

Línea ferroviaria de Alta Velocidad Córdoba-Málaga. Tramo 16: Túneles de Álora y Espartal

Córdoba-Málaga High Speed Railway Line.
Section 16: Alora and Espartal tunnels

Matilde Pertierra Rey. Geóloga
Pablo Mollá Ruiz. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe de Obra.

Resumen: Una vez expuestas las características generales de los túneles se describe brevemente la geología de la zona siendo los esquistos el material predominante en el tramo. Seguidamente se explica con detalle el proceso más complicado de la obra que es la excavación por el Nuevo Método Austriaco y por último se comentan los dos últimos procesos importantes de la ejecución de los túneles que son la impermeabilización y el revestimiento definitivo. Intercalados entre las actividades anteriores se realizan dos fases de Auscultación para controlar los posibles movimientos del macizo rocoso.

Palabras Clave: Nuevo Método Austriaco, AVE Córdoba - Málaga, Esquistos, Auscultación, Túnel

Abstract: The article explains the general characteristics of the tunnels and gives a brief description of the geology of the area which is seen to be predominantly formed by schist/shale. The authors go on to give a detailed description of the most complicated process of the work and, namely, the excavation of the tunnels by the New Austrian Method before going on to describe the waterproofing and final lining processes. Reference is also made to the two auscultation phases carried out to control any possible movement in the rocky massif.

Keywords: New Austrian Method, Cordoba - Malaga High Speed Rail Line, Schist, Auscultation, Tunnel

1. Introducción

Los Túneles de Álora y Espartal pertenecen a la Línea de Alta Velocidad "Córdoba-Málaga", concretamente al Tramo 16 denominado Álora-Cártama. Túneles de Álora y Espartal. Esta línea se divide en 21 tramos desde el inicio que está en Córdoba hasta el final en la ciudad de Málaga.

El tramo discurre en su totalidad por el término municipal de Álora (Málaga). Tiene una longitud de 3.620 m. y se ha diseñado con parámetros propios de una velocidad de recorrido de 350 km/h.

Se cuenta con un presupuesto de 81.777.646 y con un plazo de ejecución de 44 meses. Las características generales son las siguientes:

Obra: Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga.

Tramo: Tramo 16: Álora

Situación: Provincia de Málaga. Término municipal de Álora.

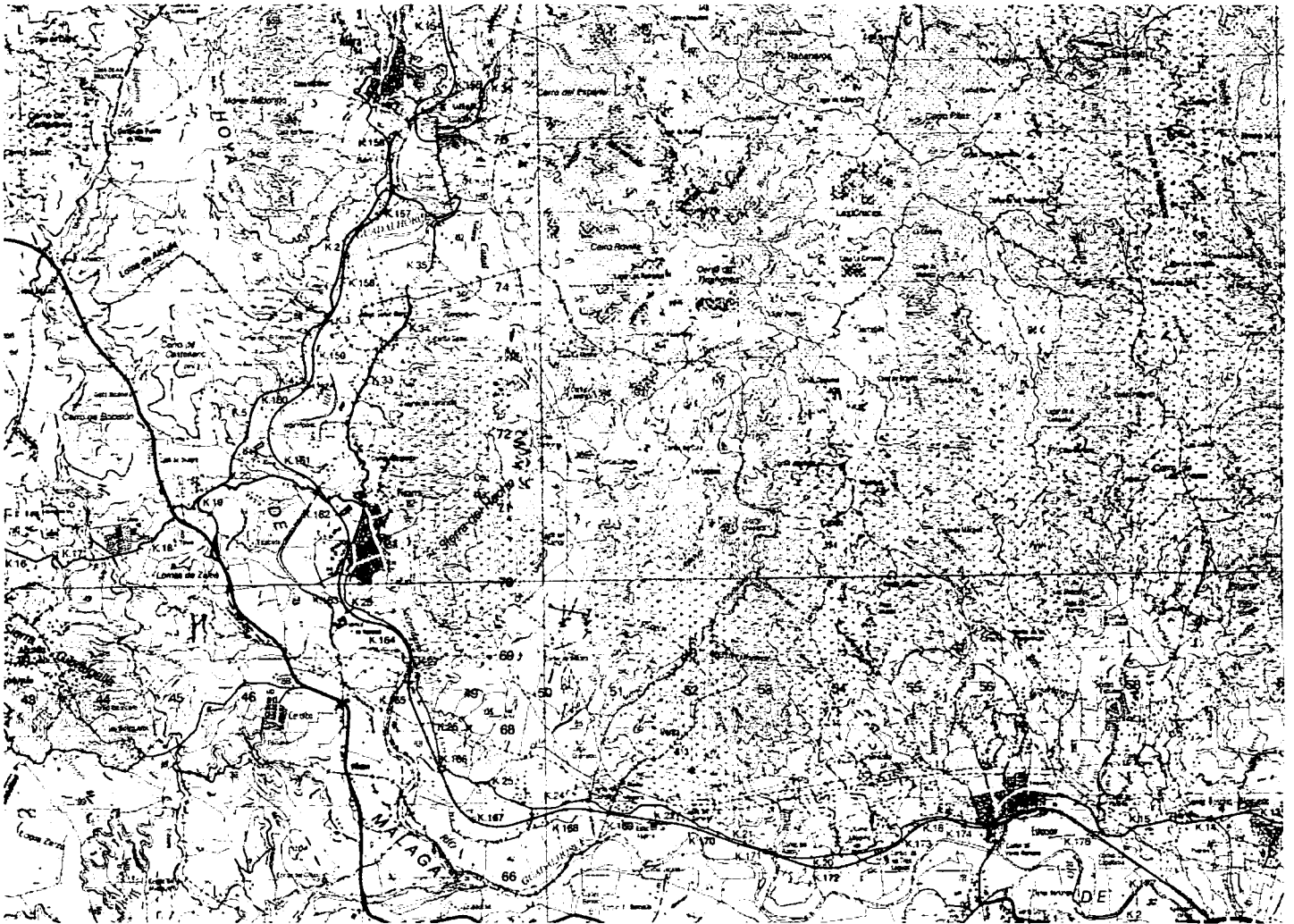
Ciente: A.D.I.F. (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias).

Constructora: Ferrovial-Agroman.

Asistencia Técnica: Idom-Geocisa (U.T.E. Alora)

Asistencia Técnica de coordinación: Prointec.

La sección transversal se ha diseñado con un ancho de plataforma (en cara superior de subbalasto) de 14 m y un entre eje de vías de 4,70 m de acuerdo con las últimas experiencias en el diseño de líneas de alta velocidad. La pendiente transversal se fija en el 5% y el espesor de la capa de subbalasto en 30 cm. La capa de forma, de acuerdo con las recomendaciones geotécnicas, tendrá para todo el subtramo un espesor de 40 cm tanto en desmontes como en terraplenes.



Planos de situación.

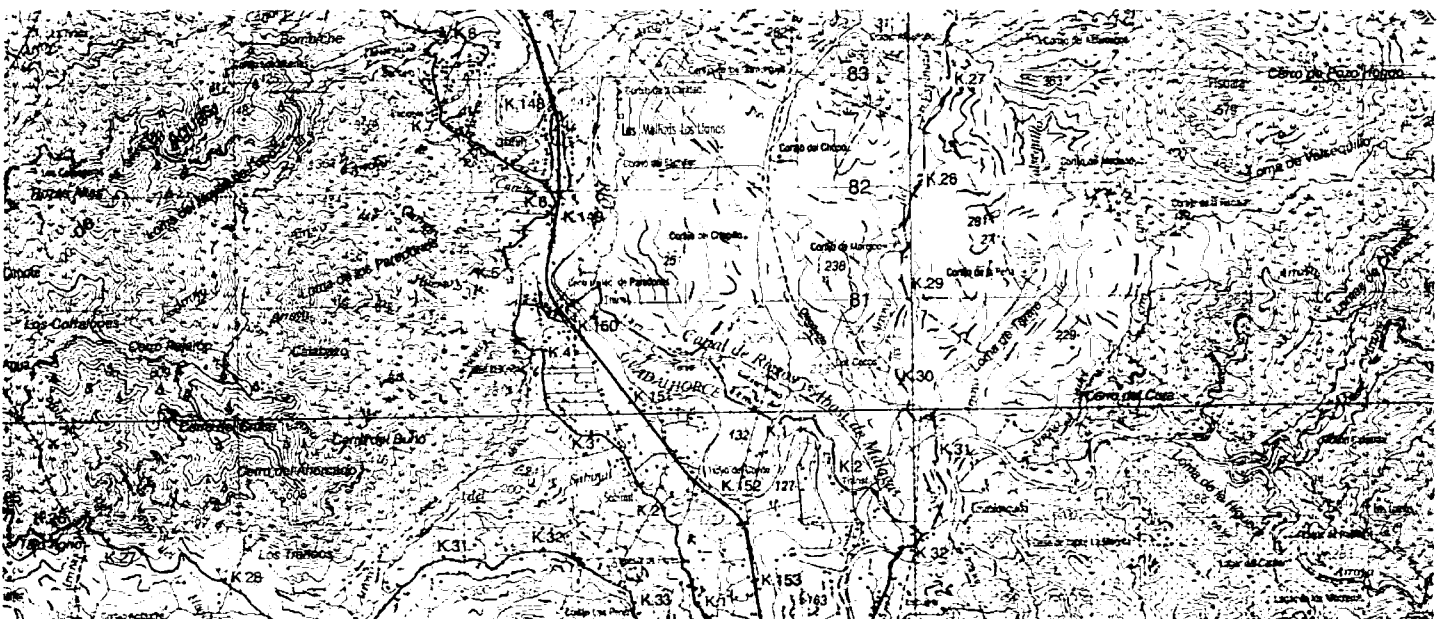


Tabla 1. Características del Túnel de Álora.
Los PP.KK. se refieren a pie de falso túnel.

Situación:	PK 1000+635 al PK 1001+452
Longitud Total:	857 metros
Longitud en túnel:	782 metros
Longitud en falso túnel:	37+38 metros
Cobertura máxima:	80 metros
Pendiente:	5 ‰
Terreno:	Filitas, diques y brechas de falla
Sección libre:	110 m ²
Sección de excavación:	182.726 m ² (máxima)

Tabla 2. Características del Túnel de Espartal.
Los PP.KK. se refieren a pie de falso túnel.

Situación:	PK 1001+568 al PK 1003+570
Longitud Total:	2002 metros
Longitud en túnel:	1919 metros
Longitud en falso túnel:	38+45 metros
Cobertura máxima:	180 metros
Pendiente:	5 ‰
Terreno:	Esquistos, filitas, diques y brechas de falla
Sección libre:	85 m ²
Sección de excavación con contrabóveda:	149.665 m ² (máxima)

Las obras más singulares pertenecientes a este subtramo son las siguientes:

- Túnel de Álora, con una longitud de 857 m, incluyendo los dos falsos túneles de 37 y 38 m de ambas boquillas y una sección interior libre de 110 m².
- Túnel del Espartal, con una longitud de 2002 m, incluyendo los dos falsos túneles de 38 y 45 m de ambas boquillas y una sección interior libre de 85 m².
- Una obra de drenaje transversal diseñada con un marco.
- Un paso superior para un vial P.K. 1000+226.
- Un paso inferior para un vial en el P.K. 1001+510.

2. Características generales de los túneles

La obra comprende dos túneles denominados Álora y Espartal (según PP.KK. crecientes). La dirección del subtramo es N-S, aproximadamente. En su ejecución se han seguido las pautas que marca el Nuevo Método Austriaco, desarrollado y patentado por Rabcewicz a mediados del siglo XX.

Los túneles están formados por un único tubo, diseñado para albergar los dos sentidos de circulación. En las tablas 1 y 2 se recogen las características esenciales de los túneles:

3. Geología de la zona

La Cordillera Bética es la más occidental de las cadenas meridionales alpinas europeas y dentro de esta cadena el corredor estudiado se ubica en las Zonas Internas, que se caracteriza por encontrarse formada por un cinturón metamórfico, que se divide en las siguientes unidades de origen alóctono:

- Complejo Maláguide
- Complejo Alpujarride

- Complejo Nevado-Filábride

Los distintos complejos se encuentran separados entre sí por superficies de despegue, superficies que también están presentes en el seno de cada complejo.

El corredor estudiado se localiza dentro del Complejo Maláguide y se inscribe en una estructura tectónica singular, un vasto anticlinorio que constituye una ventana tectónica, el Anticlinorio de Santi Petri, situado dentro de los términos municipales de Cártama, Pizarra, Álora, Arroyo Ancón y el Monte Santi Petri.

En este anticlinorio el desmantelamiento de los materiales del Complejo Maláguide deja al descubierto las formaciones que constituyen el Complejo Alpujarride y las estructuras propias de la superficie de despegue que separa a ambos complejos, así como las internas de cada complejo.

Los materiales que constituyen el Complejo Alpujarride (unidad estructuralmente inferior) del Precámbrico-Paleozoico son:

- Gneises bandeados. Constituyen el núcleo de la estructura y presentan el mayor grado de metamorfismo.

Cerchas del Túnel de Álora.





Túnel de Álora

- Esquistos muy tectonizados superpuestos tectónicamente en contacto mecánico a los gneises.

Litologías que componen el Complejo Maágide (unidad estructuralmente superior), edad permotriásica:

- Materiales de predominio filítico, superpuestos tectónicamente a los materiales alpujárrides.

4. Proceso constructivo

Siguiendo las pautas marcadas por el Nuevo Método Austriaco para la construcción de ambos túneles, las fases ejecutadas han sido las siguientes:

4.1. Fase de excavación, tipos de sostenimientos y primera fase de auscultación

4.1.1. Avance

El frente de avance excavado tiene una altura de unos 6.5 m, y una sección de unos 75m² en Álora y unos 70 m² en Espartal. La excavación de las cuatro bocas se ha efectuado siguiendo los métodos que se describen a continuación:

Medios mecánicos: martillo hidráulico modelo FURUKAWA F35LN, de 2.800 a 3.500 kg, montado sobre el brazo de una retroexcavadora modelo FIAT HITACHI EX400, de 40 t y 420 CV. El material ha sido retirado mediante una pala cargadora modelo HITACHI LX210E, de 300-350 CV, retirándose a vertedero por medio de camiones.

Medios mixtos: voladura entre el tercio y la mitad inferior del frente, según los casos. Se han usado cartuchos de goma-2 de $\varnothing 26$ mm, $\varnothing 32$ mm y $\varnothing 40$ mm, retacados con arcilla. La malla de voladura se ha dispuesto en



Túnel de Álora

Tabla 3. Correspondencia entre el tipo de terreno y el sostenimiento empleado.

Tipo de Terreno	RMR	Tipo de Sostenimiento
Tipo-C	RMR≥35	III
Tipo-D	35>RMR≥25	IV
Tipo-E	RMR<25	V

2 ó 3 filas de barrenos distanciados 1,5x1,5 m. La excavación, perfilado y recorte de la parte superior de la sección de avance se ha llevado a cabo con medios mecánicos, empleando el martillo hidráulico.

Voladura de la sección completa: Se han usado cartuchos de goma-2 de $\varnothing 26$ mm, $\varnothing 32$ mm y $\varnothing 46$ mm, retacados con arcilla. La malla de voladura se ha dispuesto con barrenos distanciados 1x1 m y con cordón de recorte en los superiores. El perfilado de la sección se realiza con martillo picador.

La elección del método de excavación al igual que la longitud de los pases ejecutados (entre 1.5-3 m) depende exclusivamente de la calidad geotécnica de la roca atravesada. En ambos túneles la excavación se ha realizado mayoritariamente con medios mixtos.

Ambos túneles han sido atacados por ambas bocas, esto se ha traducido en que los rendimientos de excavación son mayores que cuando sólo se dispone de un único frente de trabajo.

4.1.1.1. Tipos de Sostenimientos

Los elementos de sostenimiento empleados han sido:

- Hormigón proyectado (HM 40) con fibras metálicas (45 kg/m³)
- Bulones (swellex Mn12)
- Cerchas (TH-29, HEB-160)
- Paraguas de micropilotes

Según el índice de RMR obtenido en el frente de excavación, se ha aplicado el sostenimiento más adecuado a las características del macizo rocoso (Tabla 3).

Las secciones tipo de sostenimiento se reflejan en las tablas 4 y 5.

Proceso de ejecución del sostenimiento tipo III:

- Voladura del frente con recorte
- Perfilado con martillo hidráulico.
- Proyección de gunita de sellado (en torno a 5 cm).
- Instalación de coronas de bulones.
- Proyección de gunita de sostenimiento (en torno a 20-25 cm).

Proceso de ejecución de los sostenimientos tipos IV y V:

- Excavación de la sección a sostener. En función de la calidad de la roca se emplearon medios mixtos o mecánicos.
- Recorte con martillo hidráulico.
- Proyección de gunita de sellado.
- Instalación de cerchas distanciadas 1.5 m y, puntualmente a 1 m, coincidiendo con terrenos de peor calidad.
- Proyección de la primera capa de gunita de sostenimiento.
- Instalación de bulones tras colocar cerchas (en tipo IV).
- Proyección de la segunda capa de gunita de sostenimiento (en torno a 30 cm en tipo IV y 35 cm en tipo V).

4.1.1.2. Primera fase de Auscultación

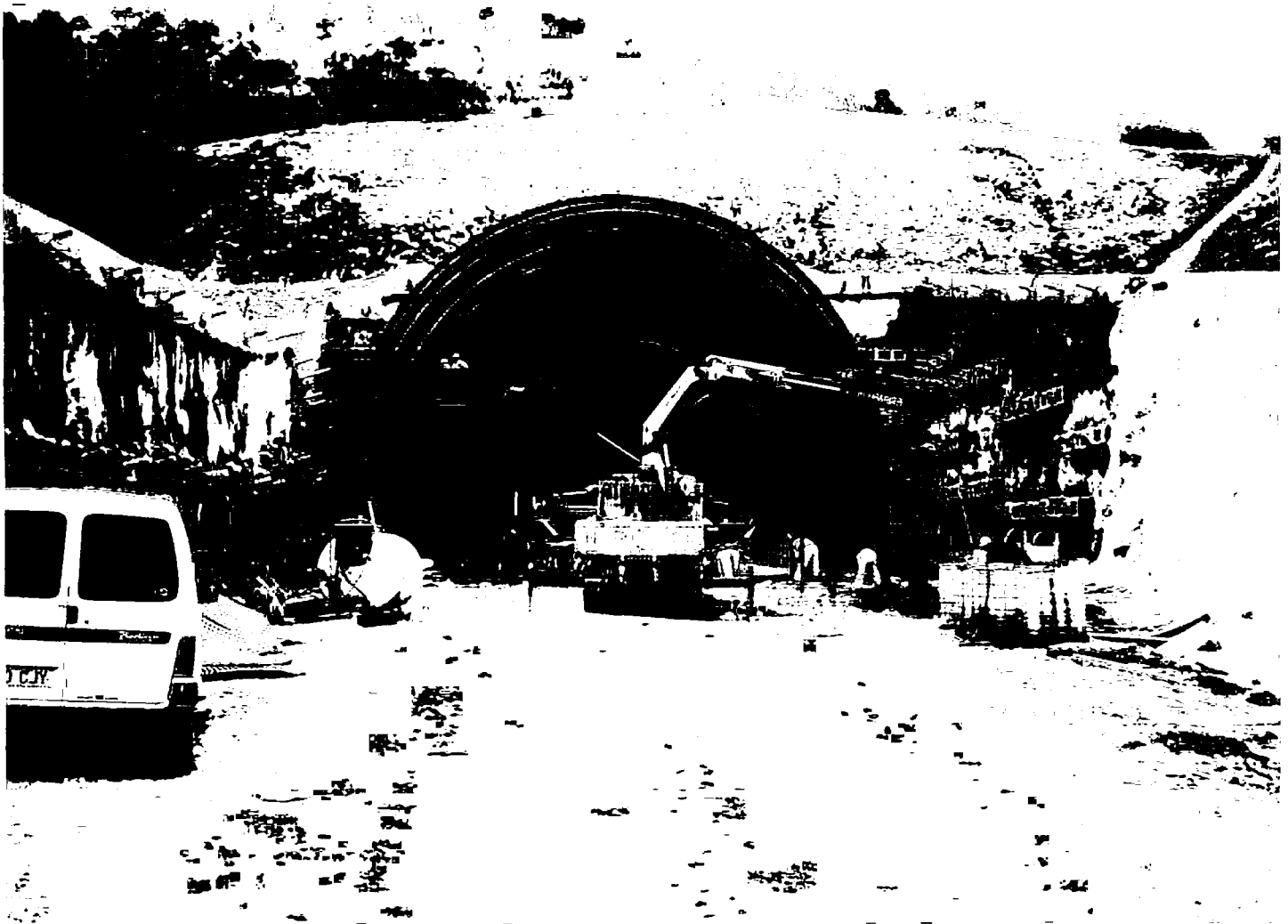
La primera fase de auscultación ha consistido en la instalación de secciones de convergencia para registrar las posibles deformaciones que se generan en la excavación. Estas secciones constan de cinco anclajes, uno si-

Tabla 4. Sostenimiento del Túnel de Álora.

Tipo	Bulones D=25 mm	Espesor de H.P. (cm)	Refuerzo	Cerchas	Otros
III	Malla 1.5x1 L = 3m	20-25	Fibras 45 kg/m ³	—	Sellado ocasional del frente y contrabóveda
IV	Malla 1.5x1 L = 3m	30	Fibras 45 kg/m ³	TH-29	Sellado del frente y contrabóveda
V		35	Fibras 45 kg/m ³	HEB-160	Machón central, sellado del frente y contrabóveda
Boq. Entrada		30	Fibras 45 kg/m ³	HEB-160	Paraguas pesado y contrabóveda
Boq. Salida		35-40	Fibras 45 kg/m ³	HEB-160	Paraguas pesado y contrabóveda

Tabla 5. Sostenimiento del Túnel del Espartal.

Tipo	Bulones D=25 mm	Espesor de H.P. (cm)	Refuerzo	Cerchas	Otros
III	Malla 1.5x1 L = 3m	20-25	Fibras 45 kg/m ³	—	Sellado ocasional del frente y contrabóveda
IV	Malla 1.5x1.0 L = 3m	30	Fibras 45 kg/m ³	TH-29	Sellado del frente y contrabóveda
V		35	Fibras 45 kg/m ³	HEB-160	Machón central, sellado de frente y contrabóveda
Boq. Entrada		35-40	Fibras 45 kg/m ³	HEB-160	Paraguas pesado y contrabóveda
Boq. Salida		70	Fibras 45 kg/m ³	HEB-160	Paraguas pesado y contrabóveda



Tunel de Álor.



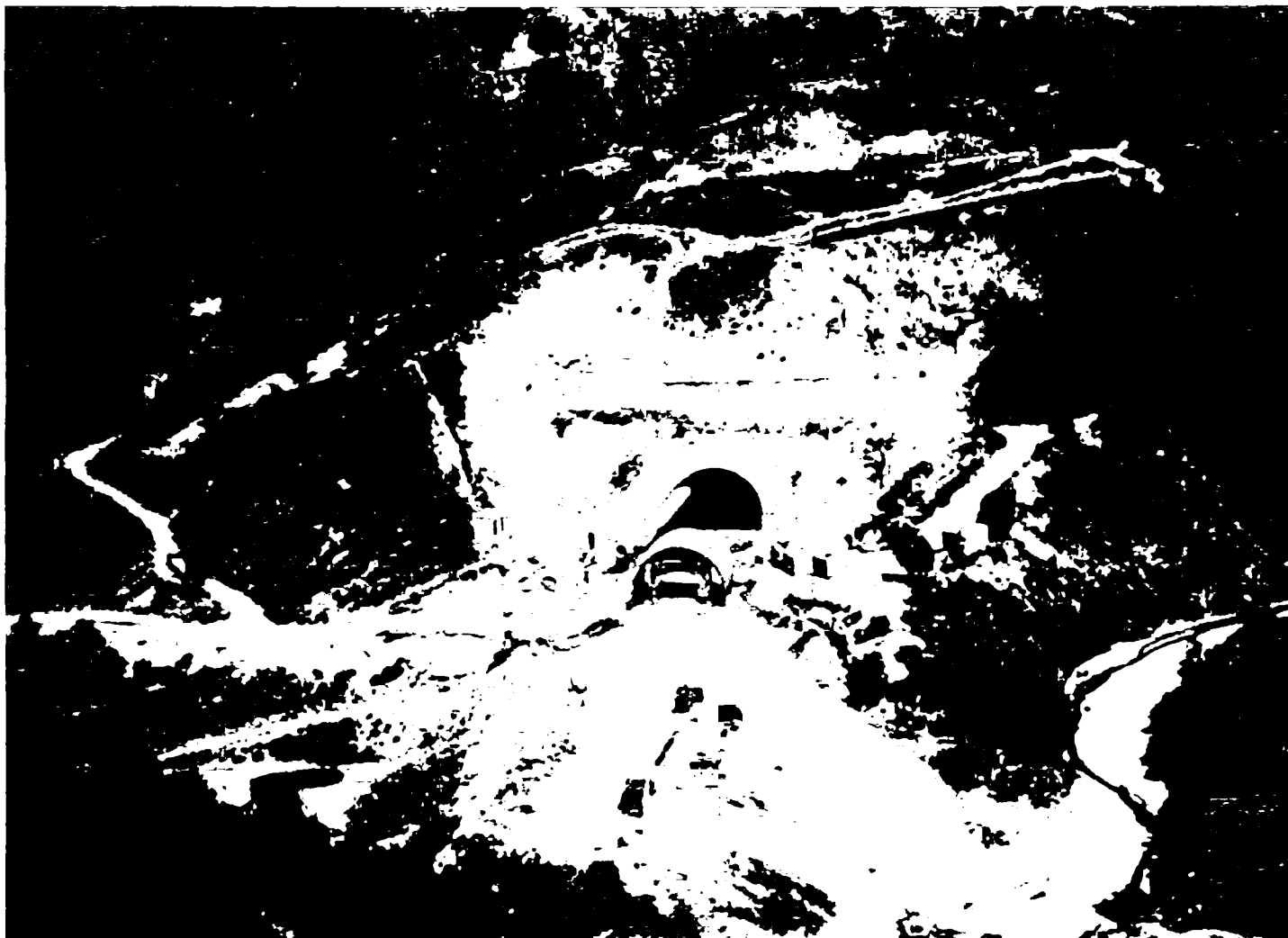
tuado en la clave, dos entre los hastiales en la fase de avance y los otros dos entre los hastiales en la fase de destroza.

Las secciones de auscultación instaladas están espaciadas entre sí entorno a 15 m, si bien, en las zonas con una mayor problemática se ha acortado esta distancia, incrementándose el número de secciones. En ellas se han registrado de forma sistemática las deformaciones horizontales y diagonales relativas, mediante cinta extensométrica, y la deformación vertical absoluta, por medio de procesos de nivelación topográfica de precisión.

4.1.2. Destroza

El frente de destroza excavado tiene una altura de unos 5.5 m, resultando una sección final de excavación en torno a 90 m² en Álor y unos 65 m² en Espartal.

La destroza se ha ejecutado en dos mitades de forma asimétrica, para facilitar la entrada de maquinaria



Túnel de El Espartal

en el frente de destroza más avanzado y con los frentes de excavación desfasados unos 15 m. con el fin de que el sostenimiento siempre quede apoyado en uno de los hastiales y se garantice la estabilidad de la sección.

En función de la calidad de la roca atravesada la longitud de los pases de excavación en destroza ha oscilado entre 3 y 6 m.

Proceso de ejecución del sostenimiento tipo III:

- Excavación con voladura de un pase de aproximadamente 4 m.
- Proyección de la primera capa de gunita de sostenimiento.
- Instalación de bulones y perforación de la siguiente voladura.
- Proyección de la segunda capa de gunita de sostenimiento, hasta recubrir los bulones.

Proceso de ejecución de los sostenimientos tipos IV y V:

- Excavación con martillo picador o mixta, en función del tipo de terreno, con pases de 3 ó 4.5 m.
- Proyección de gunita de sellado.
- Instalación de dos a tres cerchas simultáneamente.
- Proyección de gunita de sostenimiento.
- Instalación de bulones (tipo IV).
- Proyección de la segunda capa de gunita de sostenimiento.

4.1.3. Contrabóveda

La intensa fectonización existente en el macizo rocoso y la presencia de agua en determinadas zonas del túnel, con tendencia a circular hacia áreas colindantes, podrían dar lugar a plastificaciones en el terreno bajo el apoyo de los hastiales. Para atajar este problema, se optó por la construcción de una contrabóveda en ambos



Túnel de El Espartal.

túneles. Las características de la misma varían en cada túnel, debido a la diferente sección de los mismos (Túnel de Álorá 110 m² y Túnel del Espartal 85 m²).

4.2. Fase de impermeabilización, y segunda fase de auscultación

La impermeabilización tiene por finalidad captar y conducir las filtraciones importantes hasta los conductos de drenaje, eliminar goteos difusos que deterioren los revestimientos y evitar la formación de agujas de hielo, peligrosas para la circulación, en los tramos próximos a los emboquilles.

La impermeabilización no es visible y está colocada entre el sostenimiento y el revestimiento definitivo. Termina en los muretes de pie del sostenimiento definitivo que soportan los conductos de drenaje laterales de la impermeabilización de 110 mm de diámetro. Llevan incorporadas las conexiones de estos tubos con el colector de 400 mm, a distancias regulares de 50 m coincidiendo con las arquetas de registro.

4.2.1. Segunda fase de Auscultación

La segunda fase de auscultación ha consistido en la instalación de secciones de instrumentación consistentes en extensómetros de varilla y células de presión total tangencial y radial. Se instalaron 4 de estas secciones en el Túnel de Álorá y 7 en el Túnel del Espartal.

Con estas secciones se determinaron los esfuerzos que ejerce el macizo rocoso sobre el sostenimiento y el revestimiento de los túneles.

4.3. Fase de revestimiento

El revestimiento adoptado consiste en hormigón en masa HM25, con un espesor mínimo de 30 cm. El hormigón apoya directamente sobre la impermeabilización, actuando como terminación definitiva de los túneles.

El encofrado utilizado consiste en un carro metálico de 12 m de longitud, con una estructura portante única. Se utilizan dos unidades idénticas.

El hormigonado se realiza en módulos de 12 m de longitud, solapando de 5 a 10 cm para la realización de curvas. Éstos apoyan sobre el módulo anterior, de manera que sólo se necesita un tape frontal en cada uno de los anillos hormigonados, a excepción del primero, que se precisan dos.

El carro se desliza por carriles y el encofrado y desencofrado se basa en un sistema hidráulico que actúa sobre los faldones situados a cada lado y sobre toda la estructura portante.

La función del revestimiento por un lado es estética y por otro evita posibles turbulencias de aire, generadas por la velocidad del tren con las irregularidades que tendría éste si no se revistiese.

Aunque no se le exigen funciones resistentes, el revestimiento aumenta el coeficiente de seguridad del conjunto de la sección.

El hormigonado se comenzó con el carro en el túnel de Álorá, desde la boca norte (B1) hacia la boca sur (B2), con un total de 71 puestas, comenzando el 27 de abril y finalizando el 18 de agosto de 2004. A diferencia del Túnel de Álorá, en el Túnel del Espartal se emplearon dos, uno por la boca norte y otro por la sur, con un total de 167 puestas entre los dos carros. En octubre de 2004 se comenzó a revestir por la boca sur y en noviembre del mismo año, con una diferencia de 20 puestas, se dio comienzo al revestimiento por la boca norte, finalizándose los trabajos el 26 de febrero de 2005. ♦

EQUIPO DE OBRA

Jefe de Grupo:	Gustavo Varela Sobrino
Jefe de Obra:	Pablo Mollá Ruiz
Jefes de Producción:	Manuel Saigado Rodríguez y Francisco San Juan Beneítez
Geólogo:	Matilde Perrierra Rey
Director de Obra:	Manuel Caro Sánchez

EMPRESAS SUBCONTRATISTAS

Pantallas de micropilotes y anclajes: SITE
Movimiento de tierras exterior: Percasa
Excavación en túnel: Hispana Suiza de Perfilados