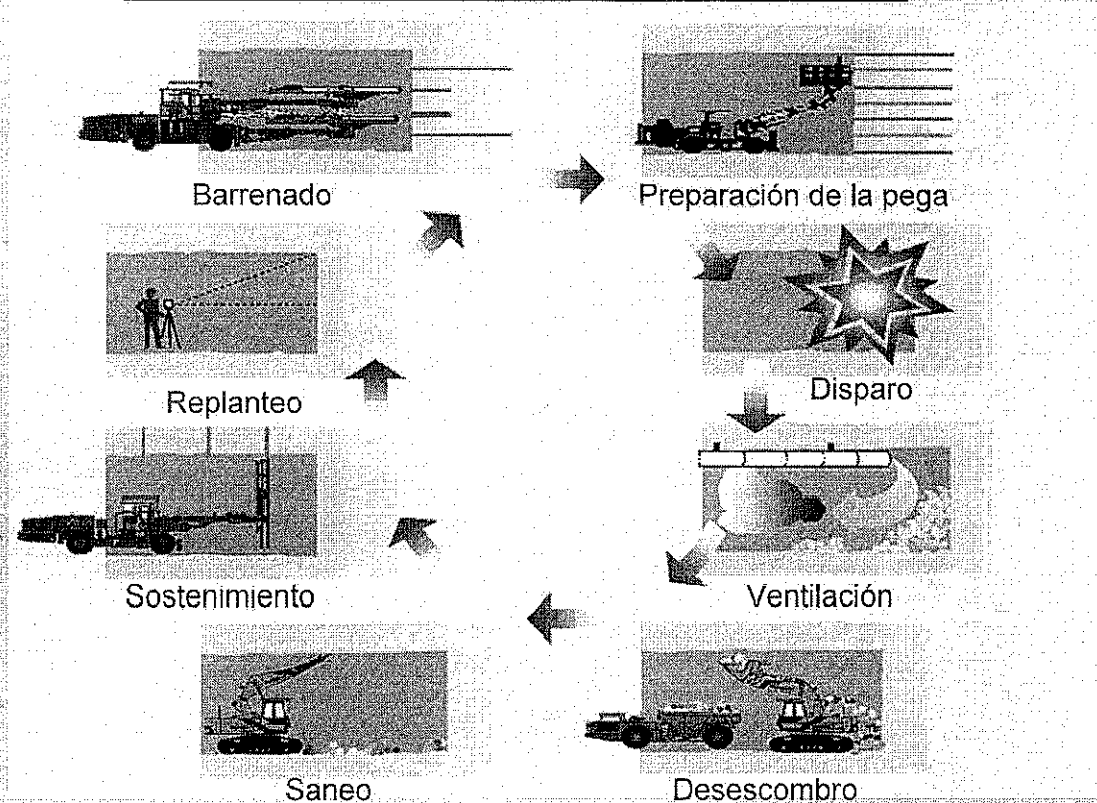
COMPARATIVA ENTRE PREVISIÓN DE PROYECTO - OBRA		
SECCIÓN TIPO	PROYECTO	OBRA
S-I	0	160
S-II	2029	2091
S-III	629	317
S-III B	303	0
S-IV	19	418
S-V	24	24
TOTAL	3004	3000



PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

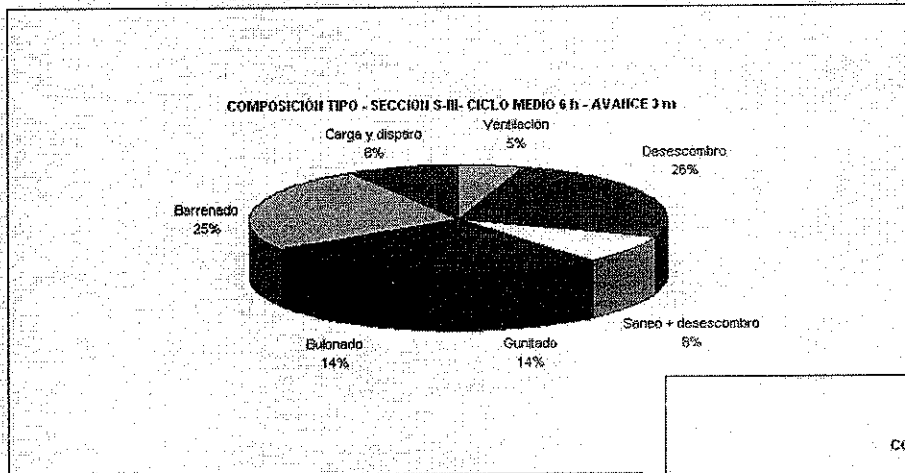
CICLO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO (1 de 2)

Perforación y voladura



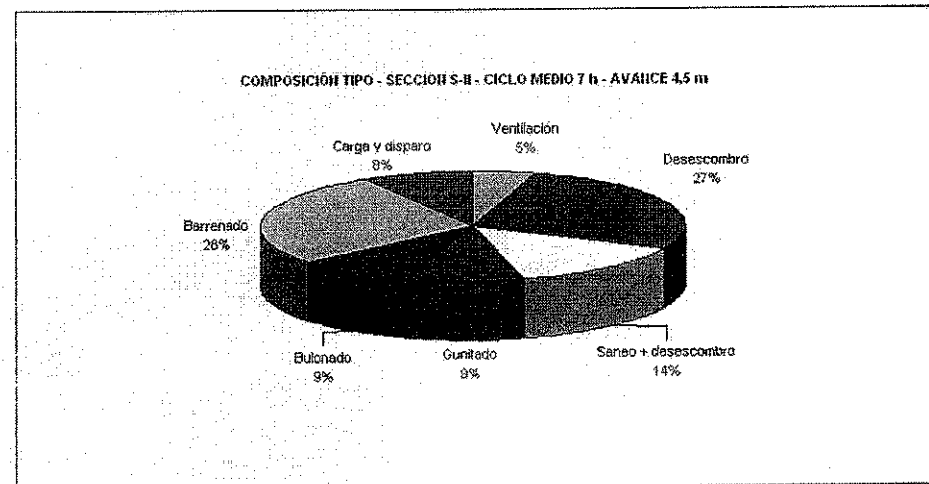
PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

CICLO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO (2 de 2)



SECCIÓN S-III

SECCIÓN S-II



PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

FASES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO (1 de 4)

DESESCOMBRO Y SANEO

SANEO CON MARTILLO SOBRE RETRO



DESESCOMBRO. PALA Y CAMIONES ARTICULADOS

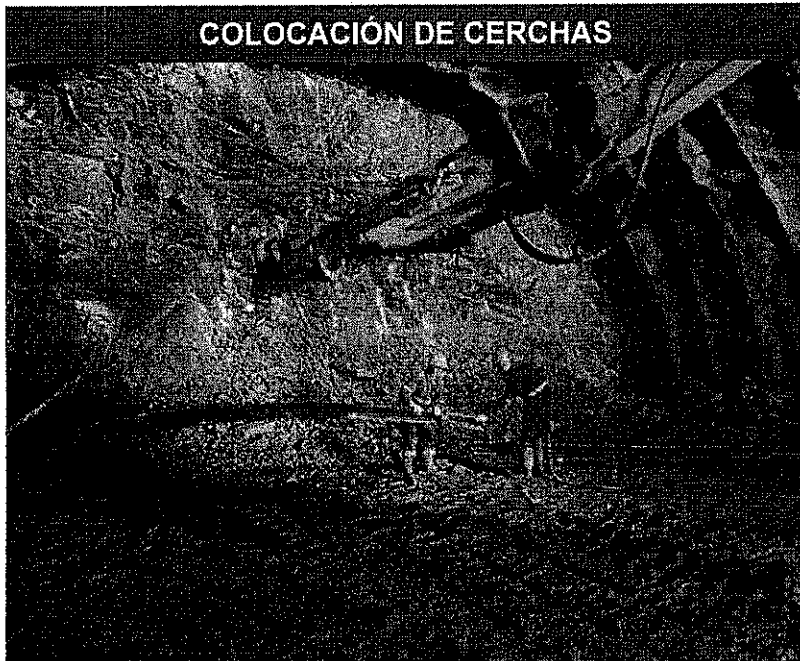


PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

FASES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO (2 de 4)

EJECUCION DEL SOSTENIMIENTO

COLOCACIÓN DE CERCHAS



GUNITADO DEL PASE EXCAVADO

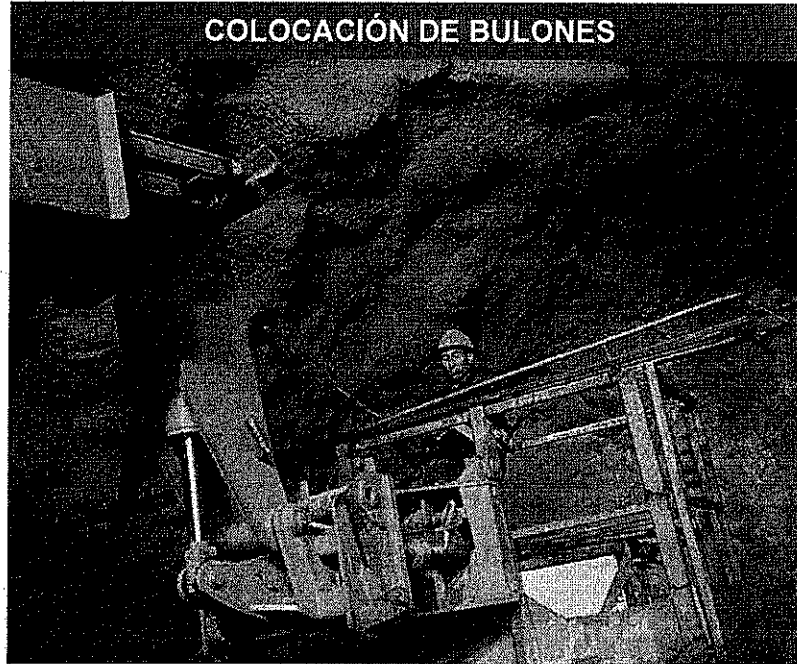


PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

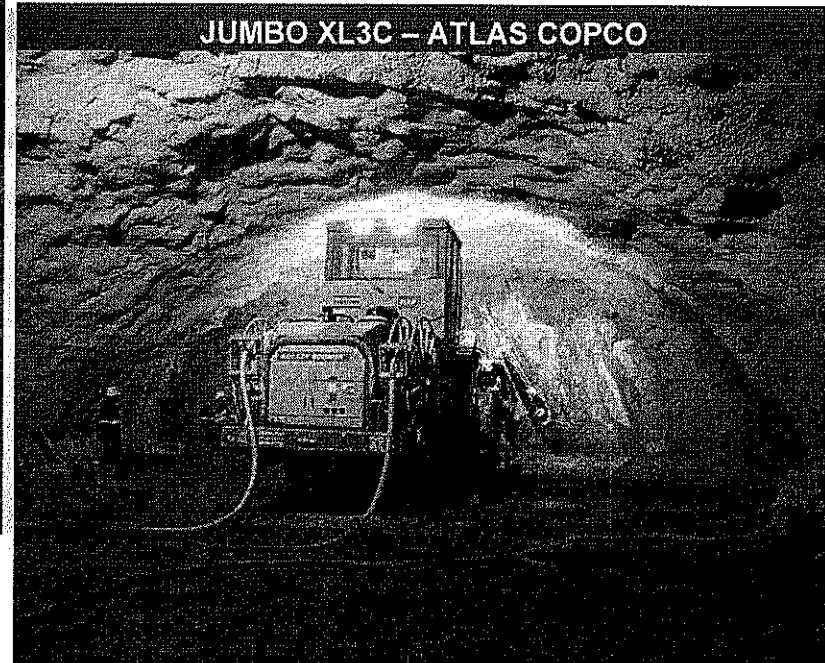
FASES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO (3 de 4)

BULONADO Y BARRENADO DEL SIGUIENTE PASE

COLOCACIÓN DE BULONES



JUMBO XL3C - ATLAS COPCO



PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

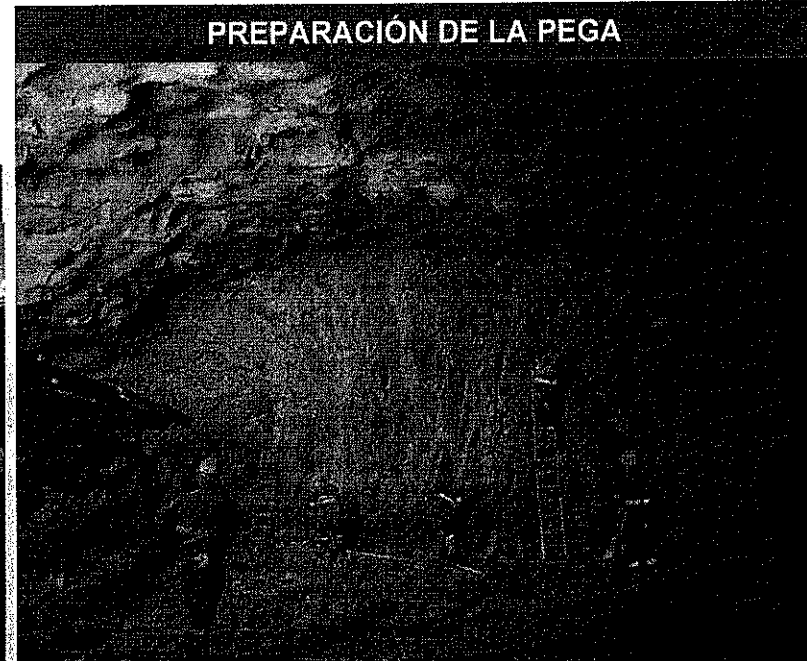
FASES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO (4 de 4)

PREPARACION Y DISPARO DE LA PEGA

NAGOLITERA PARA CARGA DE ANFO



PREPARACIÓN DE LA PEGA



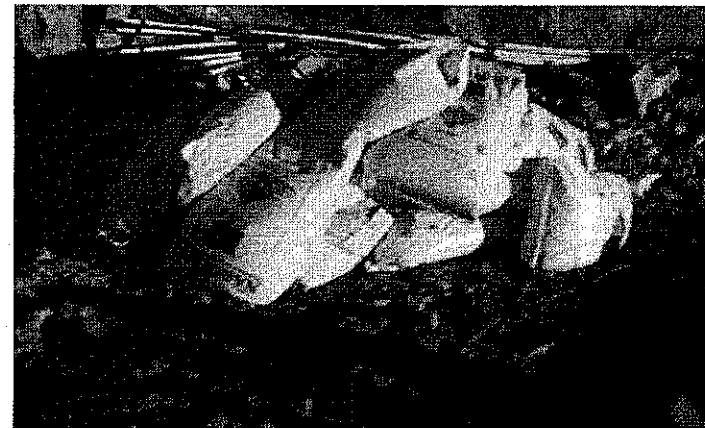
PROCESO CONSTRUCTIVO. TÚNEL PRINCIPAL

EMPLEO DE EXPLOSIVOS

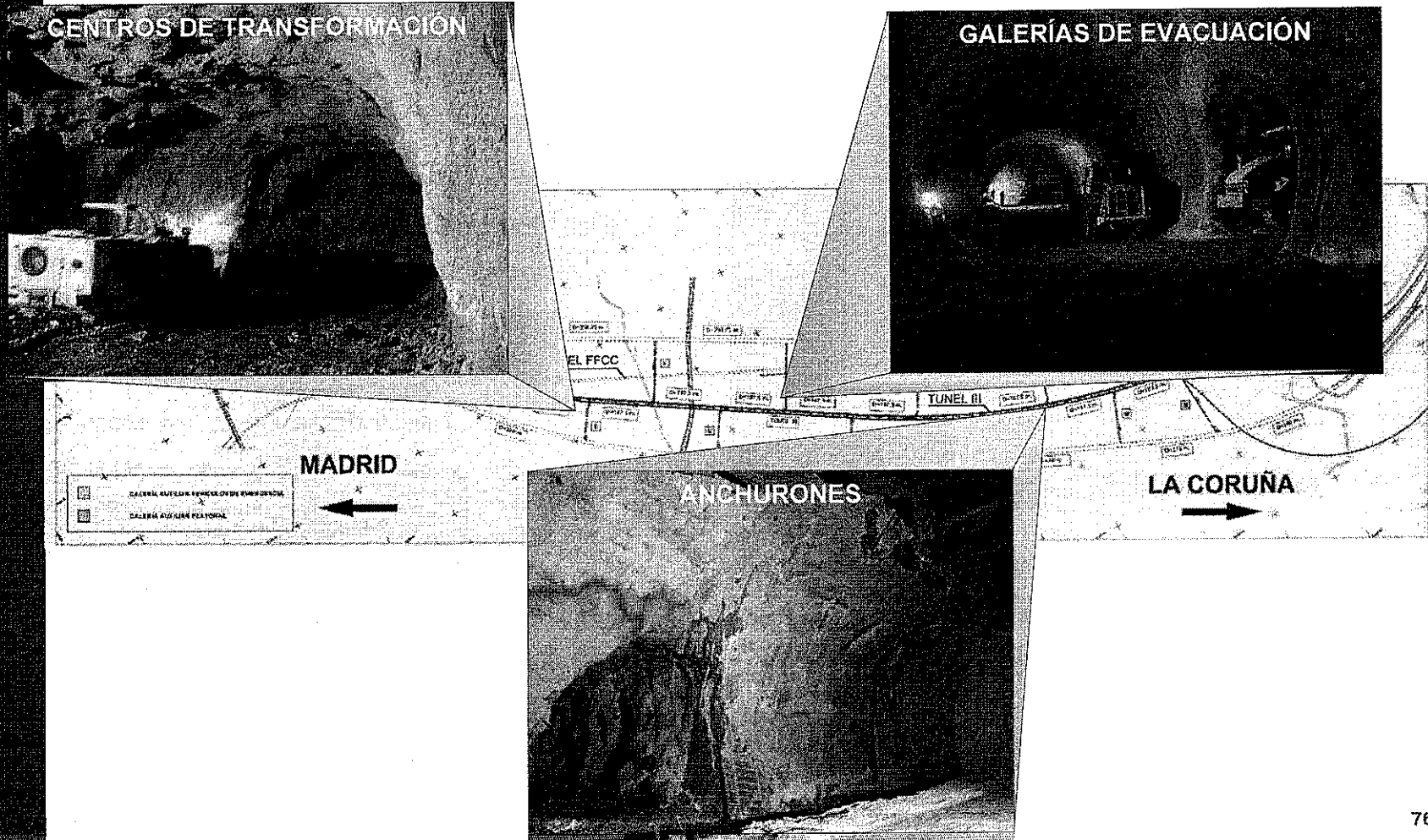


- En un pase medio de sección S-II se empleaban, en avance, 150 kg de goma-2 y 450 kg de nagolita
- La carga específica media ha sido de 1,80 Kg/m³
- En sección S-II el plan de tiro estaba diseñado para una carga operante de 26 kg

- Para la excavación se empleó tanto nagolita (ANFO) como goma-2 ECO (Dinamita)
- La nagolita no puede emplearse en presencia de agua, por lo que no pudo emplearse en los tramos próximos a los emboquilles
- La goma-2 ECO tiene un proceso de puesta en obra más elaborado. Sin embargo, al no perder sensibilidad en presencia de agua, fue usada en emboquilles y también en los barrenos de zapateras



CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS

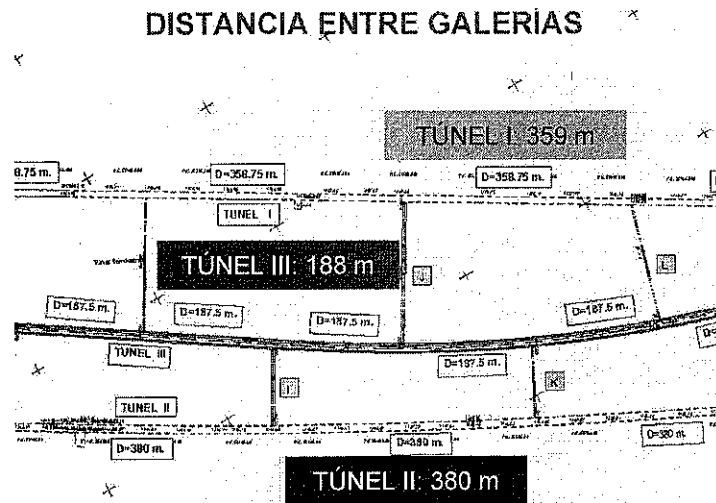




CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS

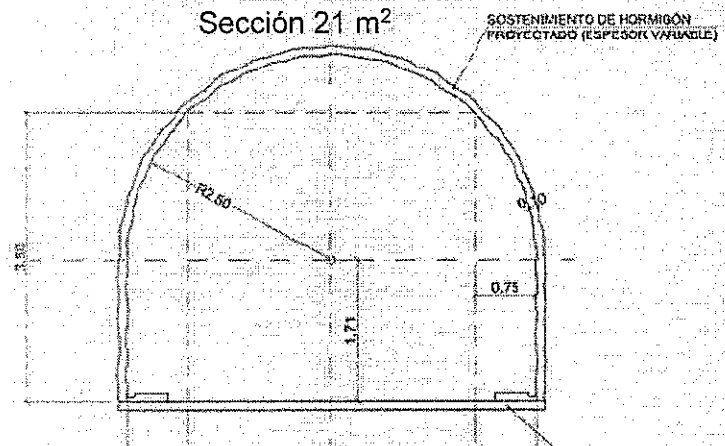
DATOS BÁSICOS DE LAS GALERÍAS (1 de 2)

DISTANCIA ENTRE GALERÍAS

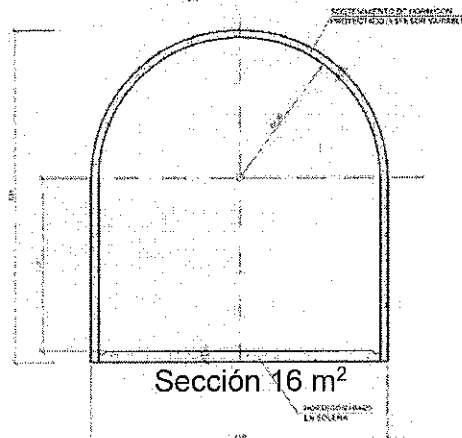


GALERÍA PARA VEHÍCULOS

Sección 21 m²

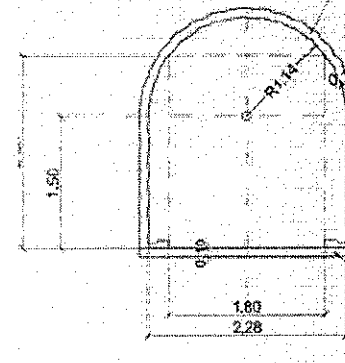


- Aumento de sección para mejorar la productividad
- Nueva sección de 16 m²



Sección 16 m²

SOSTENIMIENTO DE HORMIGÓN PROYECTADO (ESPESOR VARIABLE) HORMIGÓN HM-20 EN SOLERA



GALERÍA PEATONAL

Sección 8 m²

HORMIGÓN HM-20 EN SOLERA

CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS

DATOS BÁSICOS DE LAS GALERÍAS (2 de 2)

DENOMINACION	CLASIFICACION	ORIGEN-FINAL	COTA TÚNEL			Pk INICIO (Túnel 3)	LONGITUD (m)	PENDIENTE MÁXIMA (%)
			T-3	T-1	T-2			
Galería A	Galería Auxiliar Vehículos de Emergencia	Túnel 1 a Túnel 2		1.205,338	1.232,308		248,865	11,400
Galería B	Galería Auxiliar Vehículos de Emergencia	Túnel 3 a Túnel 1	1.235,469	1.219,070		6+733,136	235,101	7,500
Galería C	Galería Auxiliar Peatonal	Túnel 3 a Túnel 2	1.240,752		1.235,455	7+108,136	51,504	14,500
Galería D	Galería Auxiliar Peatonal	Túnel 3 a Túnel 1	1.243,967	1.231,221		7+295,636	144,826	9,500
Galería E	Galería Auxiliar Vehículos de Emergencia	Túnel 3 a Túnel 2	1.246,619		1.238,840	7+483,136	104,470	8,500
Galería F	Galería Auxiliar Vehículos de Emergencia	Túnel 3 a Túnel 1	1.250,036	1.243,660		7+670,636	172,880	4,100
Galería G	Galería Auxiliar Peatonal	Túnel 3 a Túnel 2	1.252,098		1.242,380	7+858,136	128,173	8,500
Galería H	Galería Auxiliar Peatonal	Túnel 3 a Túnel 1	1.255,121	1.257,119		8+045,636	190,790	1,350
Galería I	Galería Auxiliar Vehículos de Emergencia	Túnel 3 a Túnel 2	1.257,705		1.245,870	8+233,136	108,700	13,500
Galería J	Galería Auxiliar Vehículos de Emergencia	Túnel 3 a Túnel 1	1.260,835	1.270,022		8+420,636	202,590	5,350
Galería K	Galería Auxiliar Peatonal	Túnel 3 a Túnel 2	1.263,259		1.249,255	8+608,136	101,825	15,750
Galería L	Galería Auxiliar Peatonal	Túnel 3 a Túnel 1	1.266,460	1.281,411		8+795,636	187,780	9,650
Galería M	Galería Auxiliar Vehículos de Emergencia	Túnel 3 a Túnel 2	1.268,884		1.252,683	8+983,136	146,340	13,000
Galería N	Galería Auxiliar Peatonal	Túnel 3 a Túnel 2	1.271,697		1.254,810	9+170,636	207,540	9,000

LONGITUD TOTAL DE GALERÍAS (m)	2.211
GALERÍAS PARA VEHICULOS (m)	1.219
GALERÍAS PARA PEATONES (m)	992

CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS SOSTENIMIENTO EN GALERÍAS

SOSTENIMIENTO

- Malla de bulones de 2,5 (T) y 2,0 (L)
- Longitud de bulones 4 m en galerías vehiculares y de 3 m en peatonales
- Hormigón proyectado con fibras, 10 cm



ENTRONQUE CON TÚNEL III

- Paraguas ligero de bulones de 32 mm de 6 m de longitud inyectados con cemento
- Malla electrosoldada y hormigón proyectado con fibras a modo de viga de atado
- Bulones swellex de 4 m para refuerzo

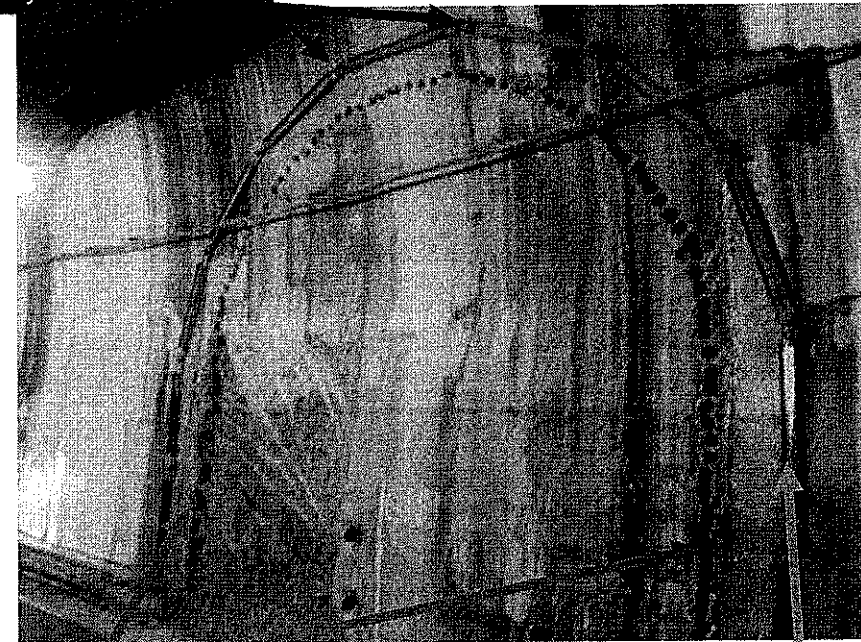
CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS

CALE DE GALERÍAS CON TÚNEL II (1 de 3)

Bulones L=6 m ϕ 32 mm
inyectados

FASES DE EJECUCIÓN

- Corte nocturno de un carril en túnel II
- Ejecución de taladros de ayuda a lo largo del perímetro del cale
- Colocación de refuerzo en entronque
- Voladura del macizo rocoso con corte total de tráfico de 15 minutos (nocturno)
- Desescombro
- Excavación con martillo picador del hormigón y sostenimiento



Perfilado del contorno con
taladros de ayuda

Vigas IPN para arriostre
de los bulones



Centro de Investigación
de Construcción

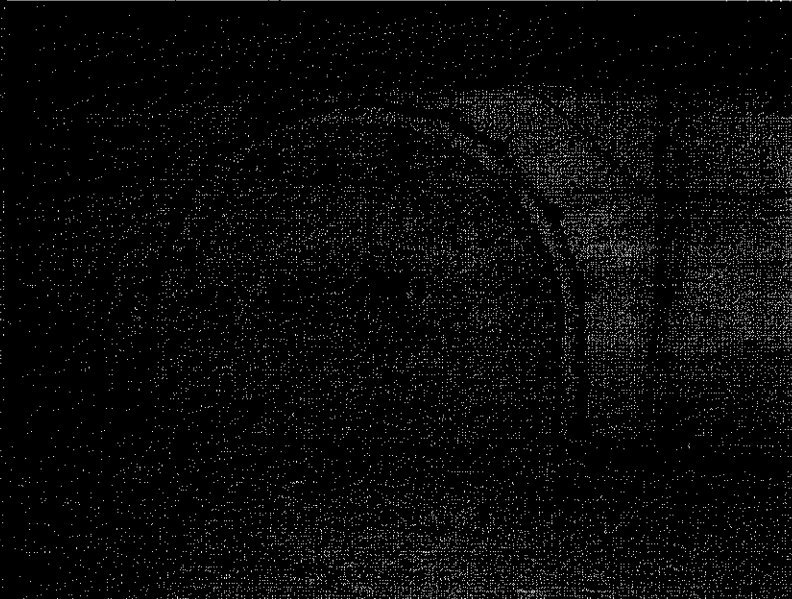
Asociación Española
de Túneles y Obras
Subterráneas

Fundación Agustín
de Betancourt

CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS CALE DE GALERÍAS CON TÚNEL II (2 de 3)

VOLADURA DEL MACIZO ROCOSO

- Disparo de un cuele de 60 cm
- Posteriormente, voladuras de zapateras y rastreras
- Voladuras de recorte



CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS CALE DE GALERÍAS CON TÚNEL II (3 de 3)

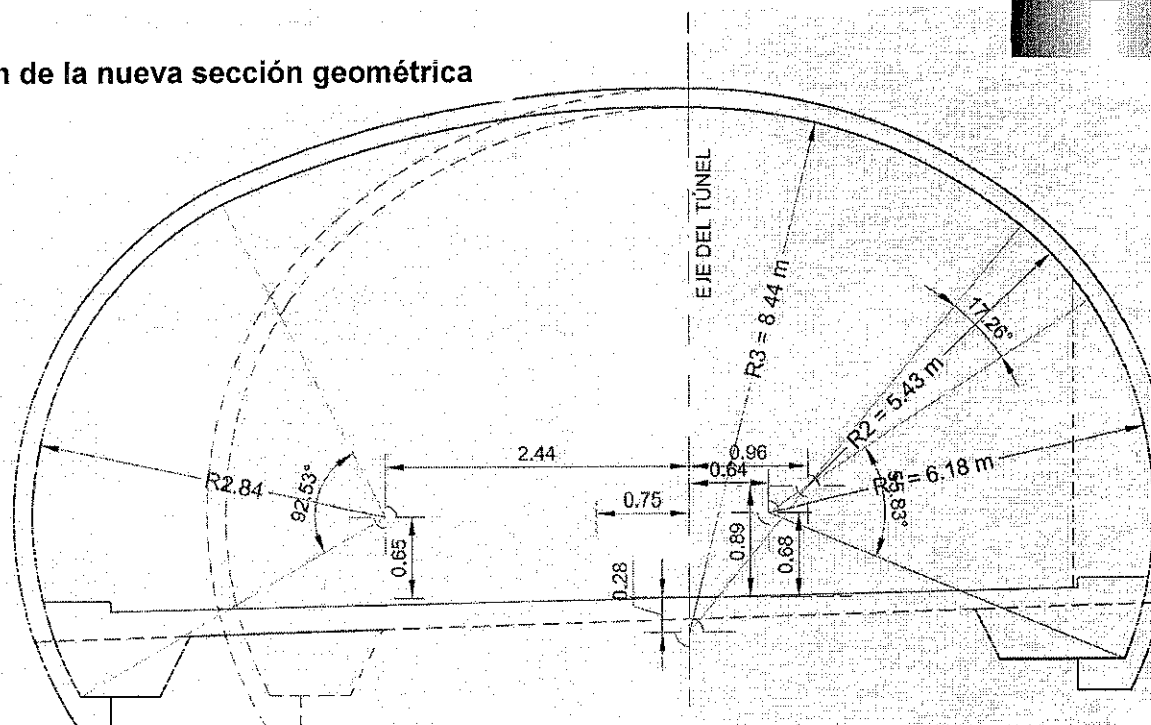
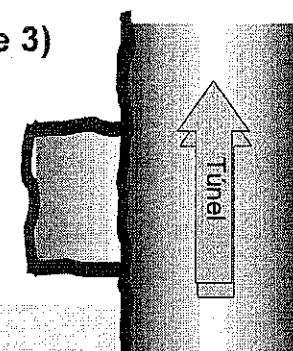


- Posteriormente se optó por picar el revestimiento previamente al disparo
- Este procedimiento genera las mínimas proyecciones hacia el túnel
- El desescombro es rápido, por lo que el corte de tráfico se limita mucho

CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS

CONSTRUCCIÓN DE APARTADEROS (1 de 3)

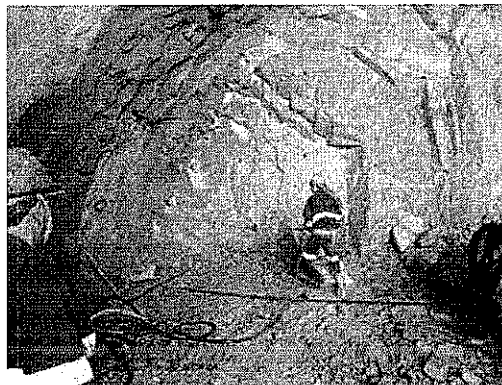
- Decisión sobre el proceso constructivo:
 - Ensanchamiento de una sección previamente excavada
 - Aumento de la sección en primera excavación
- Aprobación de la nueva sección geométrica



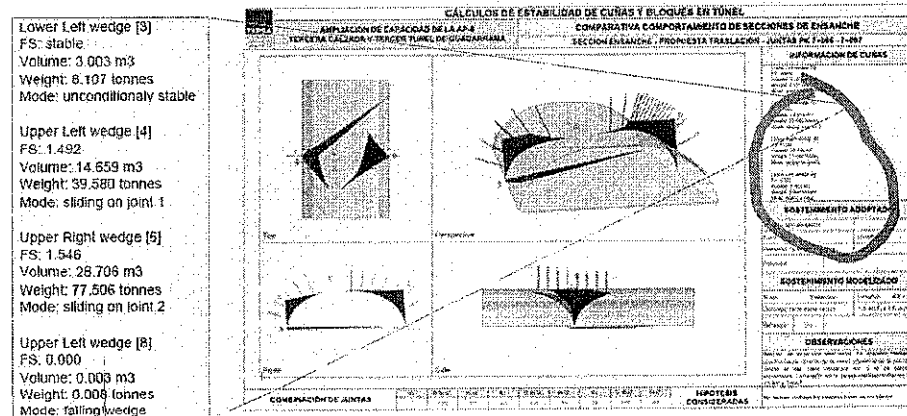
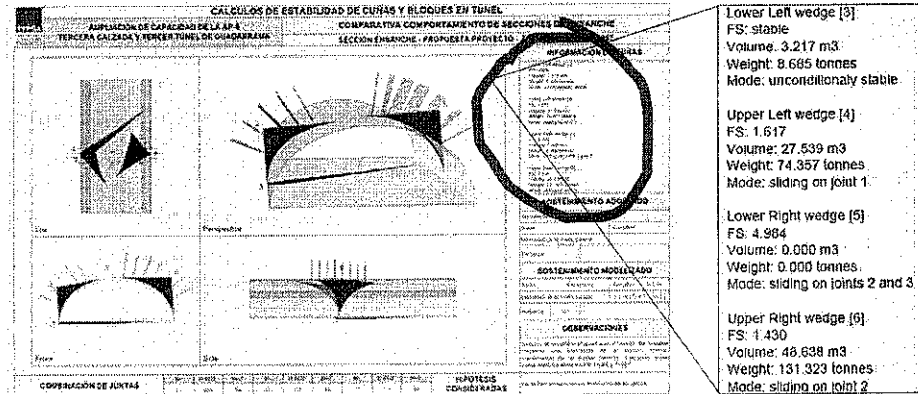
CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS CONSTRUCCIÓN DE APARTADEROS (2 de 3)

SOSTENIMIENTO

- Bulones de expansión de 5 m
- Bulones temporales de fibra de vidrio



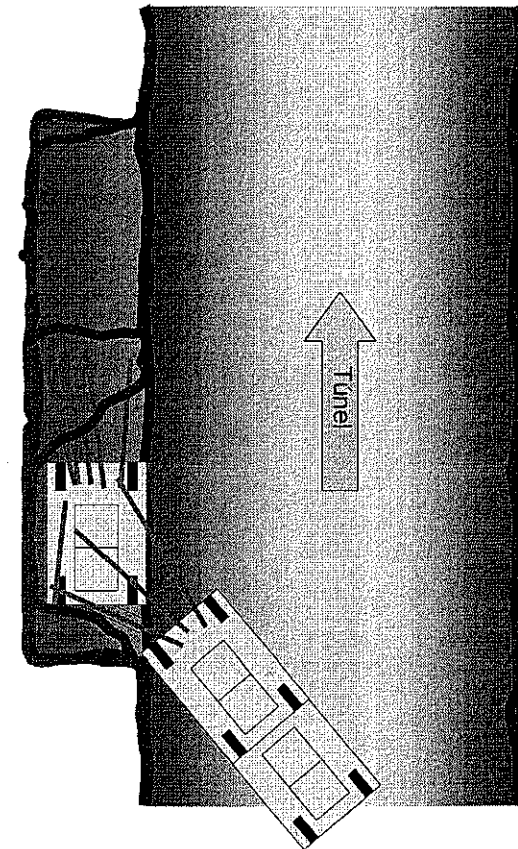
COMPROBACIÓN DEL SOSTENIMIENTO



CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS CONSTRUCCIÓN DE APARTADEROS (3 de 3)

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

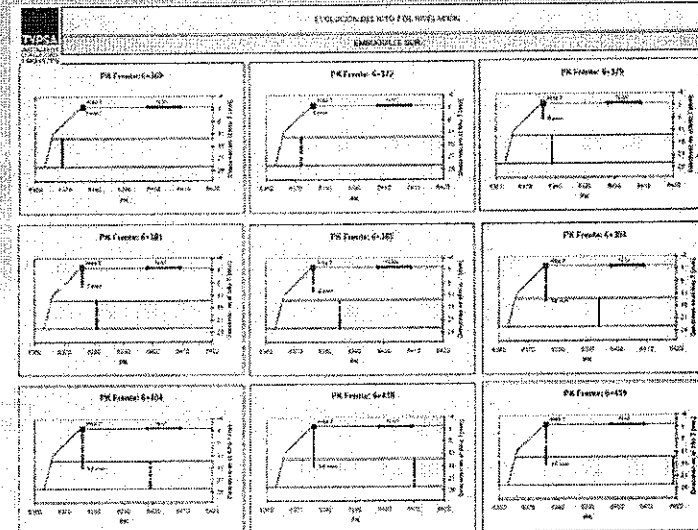
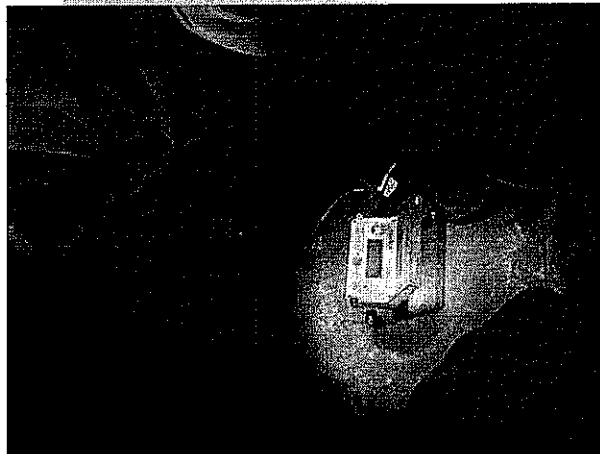
- ◆ Excavación de la sección de avance normal
- ◆ Ejecución del sostenimiento provisional.
Bulones de fibra de vidrio
- ◆ Barrenado en disposición oblicua respecto
del eje de túnel
- ◆ Limpieza y regularización
- ◆ Colocación del sostenimiento
- ◆ Ejecución de pases de anclurón en sentido
longitudinal al eje de túnel
- ◆ Regularización final



PASOS ESPECIALES SOLUCIÓN EJECUTADA (1 de 3)

PASO BAJO LA N-VI

- Solución de proyecto: Construcción de un segundo paraguas de 12 m
- No se ejecutó. Seguimiento intenso de la auscultación colocada (convergencias, inclinómetros e hitos de nivelación)



PASO SOBRE EL TÚNEL I

- Distancia 15 m en la vertical
- Control de vibraciones. Limitaciones de la carga operante en el plan de tiro
- Consecuencia: limitación del avance por pase

PASOS ESPECIALES

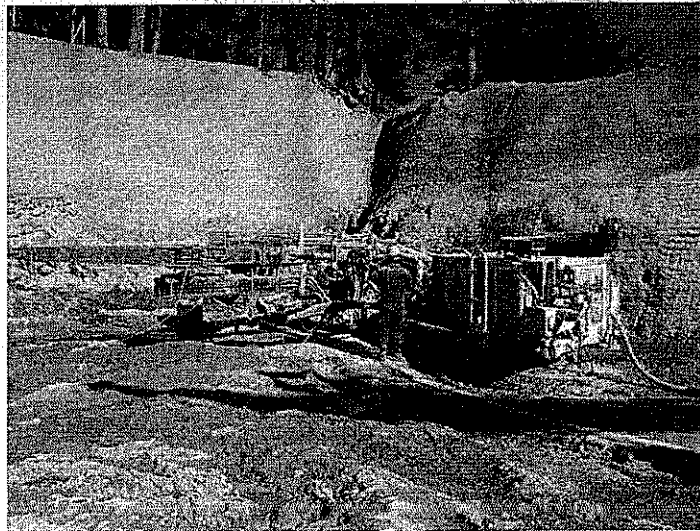
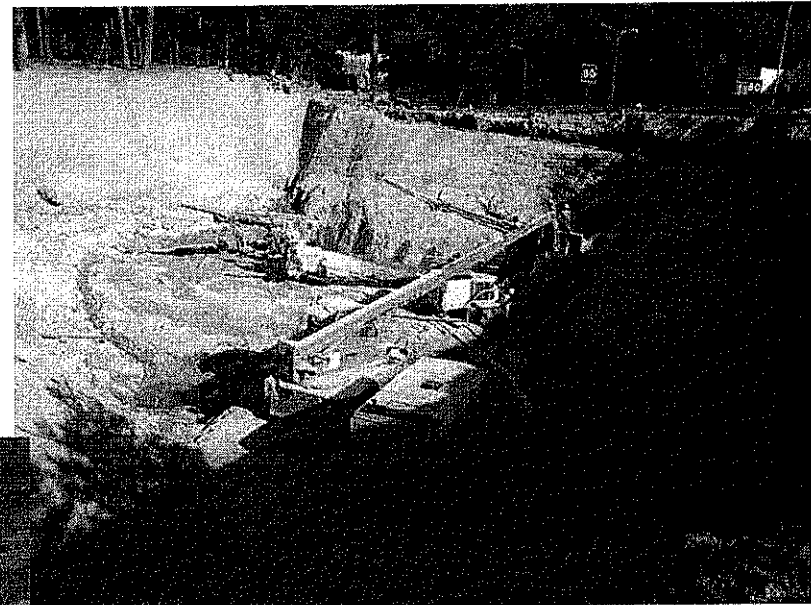
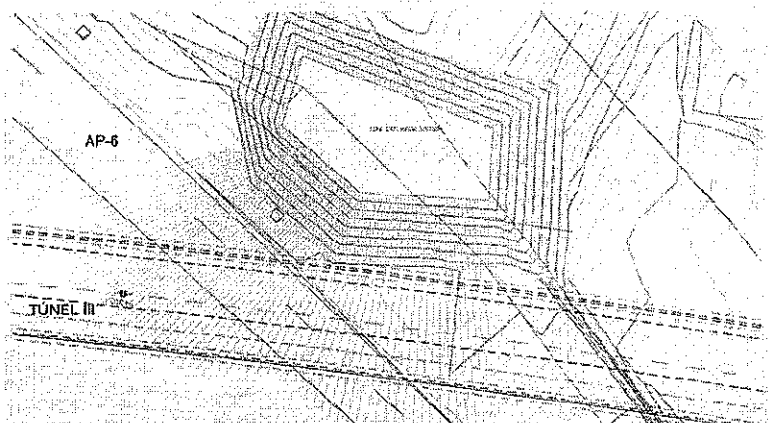
PASO BAJO EL FERROCARRIL SOLUCIÓN EJECUTADA (2 de 3)

- Dos paraguas de 35 micropilotes cada uno de 12 m de longitud
- Se modificó la solución de proyecto para que pudiese ejecutarse con el propio jumbo, reduciendo así el plazo de construcción a menos de la cuarta parte



PASOS ESPECIALES

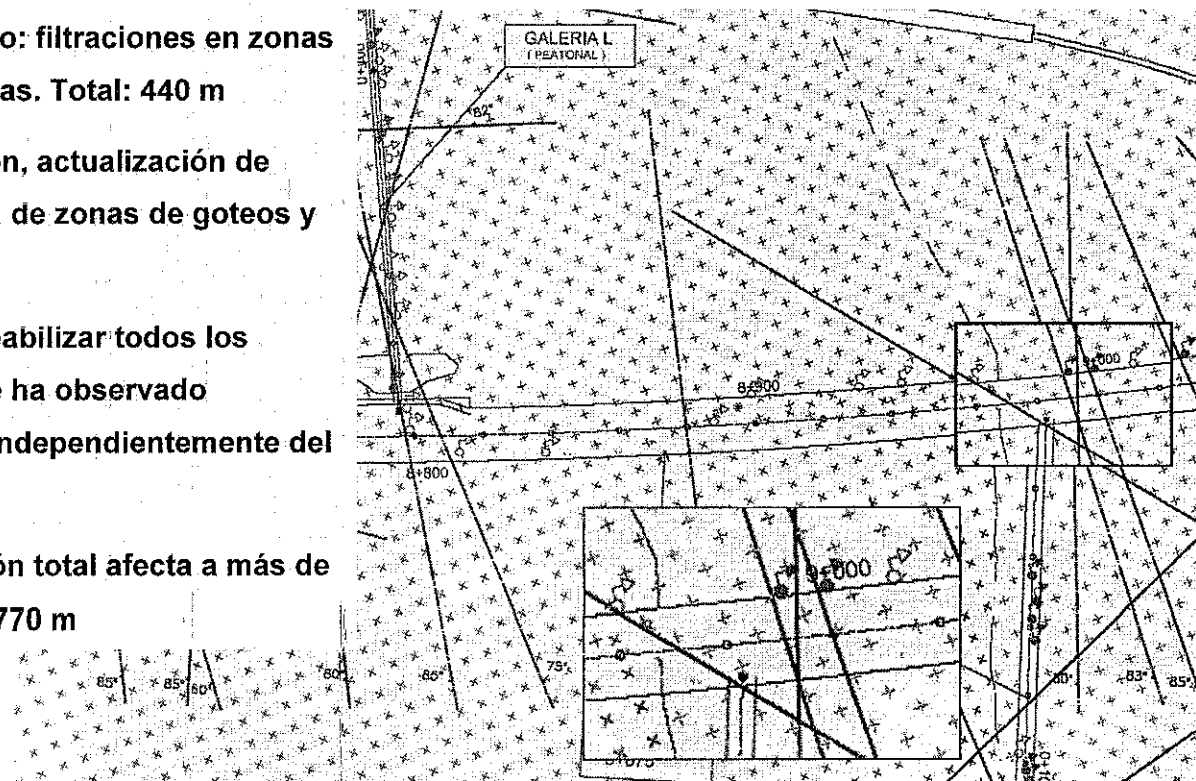
SOLUCIÓN EJECUTADA (3 de 3)



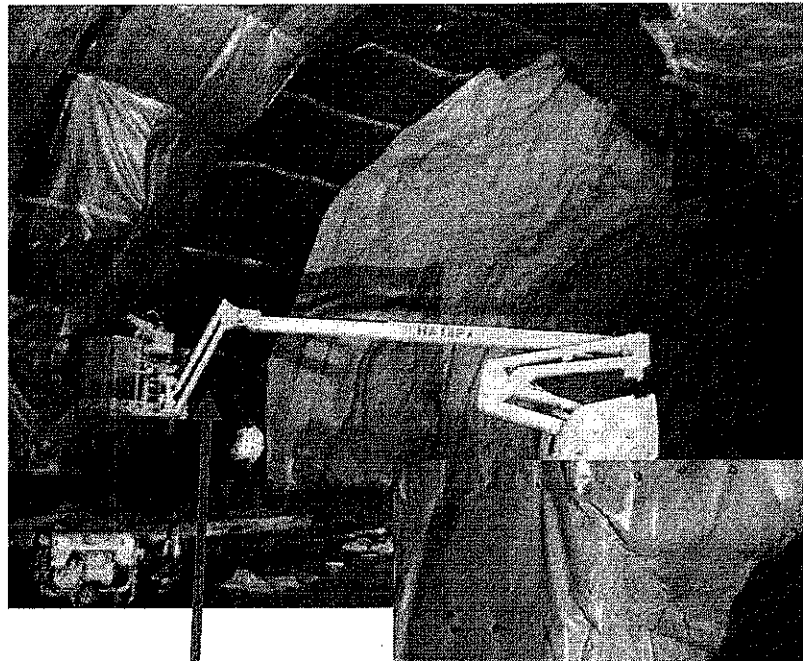
IMPERMEABILIZACIÓN

SELECCIÓN DE TRAMOS PARA IMPERMEABILIZACIÓN

- Previsión de proyecto: filtraciones en zonas de emboquilles y fallas. Total: 440 m
- Durante la excavación, actualización de planta con ubicación de zonas de goteos y flujos menores
- Se opta por impermeabilizar todos los puntos en los que se ha observado existencia de agua, independientemente del caudal detectado
- La impermeabilización total afecta a más de la mitad del túnel: 1.770 m



IMPERMEABILIZACIÓN EJECUCIÓN DE LA IMPERMEABILIZACIÓN



Geotextil de 500 gr/cm²
para conducir agua
hacia los drenes



Lámina de PVC de 1,5 mm de
espesor para impermeabilizar

REVESTIMIENTO Y FALSOS TÚNELES

DATOS GENERALES DEL REVESTIMIENTO

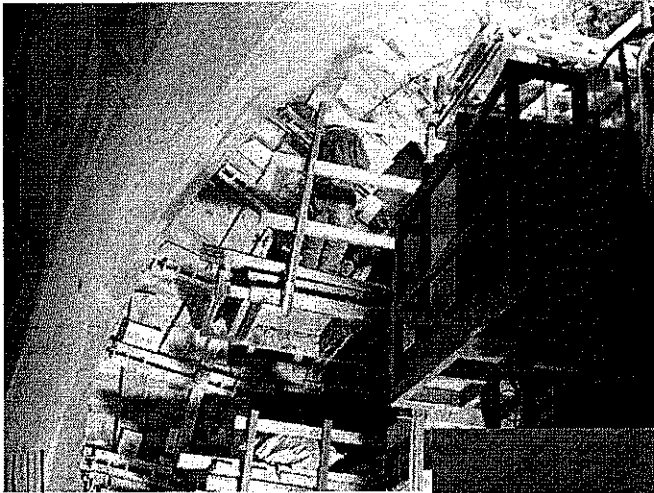
- Se hormigonan anillos de 12 m de longitud cada uno mediante tres carros decalados
- El tercer carro cierra el túnel
- Cada ciclo de puesta dura entre 24 y 36 horas



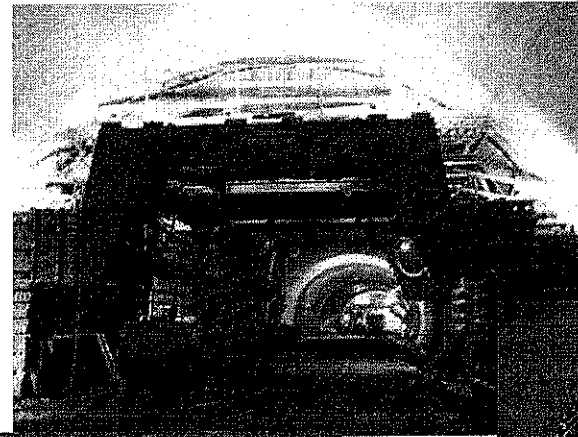
- El revestimiento se ejecuta en sentido Norte – Sur
- El proceso de ejecución libera el túnel para la construcción de canalizaciones y servicios
- Se hormigonaron 2.855 m en 5 meses y medio, a un rendimiento medio total de 23,6 m/día

REVESTIMIENTO Y FALSOS TÚNELES

EJECUCIÓN DEL REVESTIMIENTO



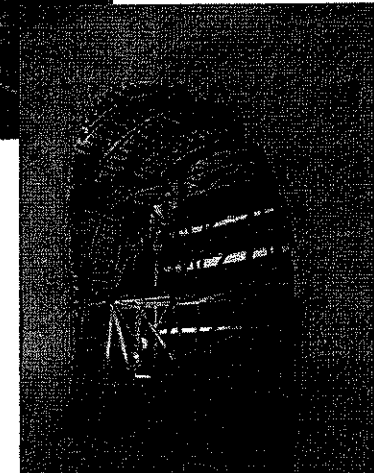
Tape contra la
impermeabilización



Carro puesto
en obra



Revestimiento
completado

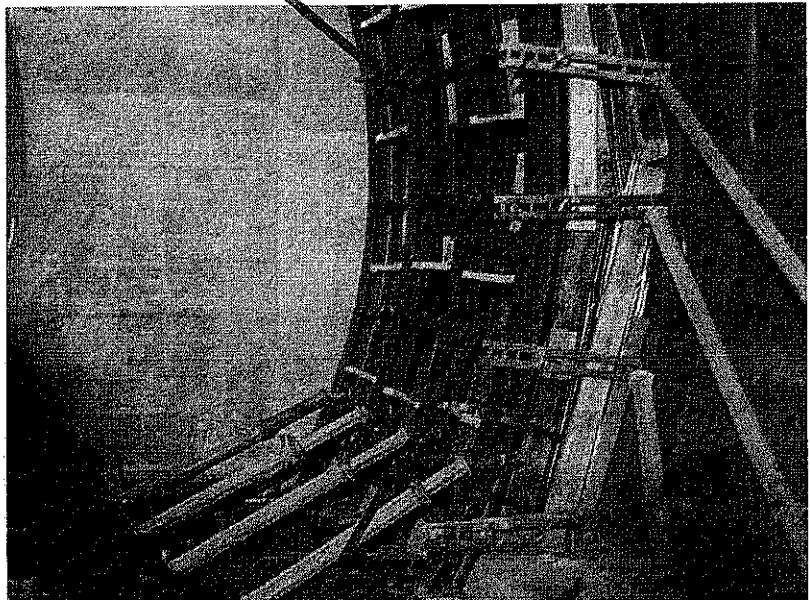


Hormigonado de
nichos SOS

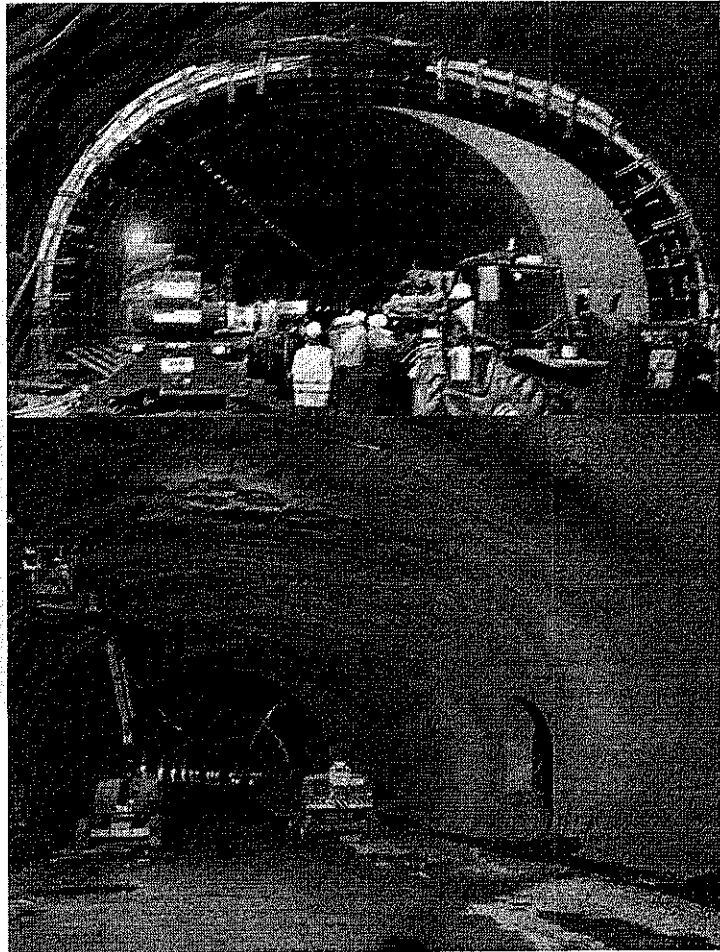
REVESTIMIENTO Y FALSOS TÚNELES

REVESTIMIENTO DE ANCHURONES

Cerchas HEB-220

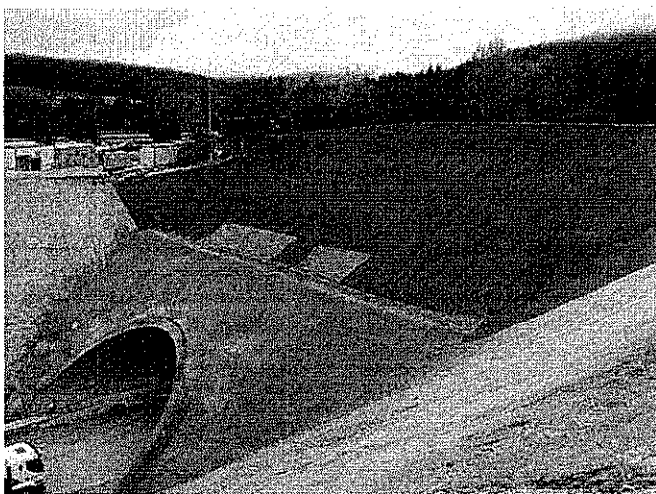


Chapa Bernold



REVESTIMIENTO Y FALSOS TÚNELES

DATOS PRINCIPALES DE LOS FALSOS TÚNELES

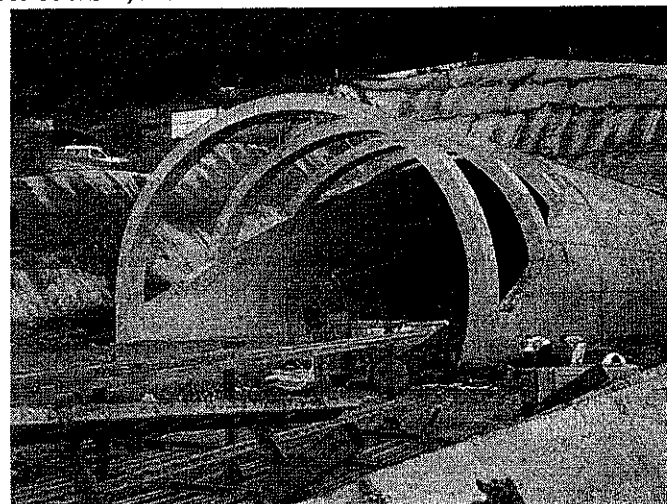


FALSO TÚNEL DE BOCA NORTE

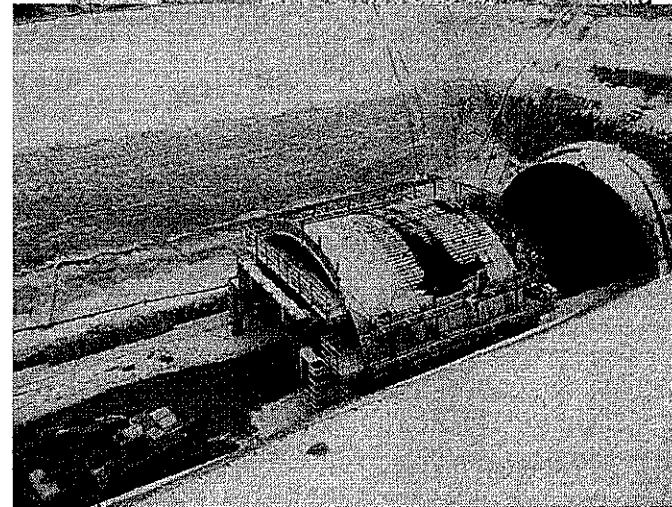
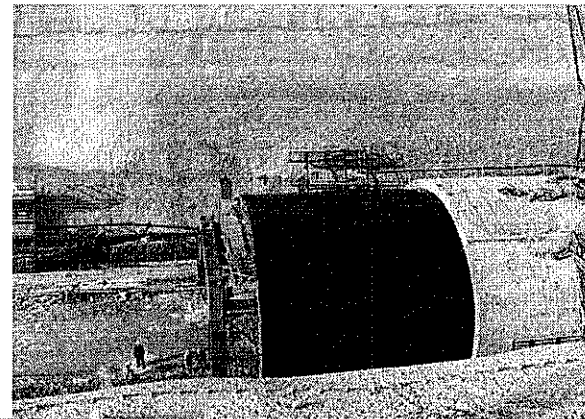
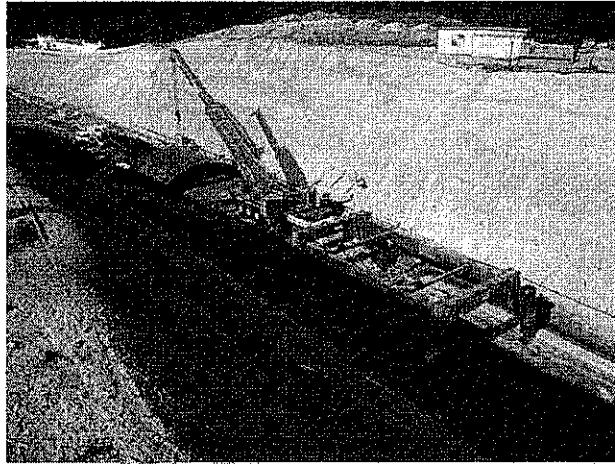
- Longitud 96 m, en un total de 8 anillos
- Volumen total de hormigón 1.703 m³
- Terminación pico de flauta
- Fecha del primer hormigonado 7-Marzo-2006
- Duración total 2,5 meses

FALSO TÚNEL DE BOCA SUR

- Longitud 48 m, en un total de 4 anillos
- Volumen total de hormigón 634 m³
- Estructura decorativa. Mejora la adaptación a la iluminación exterior
- Fecha del primer hormigonado 18-Agosto-2006
- Duración total 1 mes



REVESTIMIENTO Y FALSOS TÚNELES EJECUCIÓN DE LOS FALSOS TÚNELES





INSTALACIONES

CUADRO RESUMEN DE INSTALACIONES (1 de 2)

✓ En perfecto estado	✓ Renovación	✓ Nueva construcción	T 1	T 2	T 3	GAL
Mecánicas (Ventilación y protección contra incendios)	Ventilación		✓	✓	✓	✓
	BIE's		✓	✓	✓	
	Hidrantes		✓	✓	✓	
	Detección de incendios		✓	✓	✓	✓
Eléctricas (Acometidas, distribución e iluminación)	Iluminación		✓	✓	✓	✓
	Alumbrado emergencia		✓	✓	✓	✓
	Alumbrado guiado		✓	✓	✓	✓
	Centros transformación		✓	✓	✓	



INSTALACIONES

CUADRO RESUMEN DE INSTALACIONES (2 de 2)

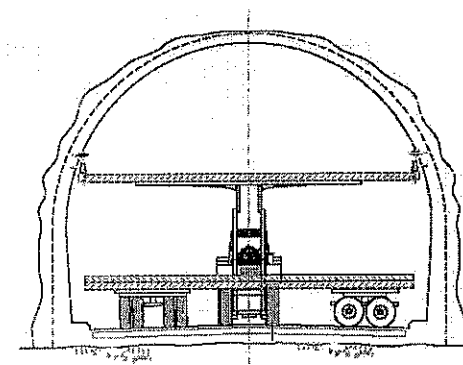
✓ En perfecto estado	✓ Renovación	✓ Nueva construcción	T 1	T 2	T 3	GAL
		CCTV	✓	✓	✓	✓
		DAI	✓	✓	✓	
		Señalización variable	✓		✓	
		Aforos de tráfico	✓	✓	✓	
		Detector de presencia	✓	✓	✓	✓
		Postes S.O.S.	✓	✓	✓	✓
		Estación meteorológica	✓	✓	✓	✓
		Megafonía	✓	✓	✓	✓
		Radiocomunicaciones	✓	✓	✓	✓

Comunicaciones, seguridad y control

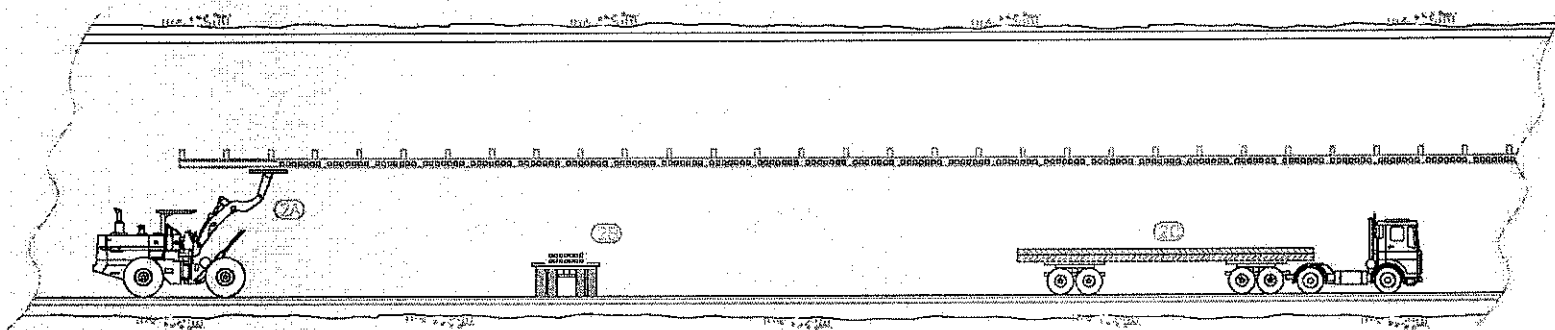
INSTALACIONES

ADECUACIÓN DEL TÚNEL I

- Demolición del falso techo para convertir la ventilación semitransversal en longitudinal
- Construcción de apartaderos (anchurones)
- Construcción de la galería A, que conecta los túneles I y II
- Cale de las galerías correspondientes. No se ha podido ejecutar antes por interferencia con el falso techo



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TÚNEL



SECCIÓN LONGITUDINAL DEL TÚNEL

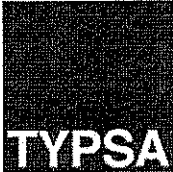
ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

SEGUIMIENTO DE OBRA

- Equipo de control técnico
- Levantamientos de frente
- Control de la auscultación
- Análisis de la estabilidad de cuñas y bloques
- Actualización de información geotécnica
- Control de datos de producción




SEGUIMIENTO DE OBRA
EQUIPO DE CONTROL TÉCNICO



EQUIPO DE TÚNEL

- Capacidad de decisión sobre la producción
- Trabajo 24 h
- 1 Ingeniero de Caminos, 2 geólogos



ASESORES

- Carlos Oteo
- Javier Castanedo



TRIPLE VERTIENTE

CONTROL GEOTÉCNICO

- Levantamientos de frente
- Análisis estructural
- Estabilidad de cuñas
- Control de auscultación

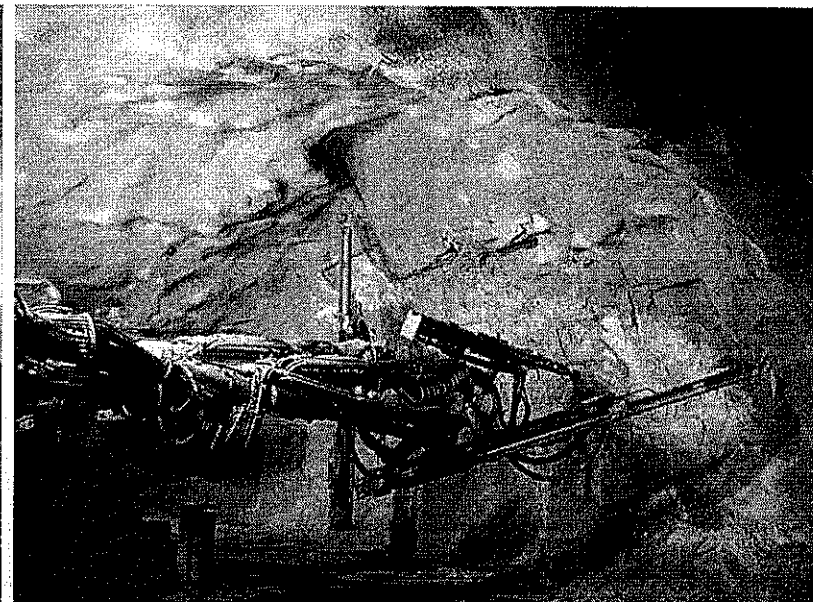
CONTROL DE CALIDAD Y EJECUCIÓN

- Calidad de hormigones
- Calidad de acero
- Avances por pase
- Ejecución del sostenimiento

CONTROL ECONÓMICO

- Mediciones
- Presupuestos
- Certificaciones

SEGUIMIENTO DE OBRA
ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE CUÑAS Y BLOQUES (1 de 5)
PROBLEMÁTICA PRINCIPAL DEL TÚNEL
CAÍDA DE CUÑAS Y BLOQUES





SEGUIMIENTO DE OBRA

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE CUÑAS Y BLOQUES (2 de 5)

MACIZO GRANÍTICO QUE DESTACA POR SU GRAN HOMOGENEIDAD

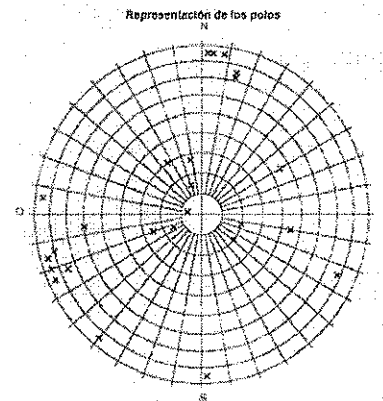
- Se levantaron un total de 549 frentes en boca Sur y 261 frentes en boca norte, con más de 2000 planos medidos
- Juntas principales:
 - J1: 099 – 79
 - J2: 190 – 83
- Juntas de bajo buzamiento:
 - J3: 142 – 17
 - J4: 271 – 35
 - J5: 355 – 16
- Juntas ocasionales:
 - J6: 321 – 58
 - J7: 048 – 77
- Fallas:
 - F1: 090 – 79
 - J7: 192 – 78
- Se distinguieron un total de 109 tramos estructurales, de acuerdo a la orientación, continuidad y estado de los planos

SEGUIMIENTO DE OBRA

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE CUÑAS Y BLOQUES (3 de 5)



AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD DE LA AP-6, TERCERA CALZADA

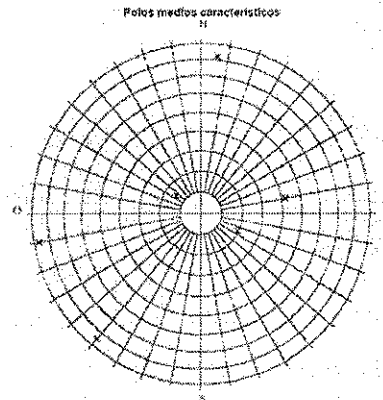
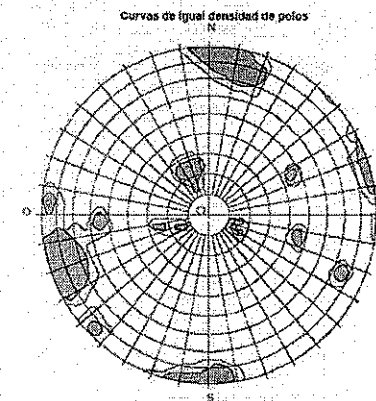


Discontinuidades:

Color	Tipo de plano
M	ESTRATIFICACIÓN
O	FALLA
X	FRITA
A	ESQUESTOSIDAD

Curvas de isojedades:

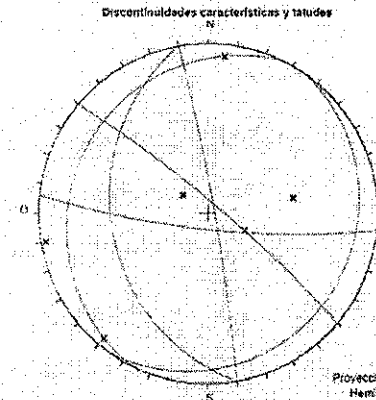
Color	σ_3 (MPa)
(Light Grey)	0 - 1
(Medium Grey)	1 - 2
(Dark Grey)	2 - 3



Número de polos medios: 6 Grupo 1

Discontinuidades características:

Nombre	Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
J1	J	120	07
J2-1	J	180	02
J2-2	J	030	05
J3	J	120	15
J4	J	230	42
J5	J	290	20



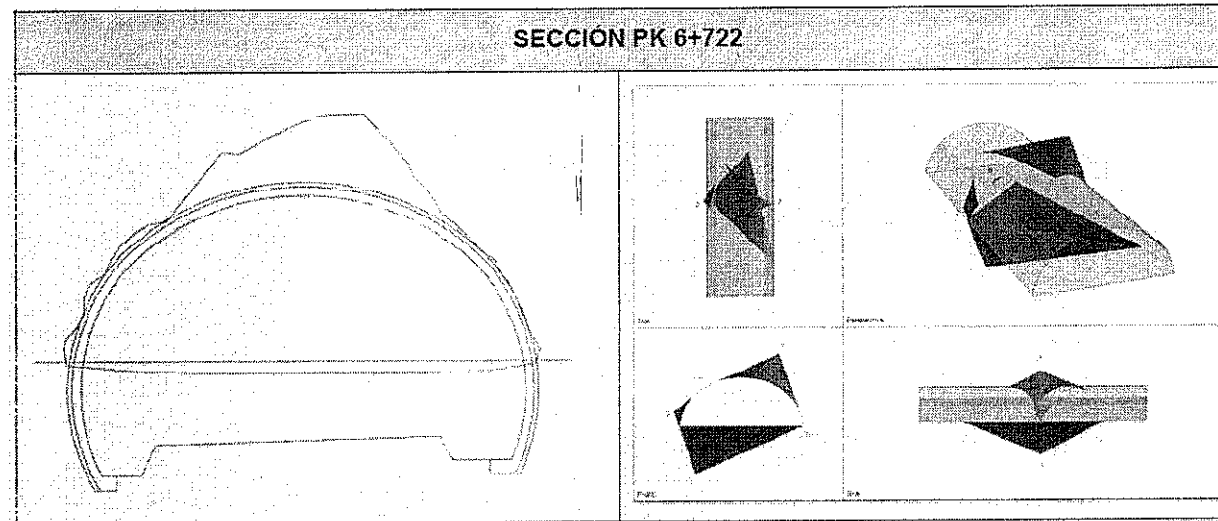
Proyección Equiareal Hemisferio sur

PROGRAMA CALEST (DESARROLLADO POR TYPSA)

BOCA SUR - PK 6+111 A 8+138

Estaciones: T8115, T8119, T8124, T8126, T8130, T8135

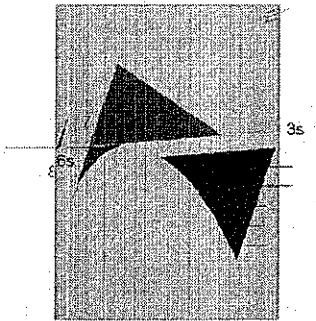
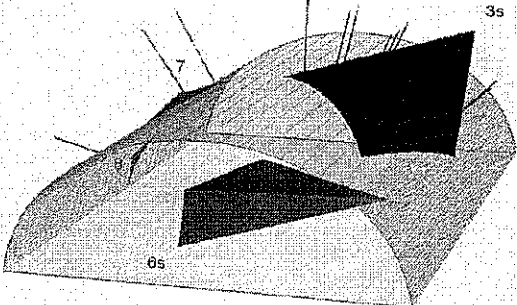
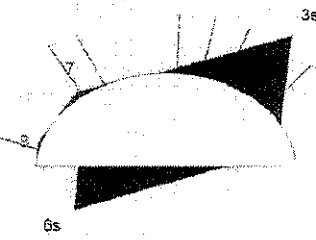
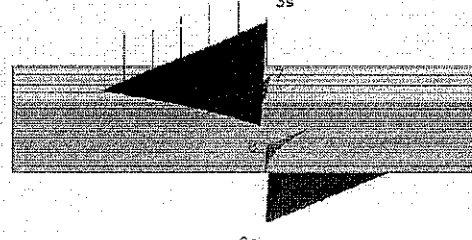
SEGUIMIENTO DE OBRA

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE CUÑAS Y BLOQUES (4 de 5)
CÁLCULOS DE ESTABILIDAD CON EL PROGRAMA UNWEDGE

- En macizos ígneos formados por rocas competentes, cuando la montera es baja a media, los problemas tensionales pasan a un segundo plano. La resistencia del macizo es netamente superior a las tensiones generadas por la apertura de la cavidad
- El análisis de estabilidad de cuñas y bloques es vital para definir el sostenimiento necesario para asegurar la bóveda y hombros, pero además debe incluir la revisión del máximo pase admisible por tramo de manera que se eviten en lo posible el descalce de cuñas con el disparo de la pega, que generan sobreexcavaciones que dan lugar a importantes sobrecostos

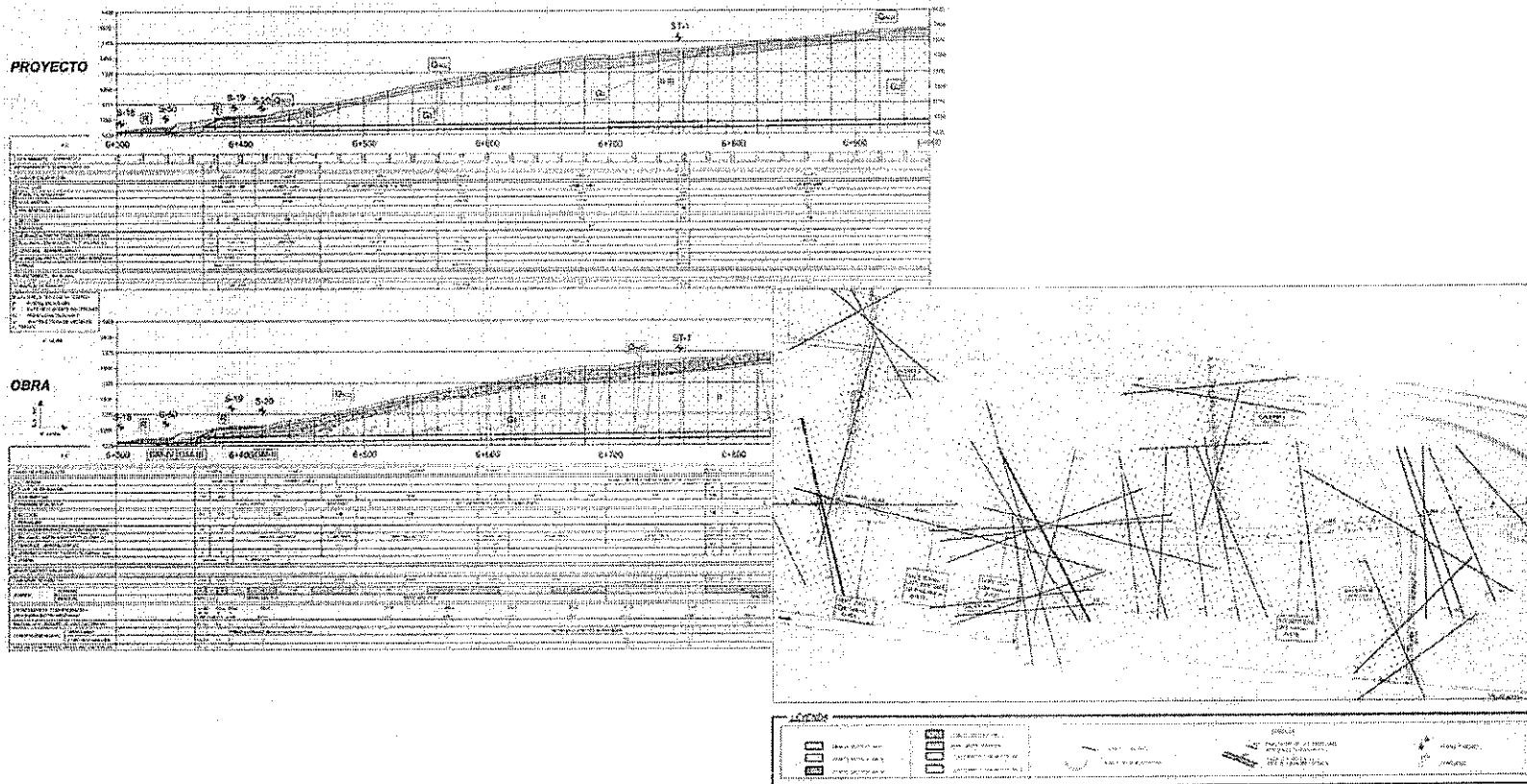
SEGUIMIENTO DE OBRA

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE CUÑAS Y BLOQUES (5 de 5)

CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE CUÑAS Y BLOQUES EN TÚNEL																																																											
AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD DE LA AP-6 TERCERA CALZADA Y TERCER TÚNEL DE GUADARRAMA					TRAMO PK 8+774 - 8+737																																																						
SECCIÓN PK 8+759																																																											
 Top - Wedges 3, 6 Scaled					 Perspective - Wedges 3, 6 Scaled																																																						
 Front - Wedges 3, 6 Scaled					 Side - Wedges 3, 6 Scaled																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="10" style="text-align: center;">INFORMACIÓN DE CUÑAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="10">Upper Right wedge [3] FS: 1.556 Volume: 47.349 m³ Weight: 127.819 tonnes Mode: sliding on joints 4 and 7</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Lower Left wedge [5] FS: stable Volume: 23.239 m³ Weight: 76.407 tonnes Mode: unconditionally stable</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Upper Left wedge [7] FS: 3.813 Volume: 0.394 m³ Weight: 1.054 tonnes Mode: sliding on joint 7</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Lower Left wedge [8] FS: 2.533 Volume: 0.059 m³ Weight: 0.150 tonnes Mode: fitting wedge</td> </tr> </tbody> </table>										INFORMACIÓN DE CUÑAS										Upper Right wedge [3] FS: 1.556 Volume: 47.349 m ³ Weight: 127.819 tonnes Mode: sliding on joints 4 and 7										Lower Left wedge [5] FS: stable Volume: 23.239 m ³ Weight: 76.407 tonnes Mode: unconditionally stable										Upper Left wedge [7] FS: 3.813 Volume: 0.394 m ³ Weight: 1.054 tonnes Mode: sliding on joint 7										Lower Left wedge [8] FS: 2.533 Volume: 0.059 m ³ Weight: 0.150 tonnes Mode: fitting wedge									
INFORMACIÓN DE CUÑAS																																																											
Upper Right wedge [3] FS: 1.556 Volume: 47.349 m ³ Weight: 127.819 tonnes Mode: sliding on joints 4 and 7																																																											
Lower Left wedge [5] FS: stable Volume: 23.239 m ³ Weight: 76.407 tonnes Mode: unconditionally stable																																																											
Upper Left wedge [7] FS: 3.813 Volume: 0.394 m ³ Weight: 1.054 tonnes Mode: sliding on joint 7																																																											
Lower Left wedge [8] FS: 2.533 Volume: 0.059 m ³ Weight: 0.150 tonnes Mode: fitting wedge																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="10" style="text-align: center;">SOSTENIMIENTO ADOPTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="10">Sección tipo adoptada: S-III</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Bulón: Expansión</td> <td colspan="5">Longitud: 4,0 m</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Densidad de la malla básica: 1,5 m (T) x 1,5 m (L)</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Refuerzo: NO</td> </tr> </tbody> </table>										SOSTENIMIENTO ADOPTADO										Sección tipo adoptada: S-III										Bulón: Expansión					Longitud: 4,0 m					Densidad de la malla básica: 1,5 m (T) x 1,5 m (L)										Refuerzo: NO									
SOSTENIMIENTO ADOPTADO																																																											
Sección tipo adoptada: S-III																																																											
Bulón: Expansión					Longitud: 4,0 m																																																						
Densidad de la malla básica: 1,5 m (T) x 1,5 m (L)																																																											
Refuerzo: NO																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="10" style="text-align: center;">SOSTENIMIENTO MODELIZADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">Bulón: Expansión</td> <td colspan="5">Longitud: 4,0 m</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Densidad de la malla básica: 1,5 m (T) x 1,5 m (L)</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Refuerzo: NO</td> </tr> </tbody> </table>										SOSTENIMIENTO MODELIZADO										Bulón: Expansión					Longitud: 4,0 m					Densidad de la malla básica: 1,5 m (T) x 1,5 m (L)										Refuerzo: NO																			
SOSTENIMIENTO MODELIZADO																																																											
Bulón: Expansión					Longitud: 4,0 m																																																						
Densidad de la malla básica: 1,5 m (T) x 1,5 m (L)																																																											
Refuerzo: NO																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="10" style="text-align: center;">OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="10">Estable. No se han tenido en cuenta las combinaciones de planos paralelos, variantes de J1, J2 y J1-F1.</td> </tr> <tr> <td colspan="10">La continuidad de la junta J5 se ha limitado a 10 m de acuerdo a las observaciones de campo.</td> </tr> </tbody> </table>										OBSERVACIONES										Estable. No se han tenido en cuenta las combinaciones de planos paralelos, variantes de J1, J2 y J1-F1.										La continuidad de la junta J5 se ha limitado a 10 m de acuerdo a las observaciones de campo.																													
OBSERVACIONES																																																											
Estable. No se han tenido en cuenta las combinaciones de planos paralelos, variantes de J1, J2 y J1-F1.																																																											
La continuidad de la junta J5 se ha limitado a 10 m de acuerdo a las observaciones de campo.																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="10" style="text-align: center;">COMBINACIÓN DE JUNTAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ID</td> <td>D.BUZ</td> <td>BUZ</td> <td>ID</td> <td>D.BUZ</td> <td>BUZ</td> <td>ID</td> <td>D.BUZ</td> <td>BUZ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>J2-2</td> <td>037</td> <td>85</td> <td>J5</td> <td>330</td> <td>24</td> <td>F1</td> <td>287</td> <td>87</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										COMBINACIÓN DE JUNTAS										ID	D.BUZ	BUZ	ID	D.BUZ	BUZ	ID	D.BUZ	BUZ		J2-2	037	85	J5	330	24	F1	287	87																					
COMBINACIÓN DE JUNTAS																																																											
ID	D.BUZ	BUZ	ID	D.BUZ	BUZ	ID	D.BUZ	BUZ																																																			
J2-2	037	85	J5	330	24	F1	287	87																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="10" style="text-align: center;">HIPOTESIS CONSIDERADAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="10">La continuidad de la junta J5 se ha limitado a 10 m de acuerdo a las observaciones de campo.</td> </tr> </tbody> </table>										HIPOTESIS CONSIDERADAS										La continuidad de la junta J5 se ha limitado a 10 m de acuerdo a las observaciones de campo.																																							
HIPOTESIS CONSIDERADAS																																																											
La continuidad de la junta J5 se ha limitado a 10 m de acuerdo a las observaciones de campo.																																																											



SEGUIMIENTO DE OBRA CONTROL DE LA INFORMACIÓN GEOTÉCNICA



SEGUIMIENTO DE OBRA

CONTROL DE DATOS DE PRODUCCIÓN (1 de 2)

de evolución del túnel y descripción del terreno

Datos de excavación del túnel

EVOLUCIÓN DEL TÚNEL					DESCRIPCIÓN DEL TERRENO			
FECHA	FASE	PK FRENTE	DISTANCIA AL ORIGEN (m)	DISTANCIA AL FINAL (m)	LITOLOGÍA	RMR Bienkowski	Q Barton	AGUA (S/N)
11-feb-05	20B	B+404	41	2.954	Granitos	59	4.250	S
12-feb-05	21	B+406	43	2.952	Granitos	54	2.605	S
14-feb-05	22	B+408	45	2.950	Granitos	52	2.605	S
14-feb-05	23	B+410	47	2.950	Granitos	55	2.500	S
15-feb-05	24	B+412	49	2.956	Granitos	55	2.500	S
15-feb-05	25	B+414	51	2.954	Granitos	57	2.500	S
16-feb-05	26	B+417	54	2.951	Granitos	58	2.500	S
16-feb-05	27	B+419	56	2.948	Granitos	57	3.750	S

SECCIÓN TIPO	PARAGUAS (SA)	PUNTALEO ARRIOSTRE (SN)	CERCHAS				
			CERCHAS HEB-180		CERCHAS THN-29		TOTAL CERCHAS
			TOTAL (m²)	ESPACIADO (m)	TOTAL (m²)	ESPACIADO (m)	
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98
S-II	N	N	12	0,0	86	0,0	98

MALLAZO EN HASTALES Y BOVEDA						MALLAZO EN PUNTALEO					
COLOCADO (SA)	CAPAS (n°)	ÁREA POR PASE (m²)	ÁREA POR METRO (m²)	ÁREA ACUMULADA (m²)	ÁREA POR PASE (m²)	ÁREA POR METRO (m²)	ÁREA ACUMULADA (m²)	TIPO	POR PASE (n°)	POR METRO (n°)	ACUMULADOS (n°)
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	27	5,75	3.766
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	40	10,00	3.606
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	28	8,00	3.834
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	28		
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	28		
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	28		
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	28		
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	22		
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	22		
N	0	0,00	0,00	1.444,22	0,00	0,00	1.444,22	Swellex	22		

Datos de sostenimiento del túnel

DATOS DE LA EXCAVACIÓN											
AVANCE POR FASE (m)		FEO EXCAVACIÓN	CLASE DE ROCAS	VOLUMEN REAL EXCAVADO (m³)	VOL. INGRESO EXCAVACIÓN (m³)	VOLUMEN DE PASEADO (m³)	REPARTICIÓN		CANTIDAD REAL (m³)	CANTIDAD PLAN (m³)	DIFERENCIA (m³)
REAL	PROYECTADO						% INGRESO	% PASEADO			
210	200	2000	CLASE D	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	134	833
210	200	2000	CLASE E	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE F	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE G	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE H	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE I	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE J	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE K	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE L	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE M	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE N	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE O	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE P	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE Q	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE R	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE S	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE T	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE U	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE V	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE W	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE X	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE Y	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690
210	200	2000	CLASE Z	22110	21440	22210	4,54%	0,00	2100	114	690

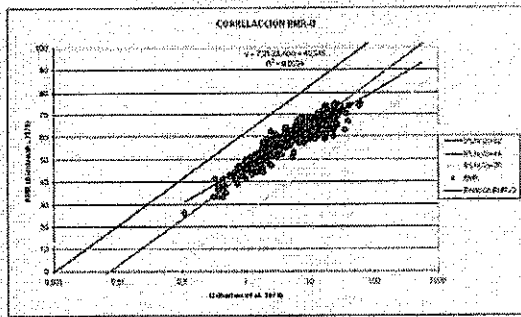
HORMIGÓN PROYECTADO SIN FIBRAS			HORMIGÓN PROYECTADO CON FIBRAS			TOTAL HORMIGÓN PROYECTADO		
ESPESOR (cm)	VOL. POR PASE (m³)	VOL. ACUMULADO (m³)	ESPESOR (cm)	VOL. POR PASE (m³)	VOL. ACUMULADO (m³)	ESPESOR (cm)	VOL. POR PASE (m³)	VOL. ACUMULADO (m³)
0	0,00	352,91	8	7,01	1.510,81	8	7,01	1.853,72
0	0,00	352,91	15	13,15	1.523,96	15	13,15	1.876,87
0	0,00	352,91	15	11,54	1.595,50	15	11,54	1.898,41
0	0,00	352,91	15	11,54	1.547,05	15	11,54	1.898,56
0	0,00	352,91	15	11,54	1.558,59	15	11,54	1.911,50
0	0,00	352,91	15	11,54	1.570,14	15	11,54	1.923,05
0	0,00	352,91	15	11,54	1.581,68	15	11,54	1.934,59
0	0,00	352,91	15	11,54	1.593,23	15	11,54	1.946,14
0	0,00	352,91	15	11,54	1.604,77	15	11,54	1.957,68
0	0,00	352,91	15	11,54	1.616,32	15	11,54	1.969,23
0	0,00	352,91	8	7,01	1.523,33	8	7,01	1.976,24
0	0,00	352,91	8	7,01	1.530,35	8	7,01	1.983,26
0	0,00	352,91	8	7,01	1.637,36	8	7,01	1.990,27

ESTACIONES DE SOSTENIMIENTO									
COORDENADAS	PK	TIPO DE SOSTENIMIENTO	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			
CA-000-0	0-00	25-00-00	1	1.100-00	20	1.100-00			

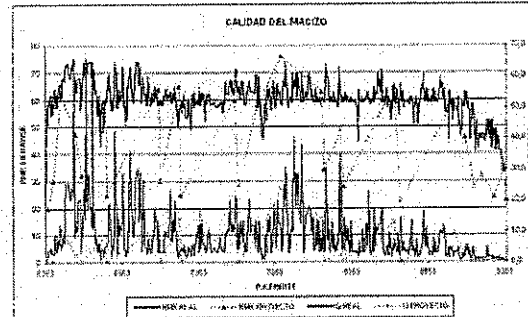
Datos de auscultación

SEGUIMIENTO DE OBRA

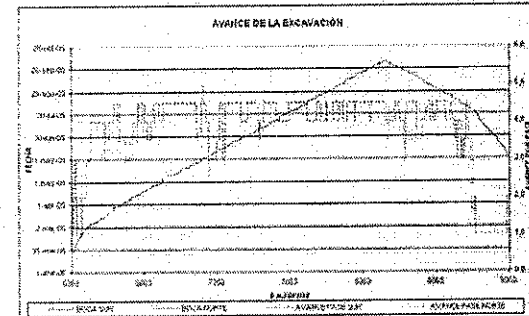
CONTROL DE DATOS DE PRODUCCIÓN (2 de 2)



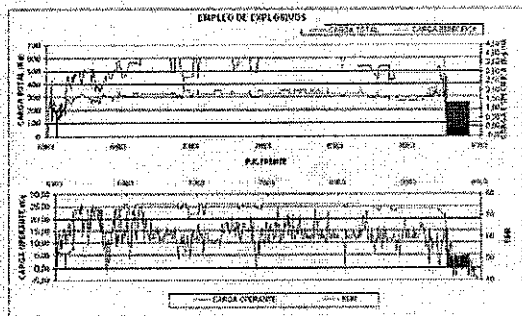
Correlación RMR – Q



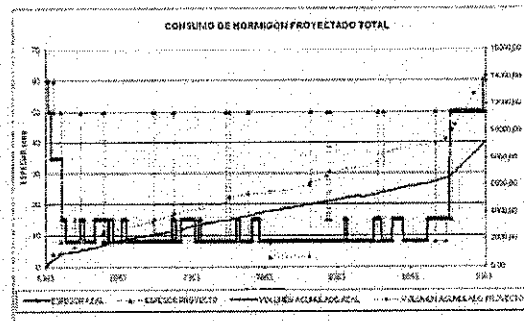
Evolución de la calidad del macizo a lo largo del túnel



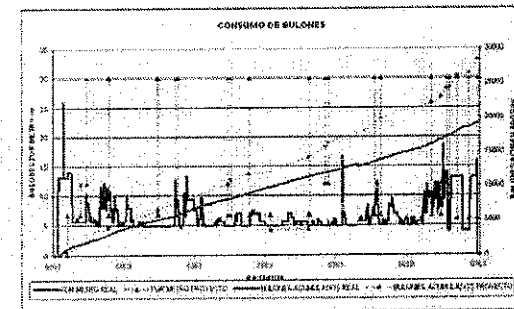
Consumo de bulones – comparativa con Proyecto



Empleo de explosivos



Consumo de hormigón proyectado – comparativa con Proyecto



Avance de la excavación

