
Túneles de los tramos Madrid-Zaragoza y Zaragoza-Lérida

Manuel Moreno Cervera

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director de Obra: túnel de "Paracuellos"

José Miguel Fernández de Castro Juaristi

Ingeniero de Minas

Inarsa. Jefe de Unidad de Asistencia Técnica UTE Geinge

Ángel A. López López

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director de Obra: túnel de "Las Hechiceras"

RESUMEN

En el presente artículo figura en primer lugar un resumen con las características de los túneles a ejecutar dentro de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera francesa en el tramo Madrid-Lleida. Pasa a continuación a definir la sección, geología y geotecnia de los terrenos atravesados y exponer procesos constructivos y rendimientos de dos túneles actualmente en ejecución de la Línea de Alta Velocidad que son en primer lugar el Túnel de Paracuellos de 4.672 m de longitud en el Subtramo Calatayud-Ricla y el Túnel de Las Hechiceras de 2.835 m de longitud en el Subtramo Zaragoza-Lleida.

ABSTRACT

This article includes first of all a summary of the characteristics of the tunnel to be constructed within the section between Madrid and Lleida of the high speed railway Madrid-Zaragoza-Barcelona-the French border. It then goes on to define the profile, geology and geotechnical characteristics of the ground encountered, describing the methods of construction and rates of progress achieved for the two tunnels of the high speed railway at present being excavated. These two tunnels are the Paracuellos tunnel, 4.672 m long and part of the subsection between Calatayud and Ricla, and the Las Hechiceras tunnel, 2.835 m long and within the subsection between Zaragoza and Lleida.

1. OBJETIVO DEL ENTE PÚBLICO GESTOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

La Ley 13/1996, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, creó el Ente Público Gestor

de Infraestructuras Ferroviarias, (GIF), con el objeto de la construcción de las nuevas infraestructuras ferroviarias y la administración tanto de las nuevas como de infraestructuras preexistentes, que le atribuya el Gobierno a propuesta del Ministro de Fomento.

CUADRO 1. RESUMEN DE TÚNELES

SUBTRAMO	TÚNEL	SECCIÓN ÚTIL (m²)	LONGITUD (m)	TERRENO	TIPO DE EXCAVACIÓN
II. MADRID - CALATAYUD	CAÑADA REAL GALIANA	110	260	YESOS	FALSO TUNEL MUROS PANTALLA DE HORMIGON ARMADO
II. MADRID - CALATAYUD	RIVAS	110	640	YESOS BASALES	AVANCE Y DESTROZA EN FASES
III. MADRID - CALATAYUD	MEJORADA	110	801	YESOS ARCILLAS	AVANCE Y DESTROZA EN 7 FASES
III. MADRID - CALATAYUD	P.K. 306+191	100	491	YESOS ARCILLAS	FALSO TUNEL
IV. MADRID - CALATAYUD	ANCHUELO	110	817	YESOS ARCILLAS	AVANCE Y DESTROZA
IV. MADRID - CALATAYUD	SANTORCAZ	100	1.154	YESOS ARCILLAS	AVANCE Y DESTROZA
VIII. MADRID - CALATAYUD	SAGIDES	100	1.821	ROCAS CARBONATADAS ARCILLAS YESIFERAS	AVANCE Y DESTROZA
IX - X. MADRID - CALATAYUD	ALHAMA DE ARAGON	110	630	CALIZAS CONGLOMERADOS MICROCONGLOMERADOS ARENAS	AVANCE Y DESTROZA
XI. MADRID - CALATAYUD	BUBIERCA	80	2.433	ARCILLAS DEL KEUPER DOLOMIAS. PIZARRAS ARENISCAS MILONITOS	AVANCE Y DESTROZA
XI. MADRID - CALATAYUD	LAS DEHESILLAS	115	860	PIZARRAS ARENISCAS MILONITOS	AVANCE Y DESTROZA
XI. MADRID - CALATAYUD	CASTEJON	100	392	PIZARRAS. ARENISCAS MILONITOS	AVANCE Y DESTROZA
XIIa. MADRID - CALATAYUD	ATECA 1	100	465	PIZARRAS. CUARCITAS	AVANCE Y DESTROZA
XIIa. MADRID - CALATAYUD	ATECA 2	100	1.013	PIZARRAS. CUARCITAS	AVANCE Y DESTROZA
I A. CALATAYUD RICLA	MARIVELLA	110	621	CONGLOMERADOS. ARCILLAS	AVANCE Y DESTROZA
I A. CALATAYUD RICLA	PARACUELLOS	75	4.672	PIZARRAS. CUARCITAS. ARENISCAS	AVANCE Y DESTROZA
I B. CALATAYUD RICLA	SAVIÑAN	110	549	ARCILLAS DEL KEUPER DOLOMIAS. PIZARRAS ARENISCAS LIMOLITAS	AVANCE Y DESTROZA
I B. CALATAYUD RICLA	PURROY	110	842	PIZARRAS. CUARCITAS. ARENISCAS	AVANCE Y DESTROZA
II. CALATAYUD RICLA	LAS MINAS	95	310	PIZARRAS. CUARCITAS	AVANCE Y DESTROZA
II. CALATAYUD RICLA	VILLANUEVA	100	1.020	PIZARRAS. CUARCITAS	AVANCE Y DESTROZA
II. CALATAYUD RICLA	TORRECILLA	110	890	CALIZAS	AVANCE Y DESTROZA
II. CALATAYUD RICLA	LOS CORTADOS	95	330	CALIZAS	AVANCE Y DESTROZA
II. CALATAYUD RICLA	LAS CALERAS	95	120	CALIZAS	FALSO TUNEL
V. ZARAGOZA LERIDA	LAS HECHICERAS	100	2.835	MARGAS Y CALIZAS	AVANCE Y DESTROZA

Su Estatuto fue aprobado por medio del Real Decreto 613/1997, de 25 de abril, acordando el Consejo de Ministros en su reunión del día 23 de mayo de 1997 atribuir al Ente la construcción y administración de la infraestructura ferroviarias de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa.

Asimismo por Resolución del Secretario de Estado de 28 de Septiembre de 1998 se atribuye a GIF la Construcción de la infraestructura del nuevo acuerdo ferroviario norte-noroeste Madrid-Segovia-Valladolid/Medina del Campo.

2. GENERALIDADES

En las obras de Túneles el proceso constructivo y los sostenimientos a aplicar vienen íntimamente ligados, esto es, las necesidades del sostenimiento dependerán del proceso constructivo elegido. Este último, a su vez, depende de la naturaleza del terreno, y de la longitud del túnel conjugando las necesidades y los medios a emplear para obtener un resultado técnico y económico compatible con el objetivo de calidad definido para la obra. Excavado, sostenido e impermeabilizado el túnel allí donde es necesario, se procede a su revestimiento con hormigón encofrado.

3. TÚNELES L.A.V. MADRID - BARCELONA - FRONTERA FRANCESA. TRAMO MADRID-LERIDA

En el Cuadro 1 se incluye el resumen de los túneles proyectados y en construcción en dicho tramo.

4. PRESUPUESTOS DE EJECUCIÓN

En el Cuadro 2 se incluye el coste de ejecución material de los túneles proyectados por el GIF entre Madrid y Calatayud, (para determinar el líquido de cobro, se incrementa precio en el 19% en concepto de gastos generales y beneficio industrial y el 16% en concepto de IVA, multiplicándose la suma resultante por el coeficiente de baja de adjudicación).

Los Túneles del tramo Calatayud-Ricla de 9.234 m (sin el túnel artificial de Las Caleras), proyectados con anterioridad por el Ministerio de Fomento, tienen un coste medio, en proyecto, de 1.350.000 ptas/m.lineal. Las desviaciones producidas hasta el momento oscilan en su mayoría entre el 1% y el 16%, excepto Marivella que llega al 29% y Paracuellos que por su dificultad es previsible que sea mucho mayor.

CUADRO 2. PRESUPUESTOS DE EJECUCIÓN MATERIAL

Nombre	Subtramo	Longitud		Sección Libre m ²	Cobertura Máxima m	Tipo de terreno	Presup (mill. ptas)	Coste por ml Ejecución material
		Entre frentes	Total					
Rivas	II	600	640	110	30	Suelos	1.638	2.560.000
Mejorada	III	366	366	110	47	Suelos	920	2.514.000
Anchuelo	IV	760	817	115	80	Suelos	2.506	3.067.000
Santorcaz	IV	1.095	1.154	100	75	Suelos	3.399	2.945.000
Sagides	VIII	1.731,5	1.821	100	73	Roca blanda	3.504	1.924.000
Alhama	IX-X	490	630	110	50	Roca	1.086	1.724.000
Bubierca	XI	2.394	2.433	80	176	Roca	3.571	1.468.000
Las Dehesillas	XI	784	860	115	97	Roca	1.580	1.837.000
Castejón	XI	327	392	100	71	Roca	650	1.658.000
Ateca I	XIIa	388	465,2	100	63	Roca	902	1.939.000
Ateca II	XIIa	956	1.013,5	100	50	Roca	1.902	1.877.000
TOTAL		9.891,5	10.591,7				21.658	2.045.000

5. EL TÚNEL DE PARACUELLOS

5.1. Características geométricas

El túnel de Paracuellos tiene su boca Sur en el término municipal de Calatayud (Zaragoza) a una distancia de seis kilómetros de la estación de Calatayud y a la cota 574. Con una longitud de 4.672 m. atraviesa la sierra de la Cocha. La salida del túnel ó boca Norte está situada en la cota 522 en el término municipal de Paracuellos de la Ribera. Es el túnel más largo del tramo Madrid-Lérida.

Su trazado vertical asciende con un 8% hasta la cota 577,500 descendiendo posteriormente con el 16,5% hasta la boca. El acuerdo vertical es $kv=50.000$.

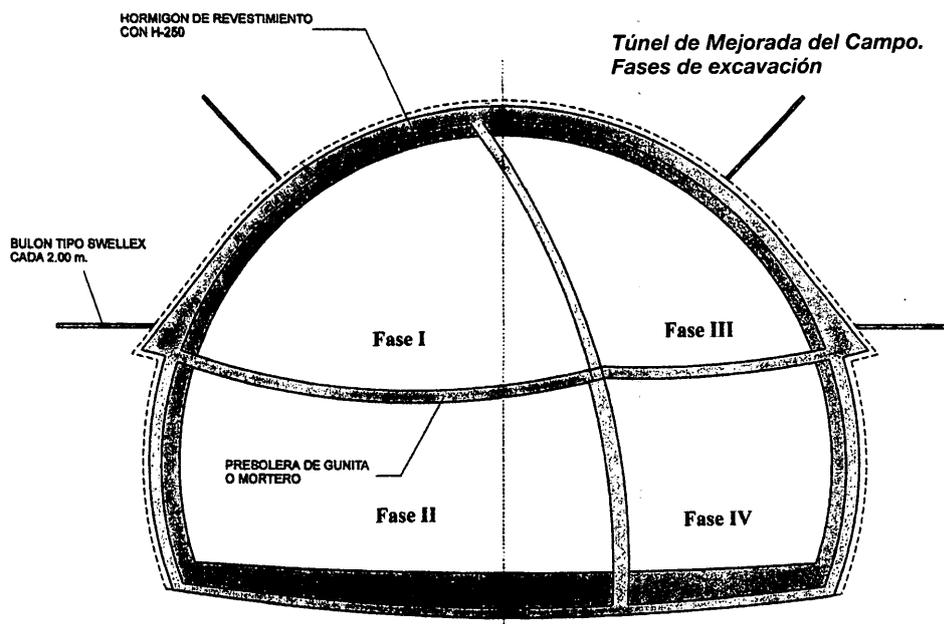
En planta representa una curva de radio 7.050 m., parámetros todos ellos para una velocidad de recorrido de 350 Km/hora.

La sección libre, de 74.15 m², similar a las de los túneles del AVE Madrid-Sevilla, es circular con 5.82 m. de radio.

La sección mínima a excavar, que depende del tipo de terreno-sostenimiento y de la previsión de convergencias en función de la montera, es de 100 m².

5.2. Proceso constructivo

El proceso constructivo que se define en el Proyecto de la obra, es consecuencia de los estudios previos realizados, es-



pecialmente del trazado y de las características geológicas y geotécnicas del terreno que se atraviesa.

La mala calidad de la roca con tiempos cortos de estabilidad, han hecho necesario la utilización de excavadoras de ataque puntual con martillo (ITC), con pases inferiores a 1 m. y avance en dos fases con la colocación de cerchas TH en cada una.

En las rocas duras del túnel de Paracuellos, se excava con perforación de barrenos y voladura, en avance y destroza con Jumbo robotizado ó a sección completa por la boca Sur, la longitud de los pases viene condicionada, por la calidad de la roca. Mención especial que hay que añadir, es la excavación con T.B.M. de roca dura de la galería piloto por la boca Norte. Además, la galería piloto se está utilizando de guía de otra T.B.M. de roca dura ensanchadora, que amplía la excavación a sus dimensiones proyectadas, comenzando por la zona del "cale" en dirección Norte.

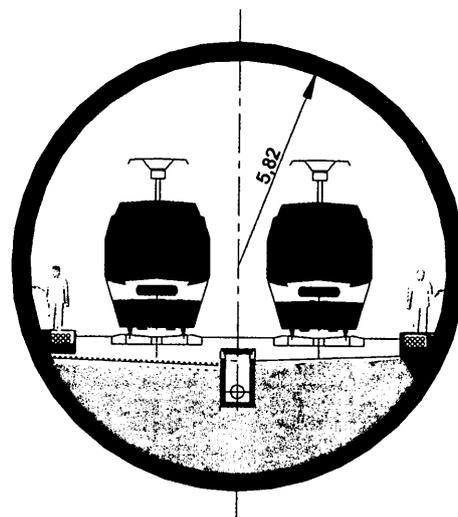
Desde la boca Norte y en una longitud estimada inicialmente en 509m, se ha comenzado el ensanche de la galería piloto con excavación mecánica, debido a la extrema mala calidad de las pizarras del Precámbrico, la excavación está protegida con un paraguas de micropilotes en la bóveda y hastiales, los avances por "pase" son inferiores 1 m colocándose en cada pase una cercha metálica HEB-160, bulo-



Boca norte del túnel de Paracuellos. Ensanche de la galería piloto por medios convencionales.



Boca sur del túnel de Paracuellos.



Sección tipo excavada con T.B.M. ensanchadora.

nes de expansión de 4m de longitud en malla al tresbolillo con una densidad de 1 Ud./m², el sostenimiento se completa con hormigón proyectado con robot por vía húmeda con un espesor colocado no inferior a 0,20 m y armado con fibra de acero en una cuantía de 45 kg/m³. Los medios a utilizar son los descritos en el apartado de Métodos Convencionales.

5.3. Resumen de los procesos de construcción

Longitud 4.634 m. + 38 m. Falso Túnel

Se están utilizando tres procesos constructivos para la excavación:

▼ MÉTODO CONVENCIONAL (Perforación y voladura).

Longitud = 1.169 m., Sección excavada = 100 m².

▼ AVANCE EN GALERÍA PILOTO EXCAVADA CON T.B.M. DE DIÁMETRO 4,70 m.

Longitud = 3.465 m., Sección excavada = 17 m².

• ENSANCHE DE LA GALERÍA PILOTO CON T.B.M. DE DIÁMETRO 12,40 m.

(Sentido Sur-Norte)

Longitud = 2.956 m., Sección excavada = 118 m².

• ENSANCHE DE LA GALERÍA PILOTO POR MÉTODO CONVENCIONAL.

(Sin voladura, sentido Norte-Sur)

Longitud = 509 m., Sección excavada = 100 m².

El proceso del MÉTODO CONVENCIONAL se divide a su vez en dos:

▼ AVANCE Y DESTROZA en terrenos de roca fracturada.

▼ SECCIÓN COMPLETA en terrenos de roca sana.

5.4. Geología-Geotecnia

El túnel discurre por materiales pertenecientes al Precámbrico y Paleozoico (Cámbrico).

La sucesión estratigráfica del Precámbrico aflora en la Boca Norte del Túnel de Paracuellos.

Se trata de una unidad fundamentalmente pizarrosa, que recibe el nombre de Pizarras de Paracuellos, que se ha atravesado en una longitud total de 280 m. y dadas sus características grafitosas han entrañado una gran dificultad para su sostenimiento, habiendo sido éste de tipo pesado con enfilajes de "paraguas", cerchas pesadas, bulones de 4,00 m., mallazo de acero y hormigón proyectado con espesor de hasta 0,50 m.

La serie perteneciente al Cámbrico se ha atravesado en una longitud de 4.392 m. y las unidades litoestratigráficas son:

▼ CUARCITA DE BAMBOLA FRACTURADA.

Longitud = 580 m.

▼ FORMACION EMBID. CUARCITA Y ESQUISTOS.

Longitud = 2.810 m.

▼ FORMACION JALON. ARENISCA Y LIMOLITA.

Longitud = 1.002 m.

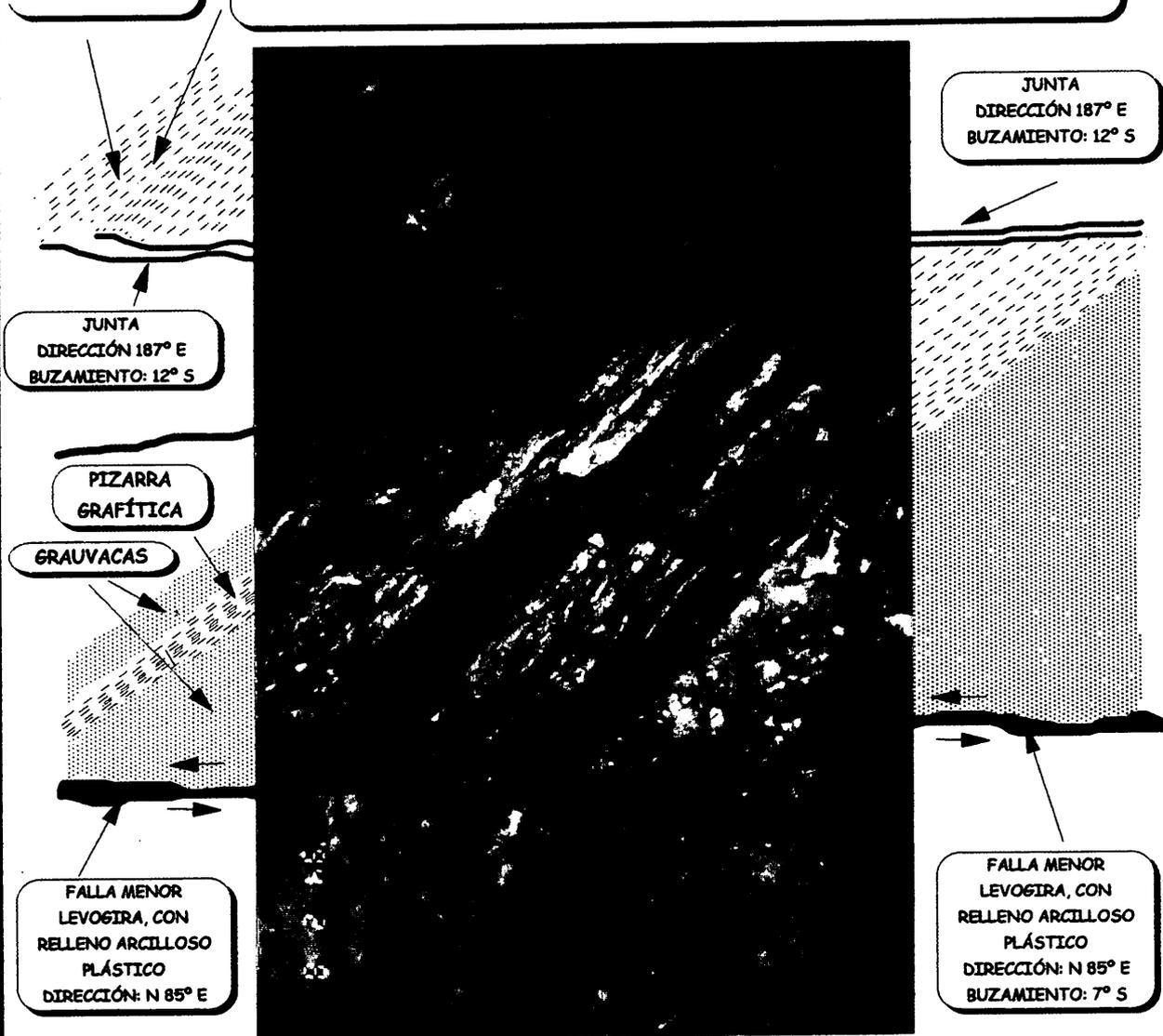
Desde el punto de vista tectónico la estructura de los materiales está determinada por la superposición de las orogéneas herciniana y alpina.

Es importante señalar que estos terrenos han sido sometidos a dos etapas de plegamientos y una fase póstuma de distensión, que han dado origen tanto al metamorfismo presente, como a la intensa fracturación que se presenta, ocasionando las 40 fallas atravesadas por el Túnel, cuyo conocimiento ha sido posible gracias a la GALERÍA PILOTO realizada.

CONTROL GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

DIRECCIÓN:
N 140° E
BUZAMIENTO:
52° NE

PIZARRAS GRAFÍTICAS, CON PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN DE POTENCIA INFERIOR A 0,15 m, CONTINUOS (> 3 m), CERRADOS, SIN RELLENOS ARCILLOSOS Y CON SUPERFICIES DE RUGOSIDAD DE LISAS A PULIDAS, JRC = 0 - 5.
GRADO DE METEORIZACIÓN DÉBIL < 10 %.



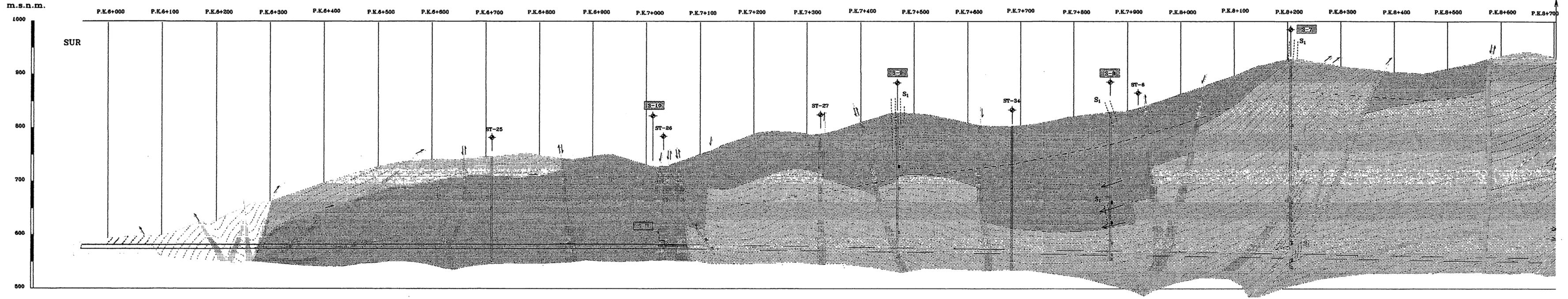
TÚNEL DE PARACUELLOS - BOCA NORTE

INICIO GALERIA PILOTO TUNELADORA, PK 10 + 559. AGOSTO 1997

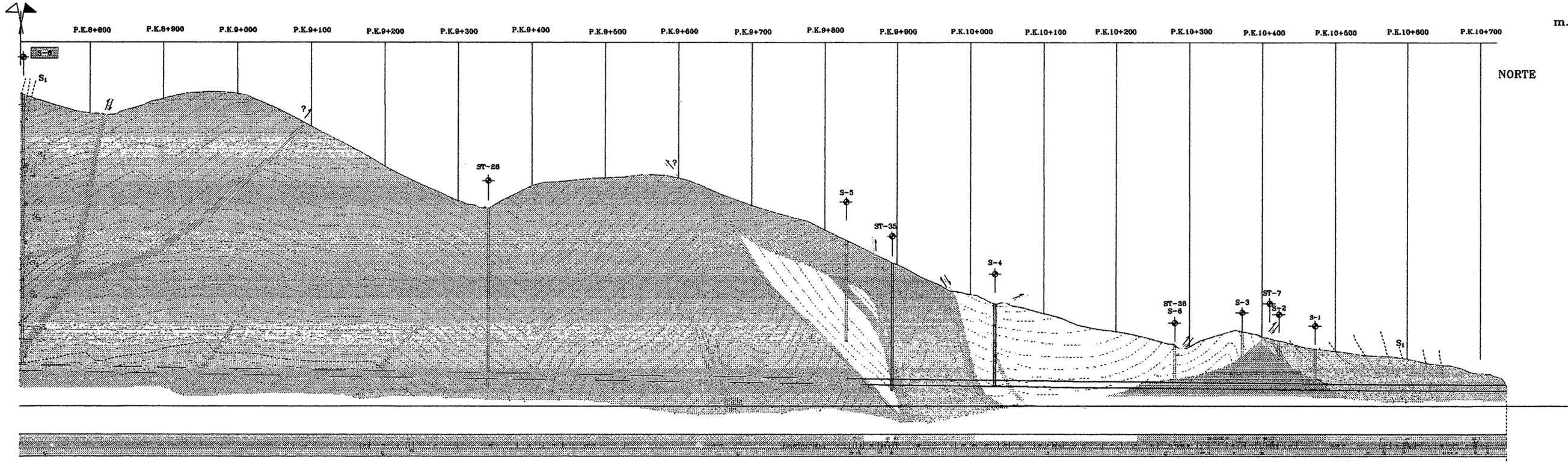
DETALLE DEL FRENTE DE EXCAVACIÓN EN LA ZONA INICIAL DE LA GALERIA PILOTO, CONSTITUIDO LITOLÓGICAMENTE POR INTERCALACIONES DE PIZARRAS GRAFÍTICA Y GRAUVACAS, EN ESTRATOS DE 0,04 m A 0,30 m DE POTENCIA.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE: < 250 Kg / cm²

CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI: RMR 39, CLASE IV, MACIZO ROCOSO DE CALIDAD MALA.
CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS: SECO



TERRENO ENCONTRADO	MAT. LITOLÓGICO
FALDAS Y AGUA	...



LEYENDA

LITOLOGÍA

- FM. JALÓN: PIZARRAS ABIGARRADAS, ARENISCAS Y CUARCITAS
- FM. EMBID: ALTERNANCIA DE ARENISCAS, CUARCITAS Y LIMOLITAS VERDOSAS
- FM. BAMBOLA: CUARCITAS BLANCAS
- FM. PARACUELLOS: PIZARRAS OSCURAS

SÍMBOLOS

- FALLA
- ZONA TECTONIZADA
- ESTRATIFICACIÓN
- CONTACTO ENTRE FORMACIONES
- POSIBLE POSICIÓN DEL N.F. EN JULIO 1898
- FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA
- SONDEO MECÁNICO
- ESQUISTOSIDAD
- TÚNEL
- SONDEO Y MUESTRA

OTROS SÍMBOLOS

- G: GOTEOS DE AGUA
- A: AGUA
- S: SURGENCIAS DE AGUA
- Z.T.: ZONA TECTÓNICA
- F: FALLA

GIF
GESTOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

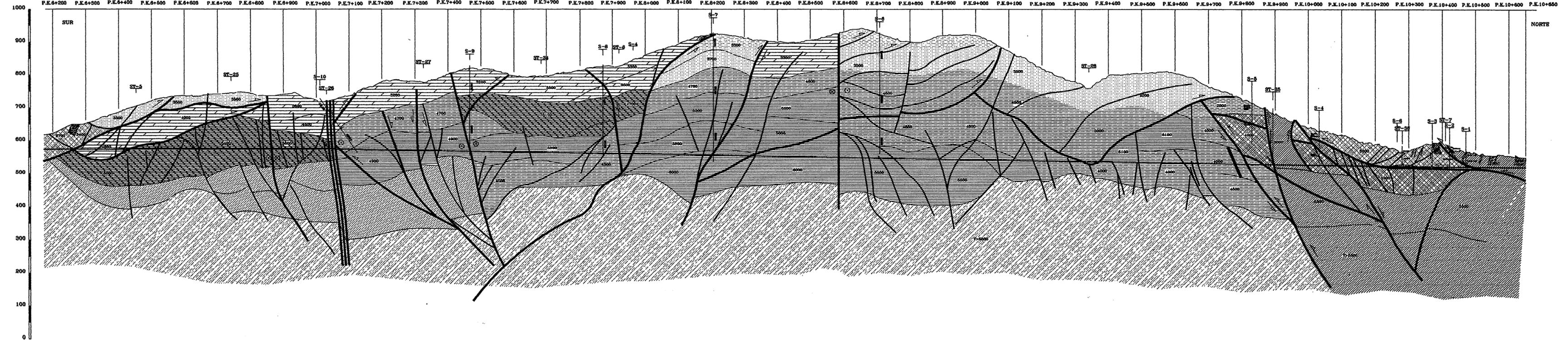
TRABAJOS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE RECONOCIMIENTO DEL TÚNEL DE PARACUELLOS DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA. TRAMO CALATAYUD-RICLA SUBTRAMO IA

PERFIL DEL TÚNEL
ESCALA 1:2.500

FECHA: SEPTIEMBRE 1898

CGS COMPañía General de Sondeos, S. A.

M.S.N.M.



LEYENDA

REFLEXION:
CAPAS DEFINIDAS POR REFLEXION Y ATRIBUCIONES LITOLÓGICAS DE ACUERDO CON LOS DATOS DISPONIBLES DE SONDOS MECÁNICOS E INFORMACION DE LA PERFORACION DEL TUNEL.

- | | | | | | |
|--|-----------------------------|-------------------|--|--|--|
| | $V < 4500$ m/s | } FORMACION JALON | | $V < 3400$ m/s | } FORMACION RANDOLA |
| | $V > 4500$ m/s | | | $V > 5500$ m/s | |
| | $V < 4000$ m/s | } FORMACION RIBED | | FORMACION PARALELAS
($V = 2800, 3000$ m/s) | } ATRIBUCIONES DIFERENCIALES
($V > 5500$) |
| | 4000 m/s $< V < 5000$ m/s | | | | |
| | $V > 4800$ m/s | | | | |

FALLAS Y MOVIMIENTOS QUE PUEDE AFECTAR AL TUNEL

- FALLAS Y MOVIMIENTOS PRINCIPALES
- FALLAS SECUNDARIAS
- HORIZONTES DE REFLEXION
- VELOCIDAD MEDIA DE REFLEXION EN m/s

REFRACCION SUPERFICIAL:

- CAPA SUPERFICIAL MUY METEORIZADA
- ZONAS DE FRACTURACION SUPERFICIAL
- VELOCIDAD DE REFRACCION EN m/s
- BASANTE DEL TUNEL
- TRAZAS SISMICAS

5.5. Medios para la ejecución

5.5.1. Sistema convencional. Perforación y voladura

Métodos convencionales:

RENDIMIENTO EN FASES: AVANCE: 90 m./mes.
DESTROZA: 160 m./mes.
RENDIMIENTO EN SECCION COMPLETA: 160 m/mes.

Maquinaria:

- ▼ Jumbo Robotizado Boomer 1000 de 3 brazos.
- ▼ Jumbo Convencional de 3 brazos.
- ▼ Dos Robot de gunitar, rendimiento 12 m³/hora.
- ▼ Plataforma de elevación hasta una altura de 12 m.
- ▼ Inyectora de cemento.
- ▼ Retro-excavadora de 3 m³ de cazo.
- ▼ Pala cargadora Cat-960.
- ▼ Retro-mixta.
- ▼ Cinco camiones de 15 m³.
- ▼ Planta de hormigón con amasadora de 75 m³/hora.

Personal: 30 operarios, total en tres turnos.

5.5.2. Galería-piloto

Rendimiento medio: 275 m / mes.

Maquinaria:

- ▼ T.B.M. de 4,7 m. de diámetro con una potencia instalada de 940 Kw.
- ▼ Peso cabeza: 290 Tm.
- ▼ Equipada con 3 bulonadoras, un robot de gunitar y un back-up de 150 m. de longitud para desescombro.
- ▼ Desescombro: 3 locomotoras con 6 vagones cada una de una capacidad de 6 m³.
- ▼ Instalaciones auxiliares:
 - 4.000 m. de vía.
 - 4.000 m. de tubería ventilación, agua, aire, etc.

Personal: 40 operarios, total en tres turnos.

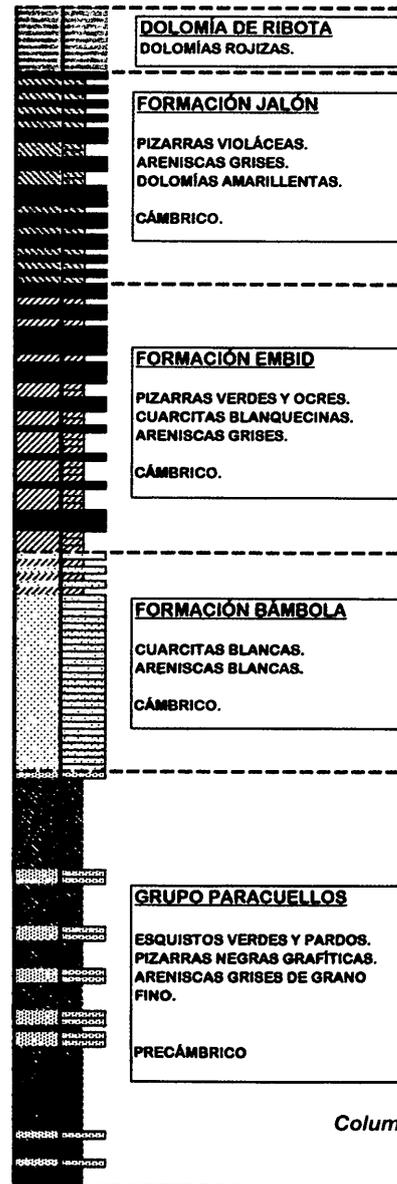
5.5.3. Ensanche de la galería-piloto con T.B.M. ensanchadora

Rendimiento estimado medio: 250 m/mes.

Maquinaria:

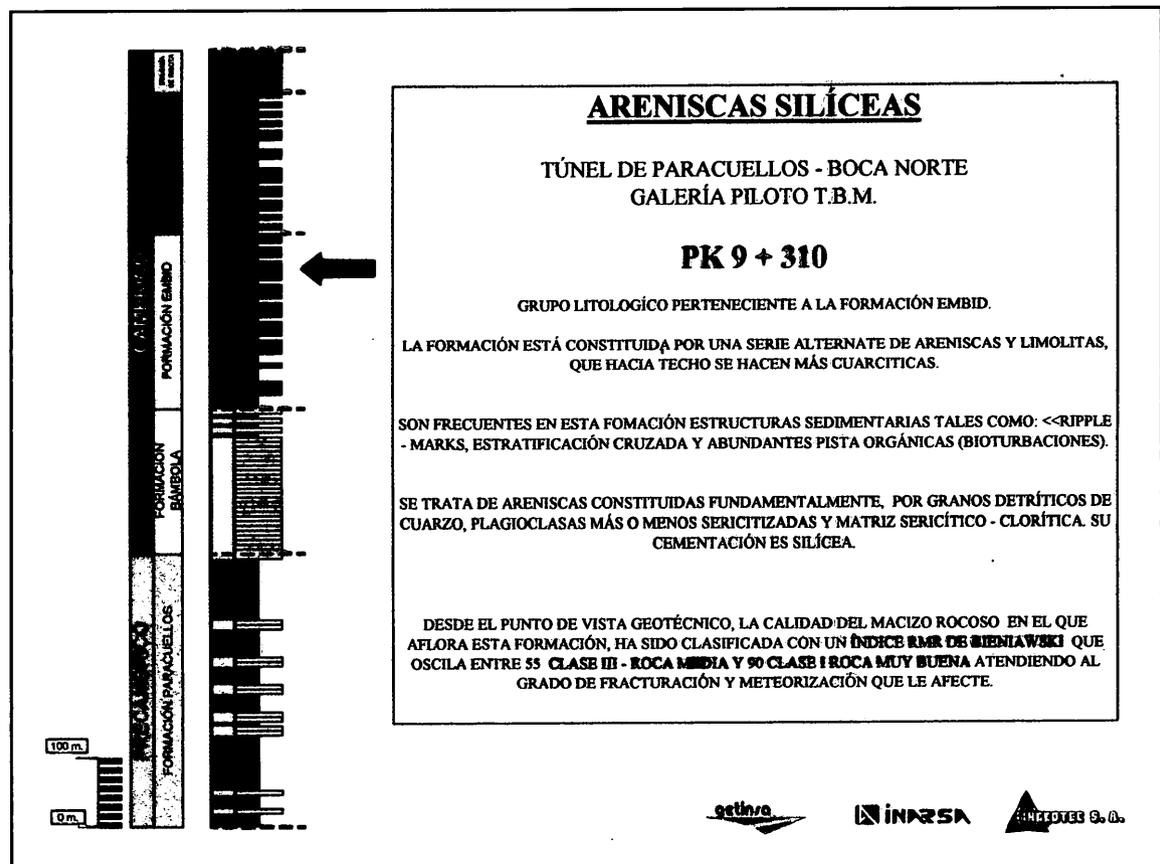
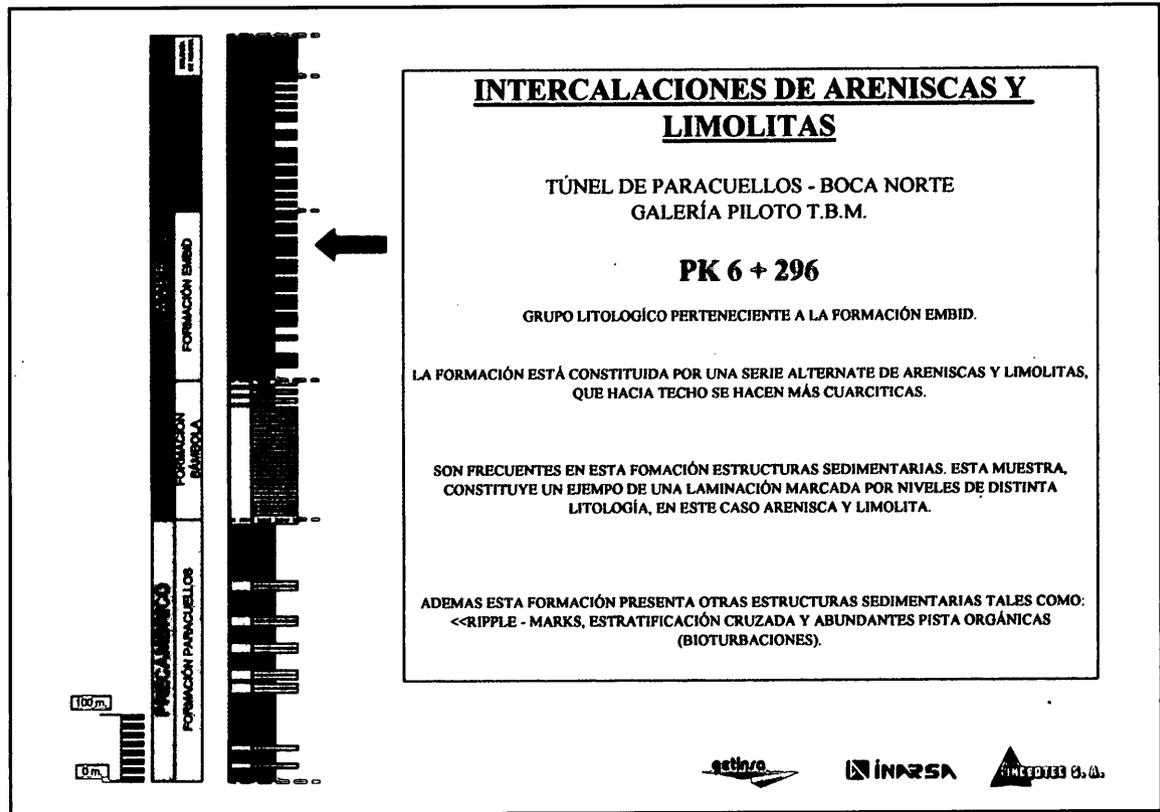
- ▼ Ensanchadora de diámetro variable entre 12,20 a 12,40 m.
- ▼ Potencia instalada: 2.800 Kw.

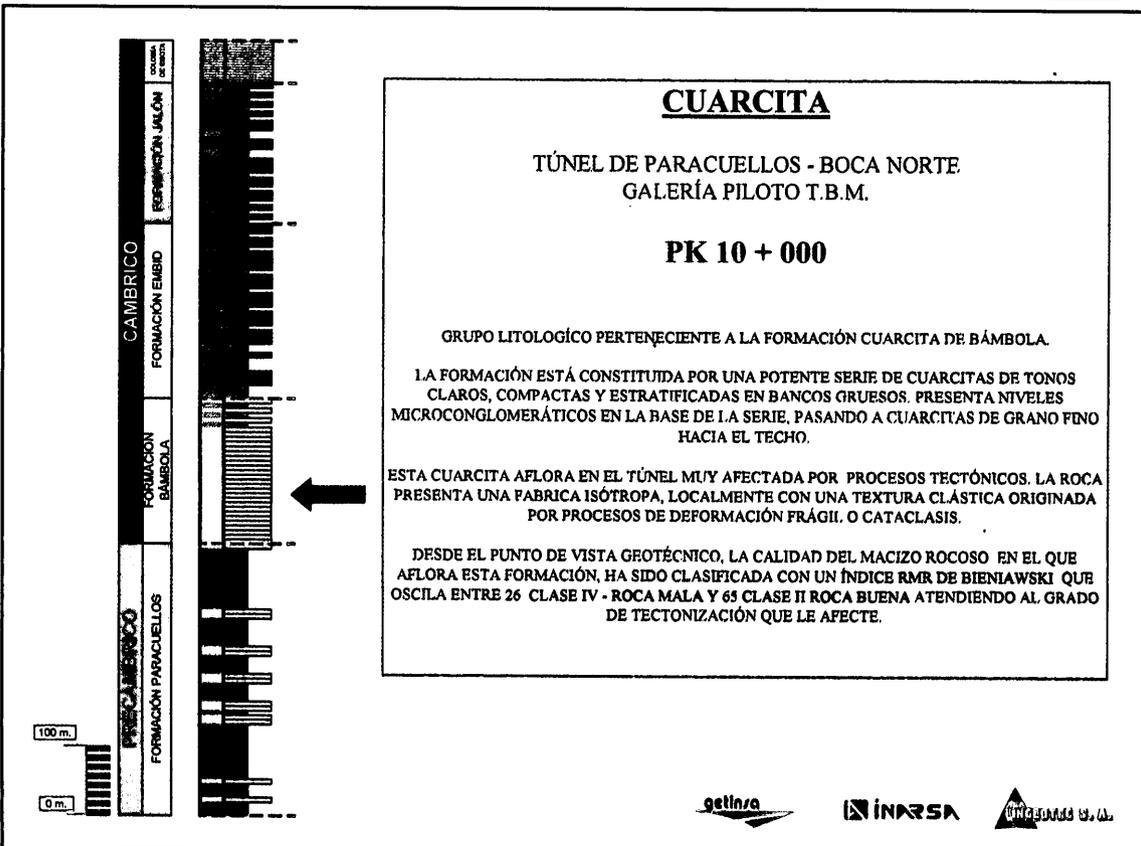
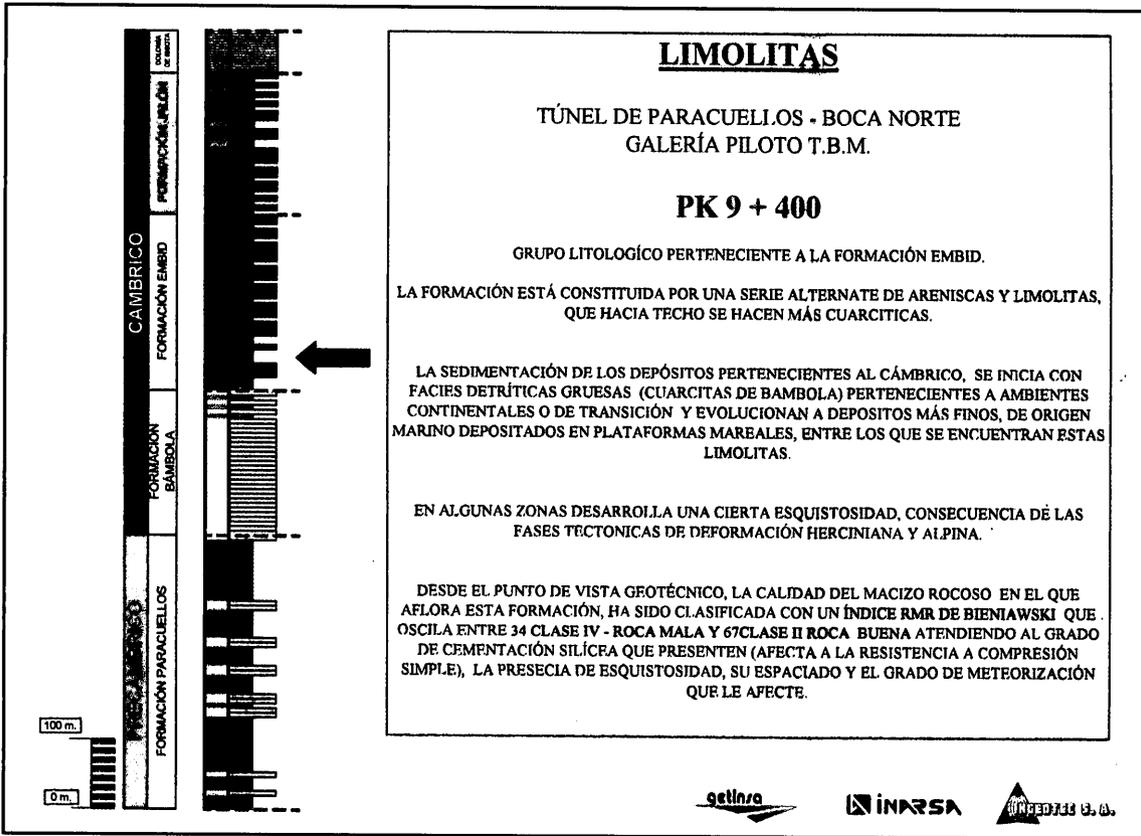
L.A.V. MADRID - ZARAGOZA
TRAMO: CALATAYUD - RICLA, SUBTRAMO I - A
TÚNEL DE PARACUELLOS
UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

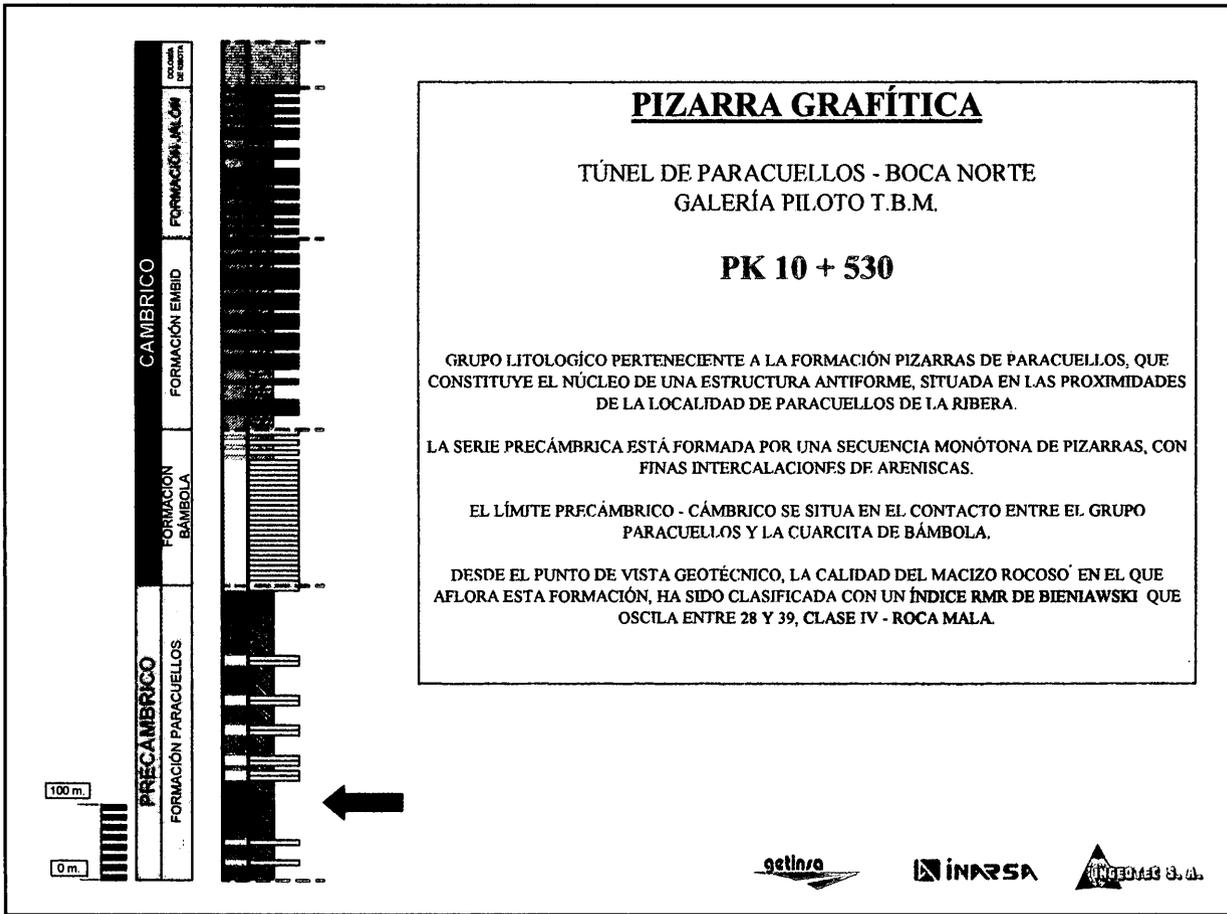


- ▼ Peso cabeza: 650 Tm.
- ▼ Equipo con 3 bulonadoras, 2 robot de gunitar, erector de cerchas, encofrado curvo solera hormigón y un back-up de 300 m. de longitud.
- ▼ Desescombro: cinta transportadora de un rendimiento de 460 Tm/h y una longitud de 5.000 m.

Personal: 80 operarios, total en tres turnos.







La T.B.M. ensanchadora permite realizar de forma continua y sucesiva la contrabóveda, el drenaje y relleno de la misma con productos de la excavación y el revestimiento, como se ve en el gráfico siguiente.

5.5.4. Características de las tuneladoras

T.B.M. DIAMETRO 4,70 M.

FABRICANTE.....WIRTH
TIPO DE MÁQUINATB III 470 E "SOMPORT"
AÑO DE CONSTRUCCIÓN1985

CABEZA DE CORTE:

Diámetro nominal.....4,7 m.
Diámetro de perforación4,69 m.
Potencia.....4x200 kW = 800 kW
Par nominal950 kNm
Revoluciones7,6 rpm

CORTADOR

Centro8 EDZ-R-2-S
Cara30 ED/S LKG-1 RPR
Calibrador.....2 ED/S K LKG - 1 RPR

EMPUJE

Empuje de la cabeza de corte8400 kN
Carrera (sin equipo de perforación para bulones)1500 mm
Alcance de la penetración.....0-5 m/h
Cilindros.....4



Diámetro de cilindro360/180 mm
 Presión hidráulica275 bar

**SISTEMA DE GRIPPERS
 (EMPUJADORES HIDRÁULICOS LATERALES)**

Fuerza de sujeción del gripper20700 kN
 Placas de apoyo del gripper.....12 St
 Máxima presión de contacto
 de la placa del gripper3,3 MPa
 Cilindros24
 Diámetro de cilindro.....200 mm
 Presión hidráulica275 bar

TRANSPORTADOR DE ESCOMBRO

Anchura.....650 mm

EQUIPO ELÉCTRICO

Potencia eléctrica instalada940 kW
 Transformadores1x1500 / 1x440 kVA
 Tensión de entrada.....10 ó 6 kV / 50 Hz
 Circuito motor660 V / 50 Hz

PESO DE LA MAQUINA CON CABEZA DE CORTE290 t

T.B.M. DIAMETRO 12,40

FABRICANTE.....WIRTH
 TIPO DE MAQUINA.....TBE 470 / 1220 h
 AÑO DE CONSTRUCCIÓN1991

CABEZA DE CORTE:

Diámetro nominal12,20/12,30/12,40 m



Boca sur. Pórtico de recepción del hormigón a proyectar, depósito mezclador y bomba de hormigón.

Potencia10 x 250 = 2500 KW
 Par nominal.....6650 kNm
 Revoluciones0-2,7 rpm

CORTADOR

Cara.....58 ED/S LKG - 1
 Calibrador3 ED/S K LKG - 1

EMPUJE

Empuje de la cabeza de corte15000 kN
 Carrera1500 mm
 Alcance de la penetración0-4 m/h
 Cilindros4
 Diámetro de cilindro400/300 mm
 Presión hidráulica300 bar

**SISTEMA DE GRIPPERS
 (EMPUJADORES HIDRÁULICOS LATERALES)**

Fuerza de sujeción del gripper42500 kN
 Placas de apoyo del gripper.....12 St
 Cilindros24
 Diámetro de cilindro275/200 mm
 Presión hidráulica300 bar

TRANSPORTADOR DE ESCOMBRO

Anchura.....1000 mm

EQUIPO ELÉCTRICO

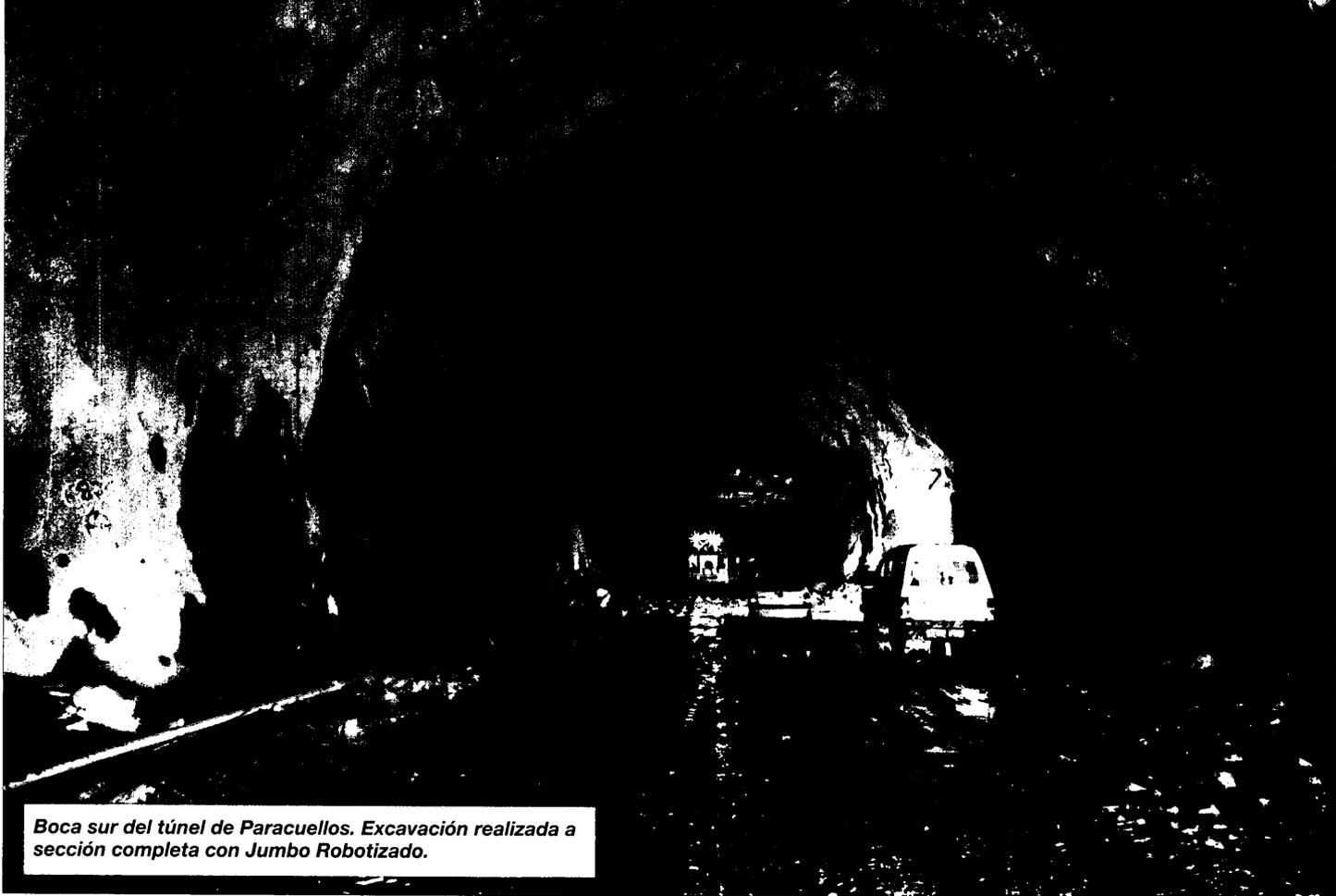
Potencia eléctrica instalada2800 kW
 Transformadores4000 kVa
 Tensión de entrada.....10000 V / 50 Hz
 Circuito motor660 V / 50 Hz

PESO DE LA MÁQUINA CON CABEZA DE CORTE650 t

VENTILADORES.....2x30 m/seg



Frente de excavación. Cabeza de corte en aspas de molino.



Boca sur del túnel de Paracuellos. Excavación realizada a sección completa con Jumbo Robotizado.

5.5.5. Características de la cinta transportadora para el ensanche con T,B,M,

RENDIMIENTOS

Capacidad mínima.....	460 t/h
Producto transportado	Escombros
Granulometría.....	0-100 mm
Densidad	1,5
Temperatura	Ambiente

CARACTERÍSTICAS

Tipo.....	Curvo
Velocidad de la cinta.....	3,25 m/s
Distancia entre ejes.....	de 211 a 4,802 m
Desnivel.....	Variable
Sentido de la marcha.....	Unico
Plano de montaje	2005-40 A

DEFINICIÓN DE LA CINTA

Fabricante.....	SAIAG
Tipo	Carcasa metálica "STEELCORD ROX ST 400"
Revestimientos.....	6+4 RA (Grado M)
Anchura.....	800 mm
Longitud.....	4.445 m + recuperación
Peso por metro	13,4 Kg
Forma	Artesa a 30 °

DEFINICIÓN DE LA TENSIÓN

Tipo.....	Por tensión transmitida
-----------	-------------------------

Contrapesos.....Variable

GRUPO DE ALIMENTACIÓN

Potencia total instalada500 kW

5.5.6. Revestimiento. Sistema convencional.

Perforación y voladura

Rendimiento medio: 300 m./mes.

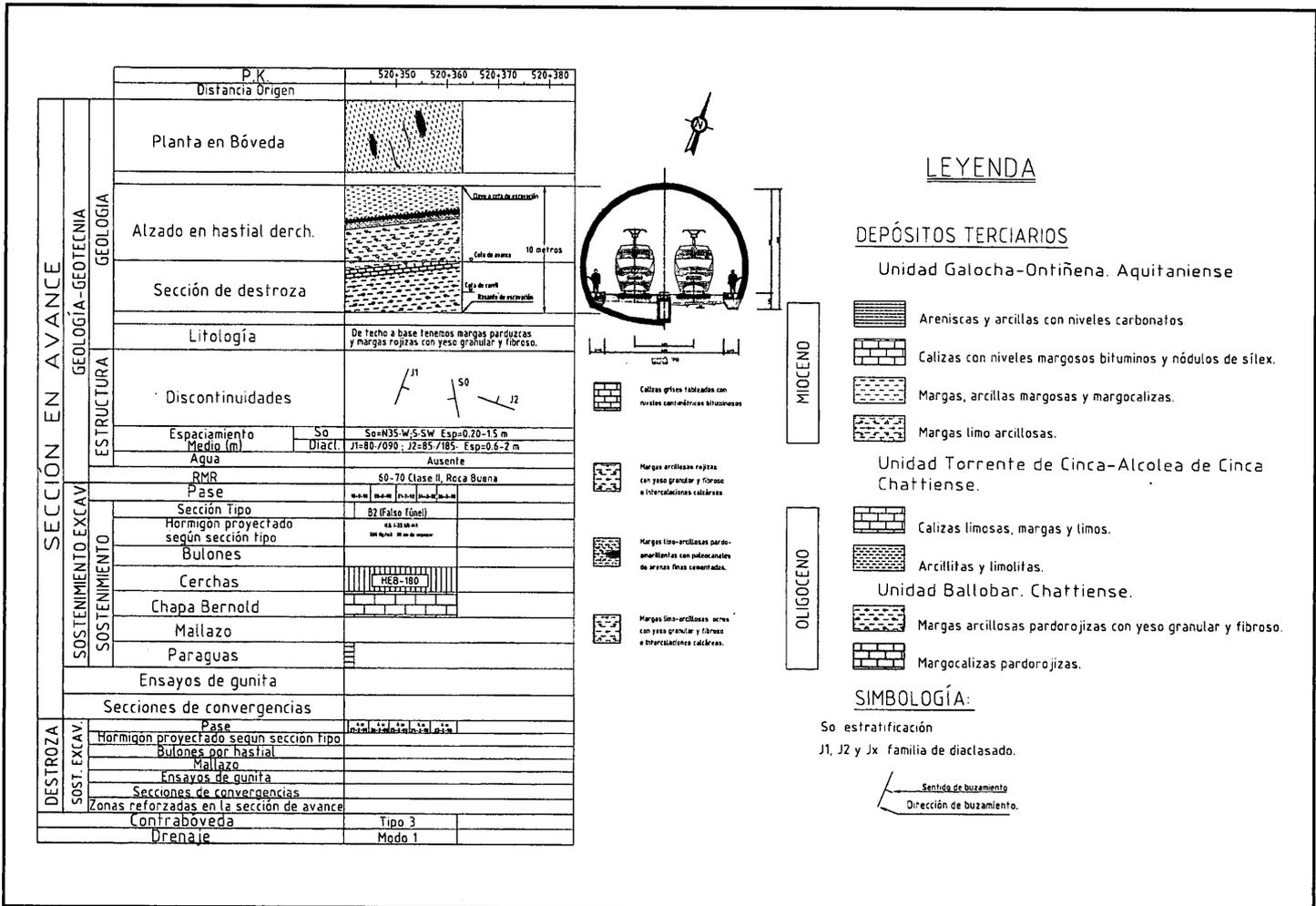
Maquinaria

- ▼ Dos carros de hormigonado de 15 m. de longitud cada una.
- ▼ Dos bombas de hormigón estática de 80 m3/h.
- ▼ Un carro con distribuidor de hormigón.

Personal: 25 operarios.

6. TÚNEL DE "LAS HECHICERAS"

Dentro de las obras que el Ministerio de Fomento está llevando cabo a través su entidad gestora GIF, para la Línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa en el tramo Zaragoza-Lleida, subtramo V, se encuentra el único túnel del proyecto (20 km de trazado entre Cadasnos y Ballobar), denominado Túnel de la Hechiceras, que se encuentra en el término municipal oscense de Ballobar (pk 517+518 al pk 520+338), a unos 25 km al oeste de Lérida.



Su longitud total es de 2.937 m, de los que: unos 90 m son en falso túnel (69,7 m en la boca de Zaragoza y 19,7 m en la boca de Lleida); 35 m corresponden a estructura en voladizo o pico flauta (18 y 17 m en cada boca, respectivamente), y 2.812 m en túnel propiamente dicho. El túnel tiene una sección transversal de excavación de 100 m², con capacidad para dos vías de ferrocarril más dos aceras de servicio, una a cada lado, y una pendiente uniforme del 2 (en el sentido de Lleida. La sección una vez revestida es de 80 m².

Las obras de ejecución se iniciaron en mayo de 1997 por la boca de Lleida y en agosto por la boca de Zaragoza. Finalizando los trabajos de avance en Febrero de 1998 y de destroza a mediados del mes de Agosto de 1998.

Actualmente se están realizando los trabajos de impermeabilización, el hormigonado del revestimiento y soleras.

Su finalización está prevista para Junio de 1999.

6.1. Geología y Geotecnia

El túnel recorre su trazado por una estratificación horizontal de diferentes espesores, formada por areniscas poco cemen-

tadas, arcillas y margas arcillosas, calizas y margocalizas tableadas, margocalizas con yesos y margas compactas.

La zona del proyecto se enclava geológicamente en la cuenca terciaria del Ebro. El túnel atraviesa tres tramos con las siguientes características:

▼ Un primer sector en la embocadura del tramo de Zaragoza hasta el pk 518+000 medido en la rasante. Está formado mayoritariamente por bancos de calizas tableadas compactas con niveles de margas bituminosas de espesores decimétricos.

▼ El segundo sector, desde el pk 518+000 hasta el pk 519+410, en el que predominan las margas arcillosas y limosas sobre los niveles de calizas y calizas margosas compactas y duras en bancos individuales decimétricos con secuencias de espesores métricos. Presentan cierto contenido en yeso, tanto en forma granular como fibroso.

▼ El tercer sector, desde el pk 519+410 hasta la embocadura del lado Lérida, en la que predominan las margas arcillosas y limosas con yeso en forma de grano o en pequeñas hiladas centimétricas, con pequeños niveles intercala-



dos de calizas en bancos decimétricos a métricos esporádicos, junto con capas areniscosas y de arenas limosas en ocasiones lentejonares.

Se han diferenciado los siguientes grupos litológicos:

A: Arenas y limos sueltos y areniscas poco cementadas.

B: Arcillas y margas arcillosas.

C: Calizas y margocalizas masivas.

D: Calizas y margocalizas tableadas.

E: Margocalizas con yeso.

F: Margas compactas masivas con intercalaciones de yesos y margas yesíferas.

Geotécnicamente, los materiales que atraviesa el trazado varían la resistencia a la compresión simple entre casi los 80 MPa, en la zona de calizas, y los 0,4 MPa, en las arcillas y margas arcillosas.

En la clasificación de Beniawski, el RMR se encuentra comprendido entre un mínimo de 60 y un máximo de 80, sien-

do 70 el valor que más se da en un alto porcentaje de la traza del túnel. El valor de RQD se encuentra comprendido entre 60 mínimo a 90 como máximo.

Hidrogeológicamente, son escasos en el túnel los problemas debidos al agua, ya que dadas las características de la mayoría de los materiales atravesados (prácticamente impermeables), las surgencias de agua procedentes del muro de avance son de poca consideración, produciendo sólo embarramientos del piso sin que exista circulación de agua superficial.

6.2. Sección del túnel

El túnel se ha proyectado con una sección libre interior de unos 80 m² y sección de excavación de 100 m². La sección es curva en bóveda y hastiales, con un sólo radio de 6 m de longitud situado a 1,97 m por encima de la cota de cabeza de carril.

Esta construcción geométrica posibilita la existencia de dos aceras de 1,4 m de ancho y dos entrejes de vía de 4,26 m cada una, con una anchura de la plataforma a cota de vía de 12,4 m.

Bajo la superficie de las aceras se han proyectado huecos destinados para su uso como paso de cables de señalización y comunicación, así como para el drenaje longitudinal. Anclados en los hastiales se prevé la colocación de barandillas metálicas para sujeción y protección del personal de mantenimiento.

El paramento interior es la cara vista de un anillo de revestimiento de hormigón encofrado sulfurresistente de 0,25 m de espesor hormigonado contra el sostenimiento.

6.3. Proceso constructivo y sostenimiento

La excavación del túnel ha sido acometida desde ambas bocas a la vez y realizada en dos fases: avance o calota, de 50 m² de sección, y con una destroza, también de 50 m² de sección, y excavándose ésta en una sola fase.

La totalidad de la excavación se efectúa por medios mecánicos mediante dos minadores continuos de ataque puntual (rozadora) Paurat T2.13, de 70 t de peso, potencia de corte de 300 kW, a 1.000 V de tensión, una potencia total instalada de 422 kW, motor refrigerado por agua, y cabeza de corte radial de 42 picas.

En el avance el pase medio es de 4 m, cerrándose el ciclo en 12 horas; siendo en la destroza de 5 m.

Para la extracción del escombros, al no tener las rozadoras dispositivo de carga, se utilizan cargadoras articuladas sobre neumáticos con una capacidad de cuchara de 3 m³ cada una, que recogen el escombros y lo cargan sobre camiones, que transportan la zafra a vertedero directamente.

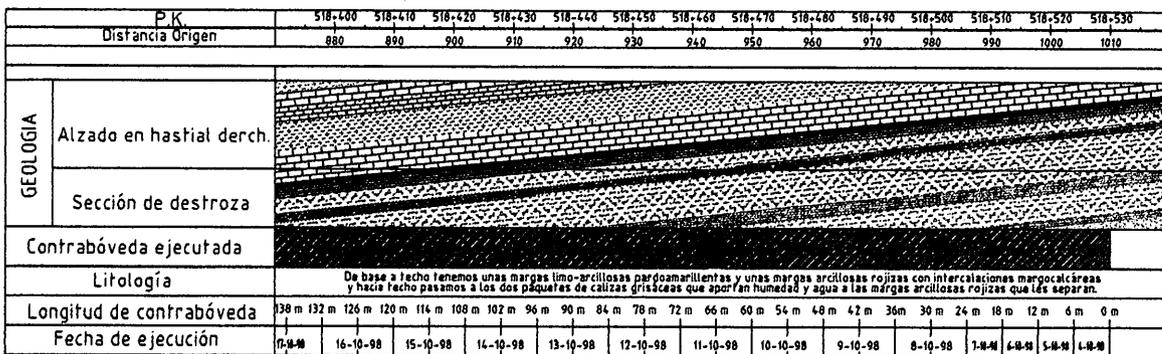
6.4. Sostenimiento

El sostenimiento se realiza mediante hormigón proyectado de protección HP-450 sulfurresistente, por vía húmeda, con fibras metálicas con una dosificación de 45 kg/m³, capa de sellado de 5 cm, y después de colocar los bulones, con una densidad de 1 bulón/2 m², una segunda capa de hormigón de hasta 20 cm de espesor en función del sostenimiento requerido.

También se ha utilizado mallazo o malla electrosoldada de 6 mm de diámetro y una separación de 150 x 150 mm, empleándose en función del tipo de sostenimiento requerido en cada momento.

Se han empleado tanto bulones de acero corrugado de 25 mm como pernos tipo Swellex.

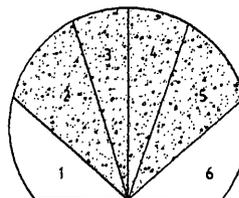
SEGUIMIENTO DE LA CONTRABÓVEDA



CARACTERÍSTICAS DE LA CONTRABÓVEDA

- Espesor de 50 cm
- Radio 11,45 m
- Hormigón H-250 SR-MR
- Arquetas 0,70 x 0,70 cada 75 m aproximadamente
- Dren de diámetro 0,25 m con geotextil

LOCALIZACIÓN DE GOTEOS Y HUMEDADES



TÚNEL DE LAS HECHICERAS

DATOS DE LA OBRA

Tanto la gunita como los pernos se han ensayado y controlado en su ejecución, efectuando para la primera: controles cuantitativos (espesores, contenido en fibras, etc.) y cualitativos (resistencia a corto y largo plazo), y para los bulones se han empleado ensayos de arrancamiento de forma aleatoria, rompiendo por el casquillo a una media de 120 kN.

En el caso de las cerchas, se han empleado cerchas tipo HEB-180 y THN-21 en las boquillas, tanto en la calota como en la destroza, colocándolas a 1 m de distancia, en función del tipo de sostenimiento.

6.5. Auscultación

La instrumentación que más se ha usado ha sido la medida de convergencias, de una forma diaria, con cinta extensométrica, dando como resultado 2 mm de valor medio, cada 30 días. Asimismo se han utilizado sistemas de direccionamiento por láser para la orientación del recorte de la rozadora, con tres puntos de emisión: uno en la clave y dos en los hombros.

6.6. Emboquilles

Para la estabilización de la zona de talud frontal, en ambos emboquilles se ejecutó una corona de 23 taladros de 120 mm de diámetro y 11,5 m de longitud, con 23 IPN de 80 mm de diámetro y 12 m de longitud con 50 cm fuera del taladro y embebidos en una viga de atado de 1 m de ancho. Concéntricos a esta viga, van dos líneas de bulones de 25 mm de diámetro y 4 m de longitud, con un total de 19, a una distancia de 0,5 metros, y reforzadas con cerchas HEB 180 a 1 m de distancia y chapa Bernold con hormigón proyectado.

Los dos emboquilles se realizaron con martillos hidráulicos, con pases de 1,5 metros, hasta estar dentro del túnel casi 8 m y empezar con las rozadoras.

6.7. Rendimientos en la ejecución

En el túnel de Las Hechiceras son de destacar los rendimientos conseguidos en el avance de excavación, con rendimientos máximos mensuales de 340 m en agosto de 1997, 370 m en septiembre, 456 m en octubre y 476 m en noviembre, y con rendimientos medios mensuales muy próximos a los 300 m/mes por boca, trabajando durante los siete días de la semana a tres turnos de ocho horas/día.

El rendimiento medio diario ha variado desde los 2,4 m en las primeras semanas de la excavación hasta los 12 m.

- ▼ Fecha inicio AVANCE: MAYO 1997
- ▼ Fecha final AVANCE: FEBRERO 1998

▼ Principales equipos utilizados:

- Dos rozadoras Paurat T2I3CE-208 (300 kW).
- Jumbo bulonador Atlas Copco Boltec R32 de 2 brazos.
- Jumbo bulonador Tamrock Paramatic HS 205 T de 2 brazos.
- Dos robots gunitadores Schwing TSR 30110.
- Dos plataformas elevadoras Normet Himex 9815 D.
- Dos palas cargadoras Komatsu VA 270.
- Tres camiones de obra (Scania, Mercedes e Iveco).
- Diversos vehículos de servicio y maquinaria auxiliar.

▼ Principales unidades del túnel:

- Excavación en avance de túnel155.724 m³
- Excavación en destroza de túnel.....192.785 m³
- Bulón en anclaje continuo de túnel.....164.795 m
- Hormigón proyectado HP-450 sostenimiento.....12.431 m³
- Hormigón en hastiales para el sostenimiento1.063 m³
- Hormigón en hastiales para el revestimiento28.504 m³
- Hormigón en contrabóvedas y soleras..... 41.016 m³
- Acero para armar tipo AEH-500N665.958 Kg
- Impermeabilización continua en túnel30.698 m²
- Cerchas HEB-180 y THN-21.....2.458 m
- Bóveda prefabricada en túnel artificial o pico flauta65 m

- ▼ Fecha inicio DESTROZA: MARZO 1998
- ▼ Fecha final DESTROZA: SEPTIEMBRE 1998
- ▼ Rendimiento medio AVANCE: ≈ 6 m día/boca
- ▼ Rendimiento medio DESTROZA: ≈ 7 m día/boca

BIBLIOGRAFÍA

- Control de sostenimiento de túneles en obras del GIF (Valencia Nov. 1998). Manuel Niño González. Subdirector General de Planes y Proyectos de Infraestructuras Ferroviarias. Ministerio de Fomento.
- Informes de seguimiento de Obra. UTE GEINGE (Inarsa, Getinsa e Ingeotec).
- Estudio geotécnico de reconocimiento del túnel de Paracuellos. CGS Ogden, Compañía General de Sondeos, S.A. ●