

Los Túneles de Pajares

The Pajares Tunnels

Raúl Míguez Bailo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Gerente y Director de Obras. Túneles de Pajares. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). rmiguez@adif.es

Resumen: Los túneles de Pajares, que forman parte de una actuación de mayor ámbito denominada "Variante ferroviaria de Pajares", permitirán el paso a través de la Cordillera Cantábrica mediante dos túneles de base que van a constituir la infraestructura básica de la nueva Línea de Alta Velocidad León-Asturias. Este proyecto reducirá la longitud de recorrido existente en la actualidad de 83 a 50 kilómetros, pasando a disponer de doble vía en todo el trazado de la Variante, en lugar de la vía sencilla que existe actualmente. Los túneles de Pajares se componen de dos tubos paralelos, con una longitud de 24,9 kilómetros cada uno de ellos y un diámetro interior libre de 8,50 metros, diseñado para velocidades superiores a 250 km/h. La ejecución del túnel se ha dividido en 4 lotes, cuyas características principales se resumen en el presente artículo.

Palabras Clave: Pajares, Alta Velocidad, Túnel, Escudo, Hormigón de Alta Resistencia

Abstract: Pajares Tunnels form the basic infrastructure on the León-Asturias High Speed Railway Connection and it is a section of the "Variante de Pajares", a bigger project for taking this route under the major natural obstacle on the line: the Cantábrica mountain range. This project will reduce the length of the railway connection across the range from 83 to 50 km. Besides, it will allow having double track line instead the one of the current situation. Pajares Tunnel consists on two parallel single track tubes, with a length of 24.9 km and 8.50 m interior free diameter, in a circular section. It was designed to allow speeds over 250 km/h. Its construction has been divided in four contracts; Main characteristic of every one are shown in this report.

Keywords: Pajares, High Speed, Tunnel, Shield TBM, High Strength Concrete

1. Antecedentes

El 14 de agosto de 1884 quedaba concluida una de las obras de ingeniería más relevante e importante del siglo XIX en nuestro país: la construcción del tramo final del enlace ferroviario entre Asturias y la Meseta (tramo Busdongo – Puente de los Fierros). Desde entonces hasta la fecha de inicio de las obras de la nueva variante ferroviaria han transcurrido 120 años aproximadamente. Los trabajos de ejecución de la actual línea León-Oviedo, entre La Robla y Pola de Lena (ambas localidades quedarán enlazadas con la nueva variante ferroviaria de alta velocidad de Pajares), fueron finalizando de este modo:

- La Robla-La Pola de Gordón (8,10 km)
1 de agosto de 1868
- La Pola de Gordón-Busdongo (19,91 km)
23 de mayo de 1872
- Pola de Lena-Puente de los Fierros (12,20 km)
15 de mayo de 1881

1. Background

One of the most relevant and important engineering works to be carried out in 19th century Spain was completed on 14 August 1884 on the termination of the final section of the rail link between Asturias and the Meseta (section running from Busdongo to Puente de los Fierros) and it was necessary to wait a further 120 years before work began on the new railway link. The original work between La Robla and Pola de Lena (both towns now being linked up to the Pajares high speed line) on the current Leon-Oviedo line was completed as follows:

- La Robla - La Pola de Gordon (8.10 km)
1 August 1868
- La Pola de Gordon - Busdongo (19.91 km)
23 May 1872
- Pola de Lena – Puente de los Fierros (12.20 km)
15 May 1881

- Busdongo-Puente de los Fierros (42, 78 km)
14 de agosto de 1884

En la actualidad, el criterio de optimización de la inversión pública ha llevado a la conclusión de que la nueva LAV a Asturias debe comenzarse por el tramo con mayor plazo de ejecución y de mayor dificultad: los túneles de base entre La Pola de Gordón y Telleo (municipio de Lena). De esta forma se pretende concluir la ejecución de todos los tramos de plataforma de la nueva variante (los túneles de base y los accesos a los mismos desde La Robla y Pola de Lena) al mismo tiempo.

El viaje administrativo hacia los túneles de base de la cordillera Cantábrica se inicia el 4 de marzo de 1994, con la aprobación del Plan Director de Infraestructuras 1993-2007, en el que se incluye en su capítulo de actuaciones complementarias la mejora de la línea León-Gijón en su tramo La Robla-Pola de Lena (Variante de Pajares), emplazando el comienzo de los proyectos para este tramo a la finalización del eje Madrid-Valladolid.

El impulso definitivo para este proyecto llega en 1997, mediante la ley 47/1997, cuyo artículo único da a la Variante ferroviaria de Pajares “la mayor prioridad en su fecha de ejecución, configurando así el corredor Madrid-Oviedo como línea ferroviaria de velocidad alta”. Esta ley sienta las bases para el inicio de las fases de estudios necesarios de cara a la elaboración de un proyecto constructivo para la ejecución de la obra. Los sucesivos pasos seguidos desde aquel momento se resumen como sigue:

- Redacción del “Estudio Informativo del proyecto del nuevo acceso ferroviario a Asturias. Variante de Pajares”, convocado mediante concurso público el 5 de julio de 1997.
- Evaluación de Impacto Ambiental, remitida a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental el 13 de julio de 1998.
- Inicio del proceso de información oficial y pública, el 24 de febrero de 1999, tras la aprobación técnica del Estudio Informativo.
- Inicio de la campaña de estudios geotécnicos para analizar la viabilidad ambiental de la obra y ampliar el nivel de definición de los procesos constructivos: “Estudios geotécnicos de la Línea de Alta Velocidad León-Gijón. Variante ferroviaria de Pajares. Fase A: Túnel de Base”
- Encomienda de gestión a favor del Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF) mediante Resolución de la Secretaría de Estado de Infraestructuras de 8 de noviembre de 2001
- Declaración de Impacto Ambiental sobre el Estudio Informativo, emitida mediante resolución el 17 de mayo de 2002, una vez recogidas todas las alegaciones del

- Busdongo – Puente de los Fierros (42.78 km)
14 August 1884

Modern-day criteria to optimise public investment has led to the decision that the work on the new high speed line to Asturias should begin with the most complicated section and that requiring the longest construction period. This referring to the base tunnels between La Pola de Gordon and Telleo (in the Lena municipality). In this way it is intended that all the sections of the new line (base tunnels and approaches to the same from La Robla and Pola de Lena) will be completed at the same time.

The administrative footwork leading up to the project of the base tunnels in the Cantabrian Cordillera began on 4 March 1994 with the approval of the Infrastructure Administration Plan 1993-2007. The supplementary activities considered in this plan included improvements to the Leon-Gijon line on the section between La Robla – Pola de Lena (Pajares Line) with work being due to start once the Madrid – Valladolid connection had been completed.

The final impetus for this project came in 1997 with the passing of law 47/1997 which gave the Pajares railway tunnel “utmost priority with regards to construction date in order to establish the Madrid-Oviedo corridor as a high speed railway line”. This law established the procedure for the start of the study phases necessary to prepare the construction project for the work. The ensuing stages followed from this time on may be summarised as follows:

- *Drafting of the “Informative Study for the project of a new railway link to Asturias. Pajares Tunnel”, put out to public tender on 5 July 1997.*
- *Environmental Impact Assessment remitted to the Department of Environmental Assessment and Quality on 13 July 1998.*
- *Start of official and public information process on 24 February 1999, on the technical approval of the Informative Study.*
- *Start of geotechnical studies to assess the environmental viability of the works and to broaden the definition of construction procedures: “Geotechnical studies of the Gijon-Leon High-Speed Railway line. Pajares railway tunnel. Stage A: Base Tunnel”.*
- *Administration entrusted to the Railway Infrastructure Management (GIF) by Resolution of the Secretary of State for Infrastructures on 8 November 2001*
- *Environmental Impact Statement on the Informative Study, issued by resolution of 17 May 2002, once all claims had been received from the public information*

proceso de información pública. Dicha declaración establece la viabilidad ambiental del proyecto del Estudio Informativo (alternativa 2 con PAET en La Robla)

- Aprobación definitiva del Estudio Informativo, con fecha 19 de octubre de 2002, dando fin al trámite administrativo previsto en la Ley de Ordenación del Transporte Terrestre (LOTT) así como al proceso ambiental previo a la fase de Proyecto.
- Redacción del "PROYECTO BÁSICO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD LEÓN-ASTURIAS. TRAMO: TÚNELES DE PAJARES", adjudicado a la U.T.E. INECO-GEOCONSULT. Este proyecto desarrolla la denominada Alternativa 2, dividiendo la ejecución de los túneles en 4 partes o lotes, y recoge el condicionamiento de la Declaración de Impacto Ambiental. La Secretaría de Estado de Infraestructuras aprobó el proyecto mediante Resolución de fecha 29 de enero de 2003.
- Adjudicación de los contratos de PROYECTO Y OBRA DE PLATAFORMA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD LEÓN-ASTURIAS. TRAMO: TÚNELES DE PAJARES. LOTES 1, 2, 3 Y 4 a las siguientes empresas

- LOTE 1: U.T.E. FCC CONSTRUCCIÓN, SA Y NECSO ENTRECANALES CUBIERTAS, SA.
- LOTE 2: U.T.E. DRAGADOS OBRAS Y PROYECTOS, SA Y OBRAS SUBTERRÁNEAS, SA.
- LOTE 3: U.T.E. FERROVIAL, SACYR Y CAVOSA.
- LOTE 4: U.T.E. AZVI, CONSTRUCTORA HISPÁNICA, COPCISA Y FERNÁNDEZ CONSTRUCTORES.

- Redacción y aprobación de los Proyectos Constructivos de cada uno de los lotes en que se divide la obra. Las fechas de inicio de cada uno de ellos varían entre los meses de marzo y agosto de 2004.
- Con fecha 31 de diciembre de 2004, se produce la subrogación de todos los contratos del GIF en el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF).
- Con fecha 15 de julio de 2005 se aprueba el Plan Estratégico de Infraestructuras del Transporte, donde queda incluida la Variante ferroviaria de Pajares como nueva línea de altas prestaciones con tráfico mixto.

Los Túneles de Base se enmarcan dentro de una obra de mayor amplitud denominada Variante ferroviaria de Pajares, que discurre entre los municipios de La Robla y Pola de Lena y cuyo objeto principal es eliminar el punto singular que supone la actual rampa ferroviaria de Pajares. Tres son los principales condicionantes que se dan en dicho punto:

- El tramo actual entre La Robla y Pola de Lena tiene una longitud de 83 km, con 85 túneles ejecutados en el período 1868-1884 que suman 28 km de longitud.

process. The said statement considered the project established in the Informative Study to be environmentally viable (alternative 2 with passing and siding point at La Robla).

- Final approval of the Informative Study on 19 October 2002, which completed the administrative process established by the Land Transport Organization Act (LOTT) and the environmental procedure prior to the Design stage.
- Preparation of the "DRAFT PROJECT. HIGH SPEED RAIL LINE LEON-ASTURIAS. SECTION: PAJARES TUNNELS", awarded to the joint venture INECO-GEOCONSULT. This project covers the section established as "Alternative 2", with tunnel work being divided into 4 sections or contracts and includes the conditions established by the Environmental Impact Statement. The Secretary of State for Infrastructures approved the project by Resolution of 29 January 2003.
- Awarding of contracts for the PROJECT AND WORK OF THE LEON-ASTURIAS HIGH SPEED RAILWAY LINE. SECTION: PAJARES TUNNELS. CONTRACTS 1, 2, 3 & 4 to the following companies:

- CONTRACT 1: Joint Venture FCC CONSTRUCCIÓN, SA and NECSO ENTRECANALES CUBIERTAS, SA.
- CONTRACT 2: Joint Venture DRAGADOS OBRAS Y PROYECTOS, SA and OBRAS SUBTERRÁNEAS, SA.
- CONTRACT 3: Joint Venture FERROVIAL, SACYR and CAVOSA.
- CONTRACT 4: Joint Venture AZVI, CONSTRUCTORA HISPÁNICA, COPCISA and FERNÁNDEZ CONSTRUCTORES.

- Draft and approval of the Construction Projects of each of the contracts forming the work. The start dates for each contract ranged from March and April 2004.
- On 31 December all GIF contracts are taken over by the Railway Infrastructure Administration Board (ADIF).
- On 15 July 2005 the Strategic Plan for Transport Infrastructures is approved, including the Pajares tunnel bypass as a new high performance line with combined traffic.

The base tunnels are set within more wide-ranging works, referred to as the Pajares rail by-pass running between the towns of La Robla and Pobra de Lena and which primarily aim to eliminate the current railway line over the Pajares pass. The three main conditions regarding this section are as follows:

- The current track between La Robla and Pobra de Lena is 83 km long and has 85 tunnels built between 1868 and 1884 which extend over 28 km.

- Se trata de un tramo en vía única, con radios de 300 m y una velocidad comercial de 60 km/h.
- El mantenimiento de la vialidad invernal de este tramo, así como las obras de conservación necesarias en los túneles, suponen un volumen de inversión periódica muy importante.

El nuevo trazado, diseñado para velocidades superiores a los 250 km/h, es fundamental para la mejora de la conexión de Asturias con el centro de la Península y supondrá un gran ahorro en los tiempos de viaje, lo que previsiblemente hará más atractivo el transporte ferroviario frente al transporte por carretera.

2. Los proyectos constructivos de los túneles de Pajares

2.1. Esquema general de la solución constructiva

Frente a las soluciones más tradicionales manejadas hasta la fecha en los túneles en macizos rocosos españoles, los túneles de base de Pajares se aproximan a la filosofía de los túneles de base alpinos, puesto que constituyen un auténtico entramado de obras subterráneas además de los 2 tubos principales que configurarán el trazado de la Línea de Alta Velocidad a Asturias.

En figura 2 se muestra la configuración definida en los Túneles de Base.

Como puede observarse en la figura 4, se realizarán 6 ataques para la ejecución de los túneles, 5 de ellos mediante el empleo de equipos de excavación mecanizada a sección completa (T.B.M. en sus siglas en inglés, "Tunnel Boring Machine") cuyas características se detallarán en uno de los apartados posteriores, y el último, mediante el empleo de los denominados métodos convencionales.

Atendiendo a la división realizada por lotes, el reparto de las obras a ejecutar queda como sigue:

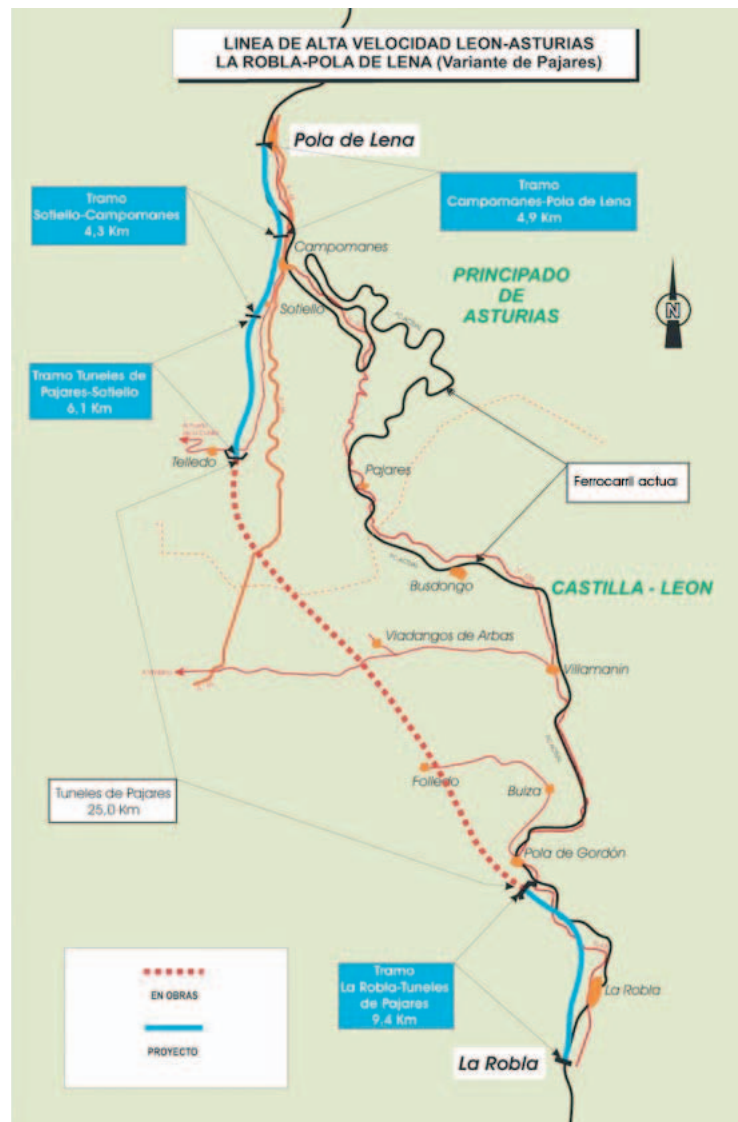


Fig. 1. Mapa de situación de los túneles de Pajares/Location of Pajares tunnels.

- The section is single track with radii of 300 m and commercial speeds of 60 kph.
- The maintenance of this section of the track over the winter together with the tunnel maintenance work requires very high funding.

The new railway alignment, designed for speeds of 250 kph is essential for improved connections between Asturias and the rest of Spain and will lead to huge savings in travel times. This will presumably make rail transport more attractive than traditional road transport.

2. The Construction Projects of the Pajares Tunnels

2.1. General construction arrangement

As opposed to the more traditional solutions employed in tunnels through rock massifs in Spain, the Pajares base tunnels come closer to the philosophy used in Alpine

tunnels and the Asturias high speed link up forms a complete network of underground works in addition to the 2 main tubes.

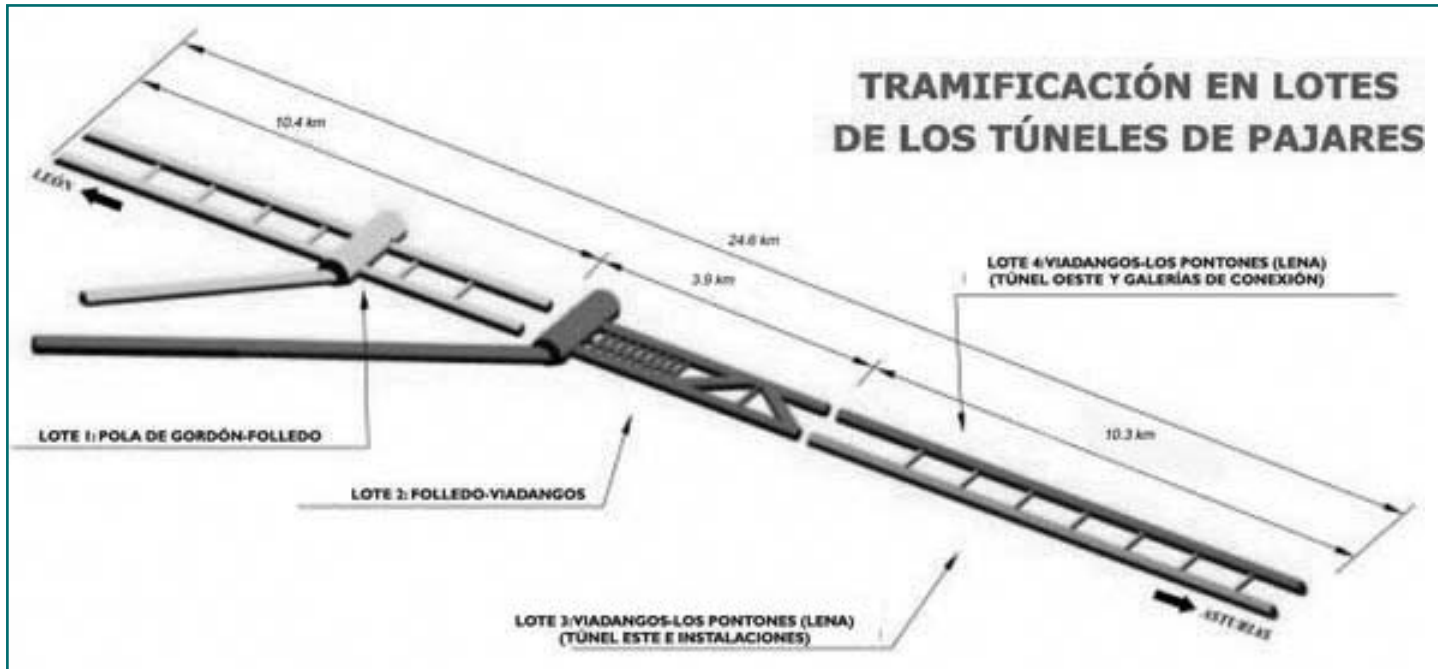
The following diagram shows the established layout for the base tunnels:

From the figure 2 it may be seen that 6 tunnel drives are required, 5 of which being bored by TBM as referred to later on, and the final approach being made by conventional methods.

The work to be carried out in each contract is as follows:

CONTRACT 1

The section running 10.7 km from the south portal of the main tunnels, located in the vicinity of La Pola de Gordon (province of Leon), to a point set in the



LOTE 1

Ejecutará el tramo comprendido entre la boca sur de los túneles principales, ubicada en las proximidades de La Pola de Gordón (León), y el punto kilométrico 10,7 de los mismos, ubicado en la vertical de la Sierra del Rozo, elevación montañosa que separa los valles de Folledo y Viadangos (provincia de León).

Para conseguir lo anterior, se ha dividido este tramo en 2 zonas, atendiendo a los métodos constructivos a utilizar en las mismas. De esta forma, los primeros 7,7 kilómetros de los túneles se ejecutarán con dos tuneladoras que partirán desde la boca sur, mientras que los 2,7 kilómetros finales se ejecutarán mediante el empleo de métodos convencionales. Para asegurar el cumplimiento de los plazos establecidos, se ejecuta una galería de acceso al tramo de métodos convencionales de 2 kilómetros de longitud, que parte desde la localidad de Folledo (León) y, con una pendiente del 13 %, entronca con el trazado de los tubos principales en el punto kilométrico 7,7 de estos últimos. Esta galería comenzó a ejecutarse al poco tiempo de iniciarse la obra, de forma que mientras se están fabricando las tuneladoras se va avanzando hacia el entronque con los tubos principales. En la actualidad se han completado 1.850 metros de dicha galería. En el entronque de la galería con los tubos principales, se ejecutará una caverna destinada a posibilitar el desmontaje de las 2 tuneladoras que llegarán hasta dicho punto desde la boca sur (La Pola de Gordón).

Por último, se ejecutarán galerías transversales de conexión entre los túneles principales cada 400 metros. Es-

Fig. 2. División en lotes de los Túneles de Pajares/Contract sub-division of the Pajares tunnels.

vertical of the Sierra del Rozo, a mountain range dividing the Folledo and Viadangos valleys (province of León).

The work requires the division of the section into 2 zones in accordance with the construction methods employed. The first 7.7 kilometres of the tunnels are to be bored with two TBMs which will perforate from the south portal, while the final 2.7 kilometres will be built by "conventional method". In order to meet the established schedules, a 2 km access adit is to be built by conventional means from Folledo (León) at a gradient of 13% which will join the main tubes at the 7.7 km point. Work on this access adit was to begin shortly after the starting of work and while the TBMs were being assembled and, in this way, advance until meeting the main tubes. 1,850 metre of the access adit have been constructed to date. A cavern will be built at the junction between the adit and the main tunnels in order to allow the disassembly of the 2 TBMs which will reach this point from the south portal (La Pola de Gordon).

41.50 m long cross connections are to be built every 400 metres between the main tunnels. Plant rooms will be built in every second connection gallery to hold operational and maintenance equipment as well as safety systems for the tunnels.

CONTRACT 2

The central section of the base tunnels formed by two 3.9 km tubes which will both be driven by the

tas galerías tendrán una longitud de 41,50 metros cada una de ellas. En una de cada dos galerías se ejecutará un cuarto técnico destinado a albergar los equipamientos para la explotación, mantenimiento y sistemas de seguridad de los túneles.

LOTE 2

Ejecutará el tramo central de los Túneles de Base, es decir, de los dos tubos de la Línea de Alta Velocidad, con una longitud de 3,9 kilómetros cada uno de ellos. Ambos túneles se ejecutarán con la misma tuneladora. Para acceder al tramo central, la tuneladora ejecutará una galería de 5,5 kilómetros de longitud con un 6,13 % de pendiente. El emboquille de esta galería se encuentra ubicado en la localidad de Buiza, muy próximo al punto de arranque de la galería por métodos convencionales que ejecuta el Lote 1.

Debido a que es la misma máquina la que horadará los dos tubos paralelos, será necesario realizar dos montajes completos de la tuneladora en la obra. El primero de ellos se realizará en el exterior, en el emboquille de ataque de la galería. La máquina ejecutará la galería y el primero de los túneles, y en el final de dicho túnel se procederá al primer desmontaje, realizando una sobre-excavación y dejando perdido el escudo de protección. Simultáneamente a la excavación de ese primer túnel se estará ejecutando una gran caverna en la zona de entronque de la galería con los tubos principales, para que en su interior se pueda realizar el segundo montaje de la máquina de cara a la excavación del segundo tubo.

Además de todo lo anterior, se ejecutarán galerías transversales de conexión entre los túneles principales cada 400 metros, con sus correspondientes cuartos técnicos. Asimismo, se ejecutará un puesto de parada preferente adyacente a la caverna para el montaje de la tuneladora. Este puesto de parada preferente tendrá una longitud aproximada de 400 m, y constará de un tercer tubo situado entre los túneles principales, de menor sección que éstos, y conectado con los mismos a través de galerías transversales cada 25 metros (ver figura 3). También estará conectado con la galería de acceso, lo que permitiría, en caso de necesidad, la evacuación a través de dicha galería de todos los pasajeros de una composición que hubiese sido detenida en dicho punto por cualquier motivo.

A todo este complejo de obras subterráneas que debe ejecutar el lote 2 se deben añadir dos puestos internos de banalización, que conectarán los tubos principales entre sí permitiendo el paso de trenes de un túnel a otro con unas velocidades por desviada de 100 km/h y 70 km/h (primer y segundo puesto de banalización). La longitud aproximada de dichas conexiones es de 300 m cada una de ellas.

same TBM. This central section will be approached by a 5.5 km long access adit with a 6.13% gradient. The entrance of this access tunnel is located at Buiza very close to the starting point of the gallery built by conventional means under contract 1.

As the same TBM will bore both parallel tubes it will be necessary to completely assemble the TBM on two occasions. The first assembly will be made outside the tunnel at the portal of the access adit. The TBM will bore the access adit and the first of the tunnels and will then be disassembled at the end of the same, by making an additional drive and leaving the protection shield. While this first tunnel is being drilled, a large cavern will be built at the junction between the access adit and the main tubes to allow the second assembly of the TBM prior to the boring of the second tunnel.

Prior to this, cross connecting galleries will be built between the tunnels every 400 metres with their corresponding maintenance and equipment rooms. A preferential stop area will also be built next to the cavern to allow the assembly of the TBM. This preferential stop area will be approximately 400 m long and will form a third, though smaller diameter, tube set within the main tunnels and connected to the same by a network of cross galleries set every 25 metres (see fig. 3). This will also connect with the access tunnel thereby enabling the ready evacuation of passengers out of the tunnel in the case of emergency and when a train has stopped at this point for any reason.

In addition to all these underground works forming contract 2 it is necessary to add two reversible working areas which will connect with the main tubes and allow trains to be directed from one tunnel to its twin at diversion speeds of 100 kph and 70 kph (first and second reversible working area respectively). These connections will be approximately 300 m long.

CONTRACT 3

Contract 3 includes the 10.4 km driving of the east tunnel section between Viadongos and Telledo, with the portal set on the Asturian side of the cordillera. A single shield TBM will be employed throughout almost the entire length with the exception of the first few metres of the tunnel which will be bored by conventional means.

This contract also includes the movement of all excavated material and the portal preparation work as well as a platform for the assembly of the two TBMs working from this portal (contracts 3 and

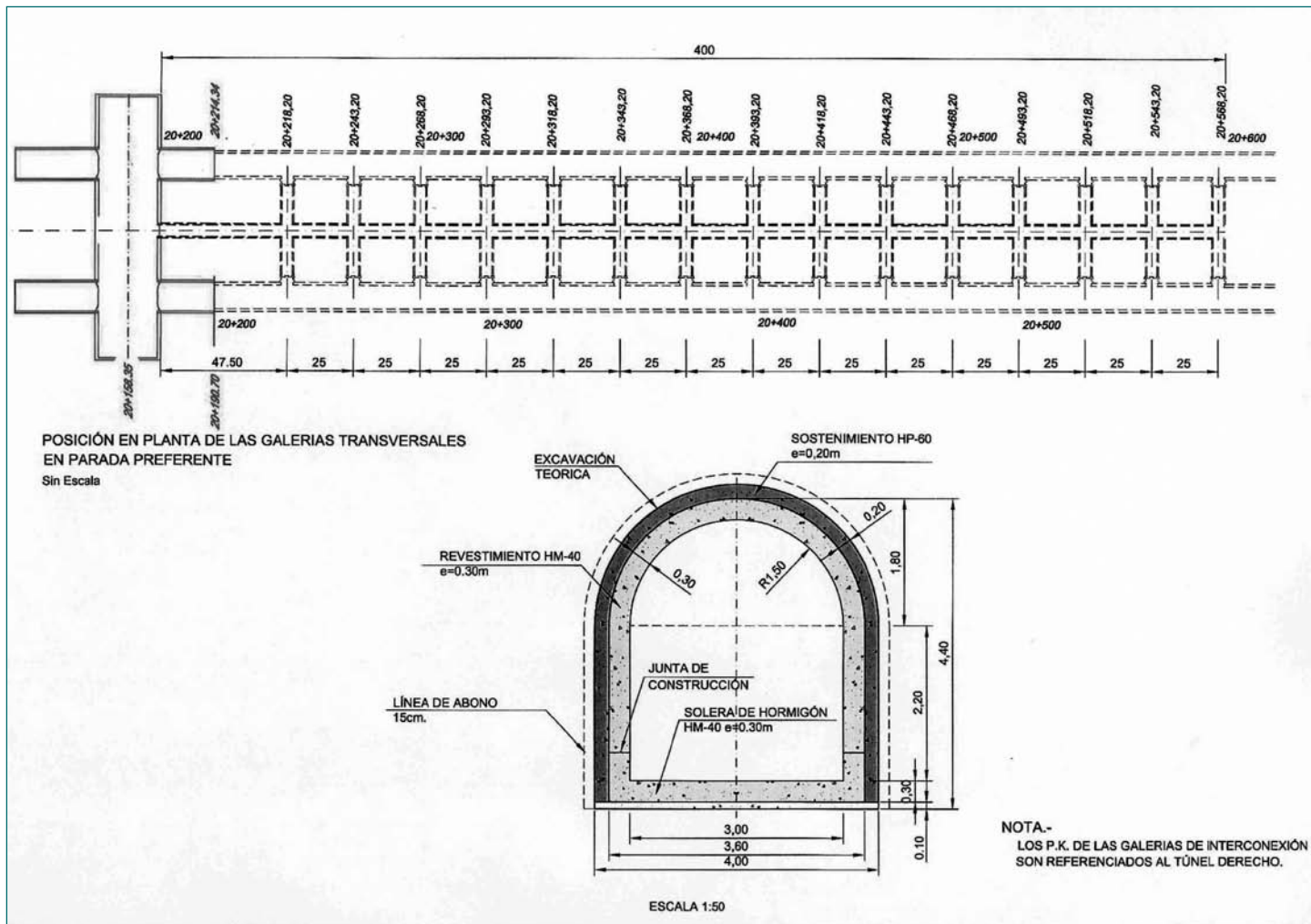


Fig. 3. Plano de planta de la parada preferente/Plan and section of the preferential stop.

LOTE 3

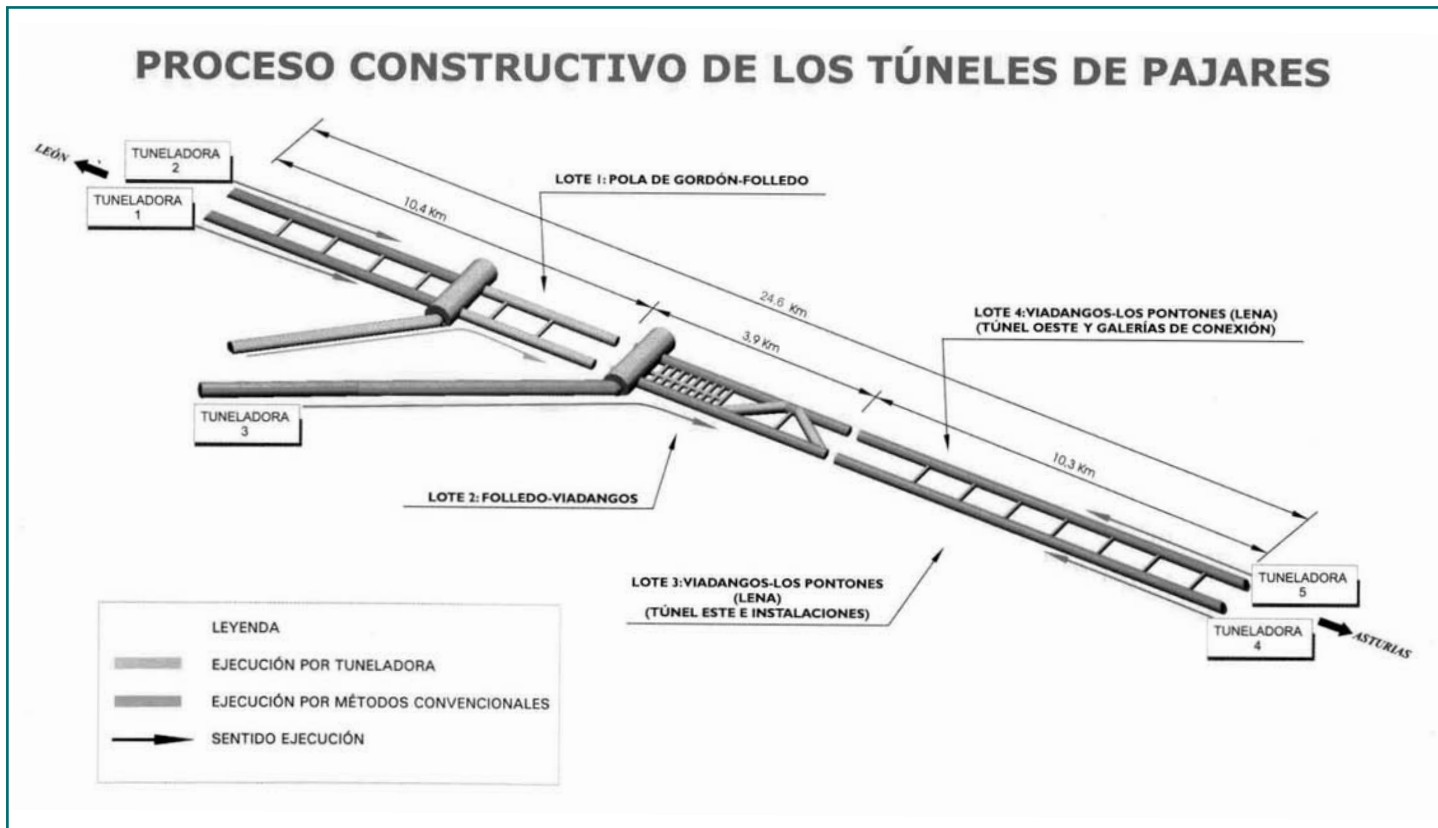
El lote 3 está encargado de ejecutar uno de los tubos (tubo Este) del tramo entre Viadangos y Telledo, de 10,4 km de longitud, y cuyo emboquille se sitúa en la vertiente asturiana de la cordillera. Se empleará a tal fin una tuneladora simple escudo que ejecutará la práctica totalidad de la longitud, excepción hecha de los primeros metros de excavación en los que se emplearán métodos convencionales.

Este lote debe ejecutar también todo el movimiento de tierras de la excavación y de los trabajos de acondicionamiento del emboquille, así como la plataforma de obra donde se montarán las dos tuneladoras que parten desde esta boca (lotes 3 y 4). Asimismo, debe montar la cinta de extracción que llevará el material de excavación desde la boca de los túneles hasta el depósito controlado de residuos inertes de La Cortina, ubicado al pie de la autopista de peaje del Huerna. La existencia de esta cinta está motivada por el condicionado de la Declaración de Impacto

4). A conveyor belt will also be assembled to carry the excavated material from the portal to the La Cortina dump site set near the Huerna Toll Motorway. This conveyor belt is required on account of the Environmental Impact Statement of the Informative Study which demanded this type of system to avoid the continuous passage of heavy vehicles through the Huerna Valley. This contract also includes the construction of two 40 m long viaducts over the Huerna River in the vicinity of the tunnel portal.

CONTRACT 4

This contract covers the 10.4 km west tunnel section between Viadangos and Telledo and set parallel to the tube built under contract 3. As indicated earlier, both contracts will be excavated by TBM from the same portal on the Asturian side.



Ambiental del Estudio Informativo, que exige este modo de transporte para evitar el tráfico continuo de vehículos pesados en el valle del Huerna. Por último señalar que, inmediatos al emboquille de los túneles, y pertenecientes también a la obra de este lote, se deberán ejecutar dos viaductos de 40 m de longitud sobre el río Huerna.

LOTE 4

Este lote ejecutará el tubo Oeste (10,4 km de longitud) del tramo comprendido entre Viadangos y Telledo, en paralelo al tubo del lote 3. Como se ha dicho anteriormente, ambos lotes serán excavados con tuneladora, partiendo del mismo emboquille en el lado asturiano.

Además de la ejecución del tubo Oeste, este lote debe realizar la excavación de las galerías transversales de conexión entre los tubos en este tramo. Un tercio de ellas será ejecutado simultáneamente a los trabajos de perforación de las tuneladoras, por cuestiones de seguridad, mientras que el resto será excavado una vez finalicen su trabajo las tuneladoras.

Geometría y Trazado de la solución

La solución geométrica de los túneles principales corresponde a una sección circular de 8,50 m de diámetro

Fig. 4. Esquema resumido del proceso constructivo/ Arrangement of construction process.

In addition to the boring of the west tube, this contract also includes the excavation of the cross passages between the two tubes in this section. For safety reasons, a third of these will be built at the same time as the boring of the tunnels while the remainder will be built once the main tunnelling is complete.

Tunnel geometry and alignment

The geometric form of the main tunnels corresponds to a circular section with an 8.50 m clear internal diameter equivalent to a free space of some 52 m², and complying with the aerodynamic and safety conditions required in high speed rail operation.

The railway alignment had been designed to allow for combined freight and passenger traffic, with a minimum speed of freight trains of 160 kph and taking advantage of the maximum speeds permitted by each curve to obtain speeds of up to 350 kph. The minimum curve of circular alignments is 3,550 m on the left track, in the area of transition of the centreline between both tracks at the stipulated 50 m for the interior of the massif.

The section arrangement is conditioned by the need to connect to the existing railway line at La

interior libre que equivale a una superficie libre de unos 52 m², cumpliendo con las condiciones aerodinámicas y de seguridad exigidas para la explotación ferroviaria de Líneas de Alta Velocidad.

El diseño del trazado ferroviario se ha realizado con el criterio de tráfico mixto de mercancías y pasajeros, considerando una velocidad mínima para los trenes de mercancías de 160 km/h, y aprovechando las velocidades máximas que permite cada curva con el objetivo de alcanzar velocidades de hasta 350 km/h. El radio mínimo de las alineaciones circulares es de 3.550 m en la vía izquierda, en la zona de transición del entre-eje de ambas vías a los 50 m estipulados para el interior del macizo.

El trazado en alzado está condicionado por la necesidad de entroncar con la línea ferroviaria existente en La Robla y en Pola de Lena, por la existencia de sendos Puestos de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes (cuya construcción está incluida en el resto de los tramos de la Variante de Pajares) en La Robla y en Campomanes y por la cota de resguardo de los viaductos sobre el río Huerna. De esta forma, resulta una pendiente longitudinal continua de 16,8 milésimas, con sentido descendente hacia Asturias, y unos acuerdos verticales en las bocas con parámetro mínimo (K_v) de 21.000 m.

2.2. Geología del macizo

La Cordillera Cantábrica en su forma actual es producto, principalmente, de la reactivación por compresión de fallas y zonas de desgarre de naturaleza hercínica. Esta compresión fue inducida por el levantamiento de las cadenas montañosas de los Pirineos y las Béticas durante la orogenia Alpina, dando lugar a la disposición actual y a una complejísima estructura geológica.

En la zona del corredor de los Túneles de Pajares se encuentran materiales que conforman una secuencia muy completa del Paleozoico. Los procesos hercínicos, que alcanzaron su mayor intensidad durante el Carbonífero Superior, modelaron dichos materiales hasta su posterior reactivación, en una dinámica orogénica de elevada complejidad fruto de la cual destacan las fuertes deformaciones de dichos materiales, y su correspondiente baja calidad geomecánica. En función del tipo de deformación sufrida, aparecen en la zona distintas unidades estructurales:

- Región de pliegues y mantos, caracterizada por la ausencia de metamorfismos y el desarrollo de cabalgamientos y sus pliegues asociados. Dentro de esta unidad, y en la zona del corredor, se atraviesan las unidades de Somiedo-Correcilla y Sobía-Bodón.
- Cuenca carbonífera central, sobre la que se emplazan las dos unidades citadas más arriba.

Robla and Pola de Lena, the location of the Passing and Siding Points (the construction of which being included in the rest of the sections of the Pajares bypass) at La Robla and Campomanes and by the clearance height of the viaducts over the River Huerna. This then gives a continuous longitudinal gradient of 16.8 thousandths, descending towards the Asturian side, and vertical arrangements at the portals with a minimum parameter (K_v) of 21,000 m.

2.2 Geology of the massif

The Cantabrian Cordillera is mainly the result of an upsurge by compression of faults and areas of rending of hercynian nature. This compression was caused by the raising of the Pyrenean and Betica mountain chains during the Alpine orogeny, giving rise to the current formation and very complex geological structure.

In the area of the Pajares tunnel corridor there are materials which form a very complete sequence of the Palaeozoic era, as shown in Fig. No. 5. The hercynian processes, which reached greater intensity during the Superior Carboniferous stage, moulded these materials until their subsequent reactivation, in a highly complex orogenic dynamic which gave rise to the strong deformation of these materials and their low ensuing geomechanical quality. Different structural units appear in the area in accordance with the type of deformation:

- *Region of folds and beds, characterised by the absence of metamorphisms and the development of overthrust faults and their associated folds. Somiedo-Correcilla and Sobía-Bodon units cross this region and in the area of the corridor.*
- *Central carboniferous basin lying below the two units mentioned above.*

Specific points in the structural units

Three structures of note for the tunnel excavation works lie are set within the Sobía-Bodon unit:

- *Pando syncline (Viadangos-Telledo section). It expected that at least 6 large faults will have to be crossed, which demonstrate the high crustal instability of the area and which may reveal arenaceous and karstified areas in the*

Puntos singulares de las unidades estructurales

Dentro de la unidad de Sobía-Bodón se atraviesan 3 estructuras de interés para el desarrollo de los trabajos de ejecución de los túneles:

- Sinclinal del Pando (tramo Viadangos-Telleo); Se espera atravesar al menos 6 grandes fallas, que delatan el elevado tectonismo de la zona y que pueden presentar zonas arenizadas y carstificadas en el caso de los materiales calizos. Alguna de las fallas estaría encajada en formaciones cuarcíticas que podrían complicar el avance de la excavación dada su posible conexión hidráulica con los arroyos superficiales y la elevada pluviometría de la región.
- Antiforme de Cueto Negro (tramo Viadangos-Telleo); Se trata de una acumulación de láminas apiladas en forma de anticlinal. Su estructura interna es muy compleja, pues a la disposición antiformal se unen pliegues menores que alteran la normalidad de la secuencia de materiales. Problemas de índole medioambiental han dificultado hasta la fecha la ejecución de sondeos en la vertiente norte del anticlinal, por lo que se conocen con mayor detalle los materiales paleozoicos del núcleo y de la vertiente Sur. Está previsto atravesar del orden de 20 cabalgamientos, lo que puede dar una idea del nivel de tectonización y deformación de los materiales de esta estructura.
- Manto de Bodón (acumulación de materiales en el valle de Viadangos); En esta zona destaca la potencia de la formación San Emiliano, de composición fundamentalmente pizarrosa. La calidad geomecánica de dichos materiales, conocida a través de las campañas de reconocimiento efectuadas, lleva a pensar que este es uno de los tramos que presentarán mayores dificultades para la excavación.

En la unidad de Somiedo-Correcilla se pueden destacar los siguientes puntos singulares:

- Cabalgamiento de la Sierra del Rozo (tramo Folledo-Viadangos); Parte de la escama de Aralla-Rozo se apoya sobre los materiales de San Emiliano de la anterior unidad, con nivel de despegue constituido por formaciones calizas que tienden a horizontalizarse en profundidad.
- Otros cabalgamientos: Pozo, Collado de Alcedo, Beberino y Bregón. Las formaciones y los contactos entre ellas son preferentemente subverticales en toda esta zona (tramo Pola de Gordón-Folledo), caracterizada por la intensa fracturación y la carstificación de algunas de las formaciones carbonatadas, lo que puede provocar problemas hidrogeológicos

limestone bearing materials. Some of the faults will be set within quartzite formations which may complicate the advance of the excavation on account of the possible connection to surface watercourses and the high rainfall in the area.

- *Cueto Negro Antiform (Viadangos-Telleo section). An accumulation of anticlinally packed sheets. The internal structure is very complex as in addition to the antiformal distribution there are smaller folds which affect the normality of the material sequence. Problems of an environmental nature have handicapped bore holing on the northern slope of the anticline to date and, as a result, the Palaeozoic materials of the core and the southern slopes are known in greater detail. It is expected that around 20 overthrusts will be encountered which give some idea of the level of instability and deformation of the materials in this structure.*
- *Bodon bed vein (accumulation of materials in the Viadongos valley). This area is particularly noted by the thickness of the San Emiliano formation which is primarily composed of shaley material. The geomechanical quality of these materials has been ascertained by various exploration surveys and imply that this will be one of the sections posing the most serious difficulties for the excavation.*

The Somiedo-Correcilla unit is noted by the following:

- *Sierra del Rozo overthrust (Folledo-Viadangos section). Part of the Aralla-Rozo deposit rests on the San Emiliano materials of the previous unit, with cleavage in the form of limestone formations which tend to flatten in depth.*
- *Additional overthrusts: Pozo, Collado de Alcedo, Beberino and Bregon. The formations and the abutments between the same tend to be subvertical throughout the area (Pola de Gordon-Folledo section) and characterized by intense fracturing and karstification of some of the carbonaceous formations which may lead to hydrogeological problems in the passage below the different watercourses in the fault areas.*

The central carboniferous basin which only penetrates the northernmost section of the tunnels, has a lutite-shale composition with certain sandstone levels of little density. Inspection surveys have not revealed any problems with regards to

en el paso bajo los distintos cauces fluviales encajados en las zonas de falla.

La cuenca carbonífera central, atravesada únicamente en el tramo más septentrional de los Túneles, presenta naturaleza lutítico-pizarrosa, con algunos niveles areniscosos de escasa entidad. No se han detectado en las campañas de reconocimiento ejecutadas problemas relacionados con la aparición de gases de naturaleza orgánica; no obstante, se trata de una línea en la que se continúa investigando para tener las mayores garantías posibles.

Además de estos materiales, aparecen en este tramo coluviones arcillosos con gran cantidad de materia orgánica, preferentemente en la zona del emboquille Norte.

Naturaleza litológica de las formaciones a atravesar

Se agrupan las formaciones (de manera simplificada) según su naturaleza litológica, ciñéndonos a los siguientes grupos:

- Formaciones pizarrosas y pizarrosas-areniscosas: San Emiliano, Oville, Formigoso, Huergas, La Vid, San Pedro, Ermita y Subhullero. Especialmente complicadas se presentan las tres primeras formaciones, debido a las altas coberturas del túnel, superiores a 800 metros en varios puntos del trazado, y al estado tensional del macizo en esas condiciones, que pueden provocar grandes deformaciones plásticas ("fluencia") durante la excavación (Ver fig. 5). La presencia de areniscas en la matriz pizarrosa de estas formaciones mejora claramente sus propiedades geomecánicas.
- Formaciones areniscosas y cuarcíticas: Herrería, Barrios, San Pedro, Oville y San Emiliano. El tectonismo y la microfracturación de la matriz rocosa en estas formaciones disminuyen su calidad mecánica y suponen puntos complicados (especialmente en el caso de las cuarcitas) de cara a posibles aportaciones de agua durante la excavación.
- Formaciones carbonatadas: Láncara, La Vid, Alba, Portilla, Santa Lucía, Barcaliente y Valdeteja. Se trata del grupo con mejores características geotécnicas de los terrenos atravesados. En la formación Valdeteja se han detectado indicios de carstificación de mayor importancia, lo que puede suponer problemas en la excavación por posibles irrupciones súbitas de bolsas de agua.
- Otras formaciones: Conglomerados, rocas volcánicas. Se trata de formaciones de aparición más esporádica, y en espesores reducidos.

the appearance of gases of organic nature though this is an area which will have to be under constant surveillance in order to offer the greatest possible guarantees.

In addition to these materials, this section also reveals clayey colluviums or accumulations with a large quantity of organic material and particularly in the area of the north portal.

Lithological nature of formations to be crossed

The formations are grouped (in a simplified manner) according to their lithological nature:

- *Shaley and shale-arenaceous formations: San Emiliano, Oville, Formigoso, Huergas, La Vid, San Pedro, Ermita and Subhullero. The first three formations are particularly complicated given the high depths of cover over the tunnel, reaching over 800 metres on some points of the route, and the stress state of the massif in these conditions, which may lead to large plastic deformations ("squeezing") during excavation (Fig. 5). The presence of sandstone in the shaley matrix of these formations clearly improves its geomechanical properties.*
- *Arenaceous and quartzite formations: Herrería, Barrios, San Pedro, Oville and San Emiliano. The tectonism and microfracturing of the rocky matrix of these formations reduces their mechanical quality and suggests possible complications (particularly in the case of the quartzites) in the form of possible entries of water during excavation.*
- *Carbonatite formations: Láncara, La Vid, Alba, Portilla, Santa Lucía, Barcaliente and Valdeteja. This group has the best geotechnical properties of the areas to be crossed. Indications of serious karstification have been noted in the Valdeteja formation which may lead to excavation problems on account of the sudden breakages of water pockets.*
- *Other formations: Conglomerates, volcanic rocks. Formations which appear sporadically and in smaller thicknesses.*

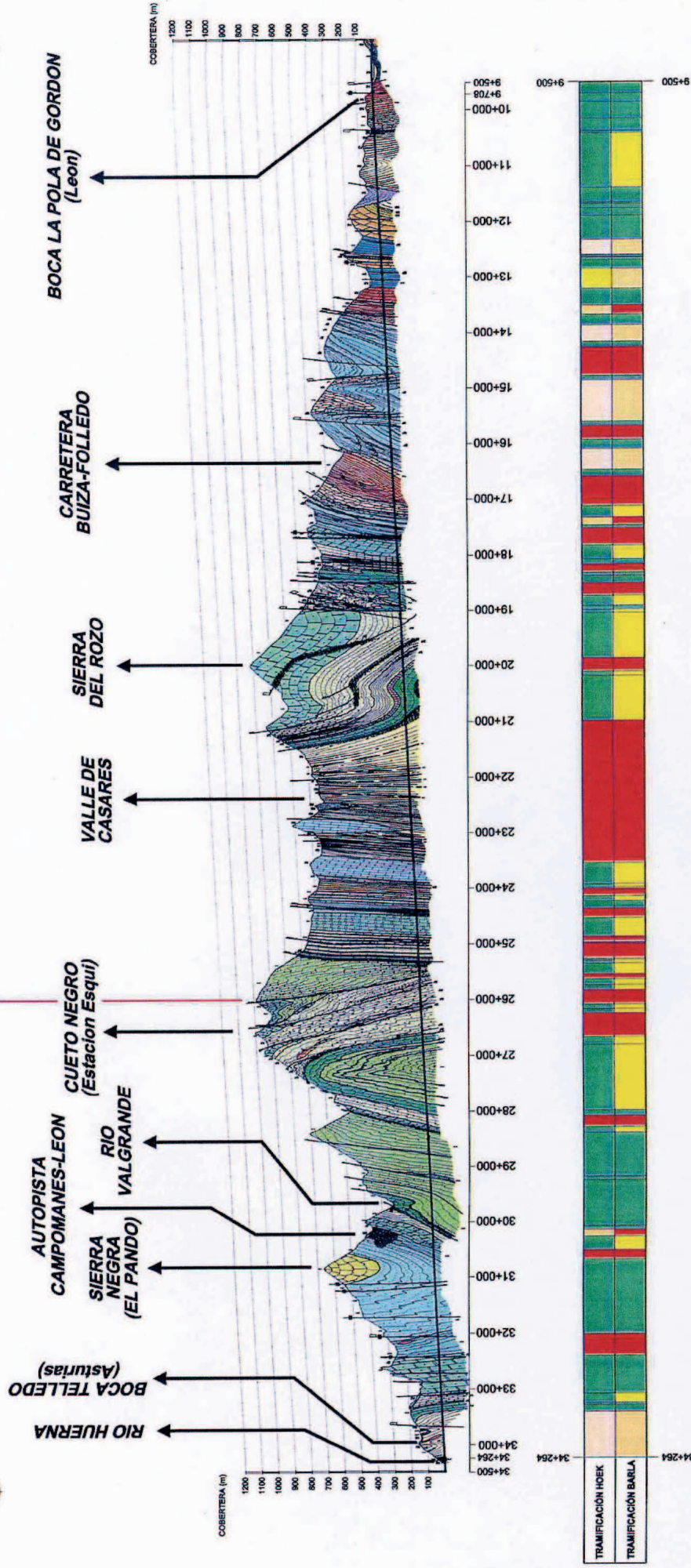
2.3. Structural dimensioning. High Strength Concretes

The diversity of formations to be crossed during the driving of the tunnels has made it necessary to design a wide range of structural elements to line the tunnels. The formations of shaley nature (essentially San Emiliano, Oville and Formigoso) are

TRAMIFICACIÓN DEL RIESGO DE FLUENCIA (SQUEEZING)

Escala: h= 1:75.000, v= 1:25.000

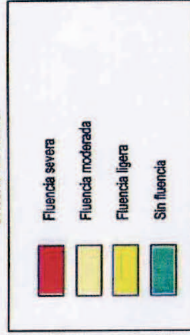
ASTURIAS LEON



Criterio de Hoek



Criterio de Barla



Tramificación Hoek	
Metros	%
6873	28%
422	1,7%
2661	10,4%
365	1,5%
14335	56,4
TOTAL	100,0%

Fig. 5. Perfil geológico de los túneles de Pajares. Riesgo de fluencia de acuerdo a los criterios de Barla y Hoek/Geological profile of the Pajares tunnel. Risk of squeezing in accordance with Barla and Hoek criteria.

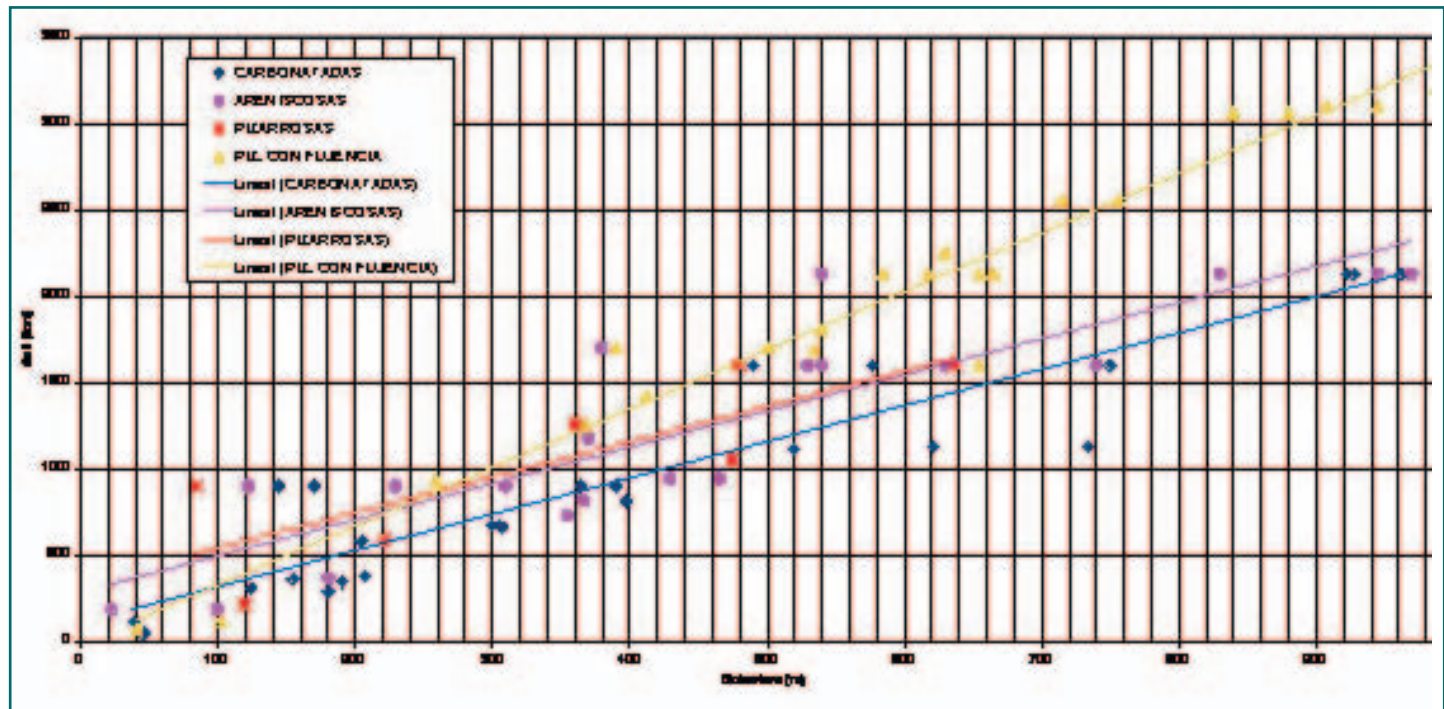


Fig. 6. Relación entre cobertera y axiles en los distintos tipos de formaciones/Ratio between cover and axial in different types of formation.

2.3. Dimensionamiento estructural. Hormigones de Alta Resistencia

La heterogeneidad de las formaciones a atravesar durante la ejecución de la obra ha obligado a diseñar una gama verdaderamente amplia de elementos estructurales para el revestimiento de los túneles. Las formaciones de naturaleza pizarrosa (fundamentalmente San Emiliano, Oville y Formigoso), susceptibles de sufrir fenómenos de plastificación al ser excavadas, en combinación con elevadas coberteras (la máxima montera, en la zona de Cueto Negro, es de aproximadamente 1.000 metros) han originado en los modelos de cálculo empleados unos esfuerzos muy importantes, que obligan a potentes soluciones constructivas. En la figura 6 se observa la influencia de la cobertera del macizo en relación a los esfuerzos que deben ser soportados, en función del tipo de formación considerada.

Al haber licitado las obras mediante el procedimiento de proyecto y obra, cada contratista adjudicatario ha definido, en base a sus experiencias y al conocimiento acumulado en sus servicios técnicos, una respuesta a estas exigencias estructurales.

De esta forma, el lote 1 ha optado por mantener la excavación por métodos convencionales que definía el proyecto básico de los túneles para las zonas de mayor montera de este lote, en las que aparecen las formaciones pizarrosas de Oville y San Emiliano. En el tramo de excavación con tuneladora, este lote manejará dovelas de

susceptible to plastification on excavation and this together with the deep cover (the maximum cap in the Cueto Negro area being approximately 1.000 metres) has revealed very important forces in the calculation models which require strong construction solutions. The figure 6 shows the influence of the cover of the massif in relation to the stresses to be withstood in accordance with the type of formation.

On tendering for the works on the basis of design and construction, each contractor has defined the response to these structural requirements in accordance with their accumulated experience and knowledge.

In this way, in contract 1 the contractors opted to retain the excavation by conventional methods defined in the draft project of the tunnels for the areas of greater cover in this contract and where the Oville and San Emiliano shaley formation appear. In the excavation section using TBM, this contract will employ 50 cm thick lining rings and concretes with characteristic strengths of 40, 50 and 60 Mpa.

In contract 2, the TBM boring the central section will be fitted to assemble tunnel rings of different thickness:

- 50 cm in concretes with characteristic strength of 40, 60, 75 and 85 Mpa

50 cm de espesor y hormigones con resistencia característica de 40, 50 y 60 Mpa.

El lote 2, por su parte, ha dotado a la TBM con la que ejecutará la excavación del tramo central de los túneles con la tecnología para montar dovelas de distinto espesor:

- 50 cms, con hormigones de resistencia característica 40, 60, 75 y 85 Mpa
- 60 cms, con hormigón de 85 Mpa de resistencia característica

Los lotes 3 y 4 han optado por un único espesor de dovelas para sus tuneladoras (50 cms), aumentando los valores de resistencia característica del hormigón en función de los esfuerzos previstos: 40, 60, 80 y 110 Mpa.

Como puede verse, la mayor parte de las dovelas se deberán fabricar con hormigones de más de 50 Mpa de resistencia característica, el valor que la Instrucción EHE establece como límite para considerar hormigones de alta resistencia. Incluso se llegan a valores superiores a los 100 Mpa, para los que la propia Instrucción prescribe un estudio específico de definición.

Por tanto, la fabricación de dovelas en las obras de los túneles de Pajares se convertirá también en un fantástico laboratorio para analizar las nuevas técnicas de elaboración de hormigones de alta resistencia, así como el control de calidad de los mismos. El ADIF cuenta con el apoyo y supervisión de los técnicos del Laboratorio de Materiales del CEDEX en esta complicada tarea.

Recordemos de forma esquemática las exigencias fundamentales que se prescriben para la fabricación de los hormigones de altas prestaciones:

- Los materiales que componen el hormigón deben ser de alta calidad, de forma que permitan conseguir unos valores elevados de resistencia. Las principales especificaciones serían las siguientes:

-Cementos; deben ser de categoría resistente elevada, 42.5 o 52.5, y es recomendable que tengan el mayor contenido de clínker posible si se va a emplear humo de sílice como adición. Las dosificaciones de cemento en los hormigones de alta resistencia suelen ser superiores a 400 kg/m³, por lo que la calidad del mismo necesariamente ha de ser alta. La matriz que engloba los áridos debe ser igual o más resistente que éstos.

-Áridos; se deben seleccionar rocas compactas y con baja porosidad, pues la resistencia a compresión de la roca debe ser elevada, superior a 100 Mpa. La densidad de la roca debe ser elevada y el coeficiente de desgaste Los Ángeles menor de 25.

- 60 cm in concretes with characteristic strength of 85 Mpa

Contracts 3 and 4 have opted to employ a single ring thickness for their TBMs (50 cm) by increasing the characteristic strength of the concrete in accordance with the predicted stresses: 40, 60, 80 and 110 Mpa.

It may then be seen that the majority of the tunnel linings will be built in concretes with characteristic strengths of over 50 Mpa, this being the limit value established by the Spanish Structural Concrete code for high strength concretes. Values of over 100 Mpa are also reached and here the Spanish Code stipulates that a specific defining study be made.

As such, the manufacture of the lining segments in the Pajares tunnel works also serves offers an excellent opportunity to analyze new techniques for the manufacture of high strength concretes and the quality control of the same. The Spanish Railway Infrastructure Administration Board (ADIF) will obtain the assistance and supervision of the Material Laboratory technicians from the Public Works Study and Research Centre (CEDEX) in this complicated task.

We shall make a short overview of the main requirements stipulated for the manufacture of high performance concrete:

- *The materials composing the concrete should be high quality to allow high strength values. The main specifications are as follows:*

-Cements: These should be high strength 42.5 or 52.5 and it is recommended that these have the highest possible clinker content when employing silica fume additives. The cement mix proportions in high strength concretes tend to be over 400 kg/m³, and the quality of the same has to be correspondingly high. The matrix holding the aggregate should be equal to or stronger than the same.

-Aggregates: Compact rock with low porosity should be selected as the compressive strength of the rock should be higher than 100 Mpa. Rock density should be equally high and the Los Angeles wear coefficient below 25.

-Water. Salt water should not be employed for the mixing of these concretes.

-Additives and admixtures. Superfluidifiers are necessary components to ensure the workability of these concretes due to their low



-Agua; no debe emplearse agua de mar para el amasado de estos hormigones.

-Aditivos y adiciones; los superfluidificantes son componentes necesarios para garantizar la trabajabilidad de estos hormigones, debido a la baja relación agua-cemento que presentan. Una de las adiciones más empleadas para conseguir resistencias elevadas es el humo de sílice, gracias a su finura y a las propiedades resistentes que aporta su alto contenido en sílice.

- La relación agua-cemento debe ser muy baja, inferior a 0,40, lo que obliga a un control exhaustivo de la demanda de agua de todos los demás componentes del hormigón.

3. Máquinas de excavación integral para roca dura

Cómo ya se ha mencionado anteriormente, se van a emplear cinco TBM para la ejecución de los túneles de Pajares. Gracias al impulso que ha recibido el uso de estas máquinas en los últimos 10 años, lo que supone una apuesta decidida por la seguridad en la fase de construcción de túneles, las TBM son ya unas máquinas cuyos fundamentos básicos son conocidos por todos los profesionales dedicados a la ejecución de obras subterráneas. Por este motivo, el presente apartado no ahondará en la explicación del funcionamiento de las TBM, ya detallado en artículos publicados en esta revista, y se centrará preferentemente en las singularidades que presentan estas máquinas en relación a otros escudos de roca dura que han sido empleados hasta la fecha en nuestro país.

Fig. 7. Tuneladoras del lote 1 de los túneles de Pajares. En primer lugar, simple escudo del fabricante NFM-Wirth. Al fondo, simple escudo de Herrenknecht/TBMs for contract 1 of the Pajares Tunnels. The TBM in the foreground is an NFM-Wirth single shield TBM, while that in the background is a Herrenknecht single shield TBM.

Fig. 8. Doble escudo del fabricante Herrenknecht. Lote 2/Herrenknecht double shield TBM. Contract 2.

water-cement ratio. One of the most widely employed additives to obtain high strength concrete is silica fume on account of its fine grain and the strength properties provided by its high silica content.

- *The water-cement ratio should be low and less than 0.40. This requires meticulous control of the water supply to all the other components of the concrete.*

3. Hard rock tunnel boring machines

Five TBMs will be employed on the Pajares tunnels. On account of the impetus given to these tunnel boring machines over the last 10 years, particularly in terms of the increased focus on safety during the construction stage of the tunnel, the TBMs are machines which are readily known by all professionals dealing with underground works. As such, the present section will not go into any great depth regarding the workings of these TBMs, as this has been described in detail in various other articles published in this journal, and will, instead, focus on the specific characteristics of these machines when compared with other hard rock shields employed in this country to date.

These special characteristics have arisen in response to the uncertainty regarding the behaviour of the rocky mass to be perforated by the machine.

It is first necessary to indicate the possible plastification of shaley formations. Geotechnical

Dichas singularidades surgen a consecuencia de las incertidumbres que genera el comportamiento del macizo rocoso que deben horadar las máquinas.

En primer lugar se debe señalar la posible plastificación de las formaciones pizarrosas. Los estudios geotécnicos revelan que no se puede descartar una deformación veloz de las facies más pizarrosas en las formaciones de esta naturaleza con mayores coberteras (San Emiliano, Formigoso y Oville principalmente). Esto supone que existe un riesgo de atrapamiento para las máquinas, pues si la velocidad de deformación del macizo en una zona excavada es superior a la velocidad de avance de la propia TBM, el terreno ejercerá una presión en la superficie del escudo que puede bloquear el desplazamiento de la máquina.

En segundo lugar figura la presencia de agua. En este sentido se puede hablar de dos posibles problemas: la aparición brusca y repentina de una masa de agua en el interior del macizo, ligada a las formaciones calcáreas (que en el avance de la excavación origina lo que comúnmente se denomina "taconazo"), y la fracturación del terreno, más común en formaciones cuarcíticas y en las zonas de baja cobertera. El principal riesgo de una red de fracturación muy intensa lo representa el paso de la excavación bajo los valles fluviales, pues puede darse la circunstancia de una posible conexión hidráulica entre el río y el túnel a través de la fracturación del macizo.

En tercer lugar es preciso hablar de las zonas de falla, que tantos problemas suelen dar a las máquinas de excavación de roca dura por la presencia de material milonitizado. Dicho material, completamente roto y descompuesto, producto de los esfuerzos tectónicos, puede tener en ocasiones potencias muy importantes. Si existe agua, debido a la intensa fracturación de las zonas de falla, el problema se agrava, pues el material forma una especie de masa plástica con la que no pueden trabajar los cortadores y que puede llegar a bloquear la rueda de corte. La heterogeneidad de formaciones y su estratificación subvertical a lo largo de todo el perfil longitudinal indica que se atravesarán una gran cantidad de zonas de contacto entre diferentes litologías y formaciones. La potencia de la caja de falla y el estado del material en esa zona serán los parámetros que gobernarán el comportamiento de la TBM en su interior.

Por último, hay que citar también la posible presencia de gases en formaciones carboníferas del interior del macizo. El corredor seleccionado en los estudios previos es una zona que separa las cuencas productivas de carbón en la cordillera cantábrica. Los datos acumulados hasta la fecha, resultantes de las distintas campañas de estudios geológico-geotécnicos, no han dado señales de la presencia de gases en ninguna de las formaciones a atravesar, pero no se debe descartar por completo su posible aparición.

studies show that the rapid deformation of the more shaley facies cannot be discarded in formations of this type with greater cover (mainly San Emiliano, Formigoso and Oville). This poses a risk of trapping the machine as the rate of deformation of the massif in an excavated area is higher than the speed of advance of the TBM and the ground may exert pressure on the surface of the shield which blocks the movement of the machine.

Secondly, it is necessary to refer to the presence of water and here there are two potential problems: the sudden and abrupt appearance of a mass of water inside the massif, associated with calcareous formations (which give rise to plugging during the advance of the excavation) and the fracturing of the ground, more commonly in quartzite formations and areas with little cover. The main risk of a very intense series of fractures occurs during excavation under fluvial valleys as water may penetrate from the watercourse into tunnel through these fractures.

Thirdly, we should refer to the fault areas which pose so many problems to hard rock boring machines due to the presence of mylonitized material. This material which is completely broken up and decomposed as a result of tectonic forces, may give rise to serious effects. When water is present, due to the intense fracturing of the fault area, the problem becomes more severe as the material takes on the form of a plastic mass which cannot be penetrated by the cutters and which may block the cutter head. The diversity of formations and their subvertical stratifications throughout the entire longitudinal profile indicate that the tunnel will pass through a large number of contact areas between different lithologies and formations. The potential of the fault and the state of the material in this area are the parameters governing the behaviour of the TBM within the same.

Finally, it is necessary to refer to the possible presence of gases in carboniferous formations within the massif. The corridor selected in the preliminary studies is set in an area between coal producing basins in the Cantabrian Cordillera. The information gained to date from several geological-geotechnical studies has not revealed the presence of gases in any of the formations to be crossed though the appearance of the same cannot be completely discarded.

Very strict basic parameters and technical specifications have been adopted in order to

Para afrontar con las mayores garantías posibles las singularidades descritas, se han adoptado las especificaciones técnicas y los parámetros básicos más exigentes. Para ello, se mantuvieron reuniones entre los técnicos de ADIF, los asesores especialistas en máquinas de excavación integral de ADIF, los técnicos de maquinaria de las empresas constructoras y los principales fabricantes de tuneladoras. Los fabricantes seleccionados por cada uno de los lotes han sido los siguientes:

LOTE 1, Tubo Oeste: Escudo simple de Herrenknecht.
LOTE 1, Tubo Este: Escudo simple de NFM-Wirth.
LOTE 2: Escudo telescópico (doble-escudo) de Herrenknecht.
LOTE 3: Escudo simple de NFM-Wirth.
LOTE 4: Escudo simple de MHI-Duro Felguera-Robbins.

Para responder a las singularidades antes comentadas, los criterios de diseño y fabricación de las TBM han incluido los siguientes puntos:

- Los escudos debían ser lo más cortos posibles, para disminuir la superficie susceptible de atrapamiento. La relación $L_{t\text{b}m}/\phi_{\text{ext } t\text{b}m}$ debe ser lo más próxima posible a la unidad (por la propia estabilidad de la máquina no es conveniente bajar de dicho límite).
- La fuerza de empuje total de las máquinas se ha establecido en 180.000 kN, en previsión de grandes pérdidas por rozamiento en los terrenos con posibilidad de sufrir grandes deformaciones. Este valor máximo, el más elevado nunca usado para máquinas de roca dura de 10 metros de diámetro, ha obligado a implantar un sistema hidráulico de alta presión independiente, que puede funcionar con presiones de hasta 550 bar.
- Ligado a los puntos anteriores (posibilidad de atrapamiento), se exigió a los fabricantes la posibilidad de desplazamiento independiente del eje de la rueda de corte, de forma que se pueda crear el máximo "gap" posible entre el terreno excavado y la parte exterior del escudo de la TBM. Esto se consigue desplazando la rueda de corte verticalmente en sucesivos pasos de sobreexcavación realizados con los cortadores perimetrales ("copy-cutters"). Hay que señalar que éste es otro de los puntos a mejorar en el diseño de estas máquinas, pues se trata de un proceso lento y poco automatizado.
- Equipos de reconocimiento del terreno. Uno de los grandes desafíos pendientes en el diseño de las tuneladoras es la dificultad de realizar tratamientos y reconocimientos del terreno desde el interior de la propia máquina. Para intentar superar los problemas que se conocen de otras obras similares, y dada la hetero-

overcome the possibilities indicated above with the greatest degree of confidence. This entailed meetings between ADIF technicians, specialist consultants in integral tunnelling machines at ADIF, machine technicians from the construction companies and the main TBM manufacturers. The manufacturers selected for each of the contracts were as follows:

*CONTRACT 1: West tube. Herrenknecht single shield
CONTRACT 1: East tube: NFM-Wirth single shield
CONTRACT 2: Herrenknecht telescopic shield (double-shield)
CONTRACT 3: NFM-Wirth single shield
CONTRACT 4: MHI-Duro-Felguera-Robbins single shield*

In response to the parameters indicated above, the design and manufacturing criteria of the TBMs include the following aspects:

- *Shield should be as short as possible to reduce possible blocking surface. The $L_{t\text{b}m}/\phi_{\text{ext } t\text{b}m}$ ratio should be as close as possible to the unit (it is unwise to go below this limit on account of machine stability).*
- *the total thrust of the machine has been established at 180,000 kN on account of large potential losses due to friction in those areas susceptible to large deformation. This maximum value, the highest ever employed in 10 metre diameter hard rock boring machines, has made it necessary to introduce an independent high pressure hydraulic system which may operate at pressures of up to 550 bar.*
- *In relation to the above (possibility of blocking) the manufacturers were requested to consider the possibility of independent movement of the cutter head axis in order to create the largest possible gap between the excavated ground and the outer part of the TBM shield. This is achieved by vertically moving the cutter head in successive overpasses made with the outer copy cutters. It is necessary to underline that this is another of the points requiring improvement in the design of these machines as the process is slow and not entirely automated.*
- *Ground monitoring equipment. One of the greatest challenges still facing the design of TBMs is the difficulty of treating and monitoring the excavation from inside the machine. In order to overcome the problems encountered in other similar works, and given the diversity of*

geneidad del terreno a atravesar en Pajares, se solicitó a los fabricantes un sistema independiente de sondas que permitan ejecutar perforaciones en el frente de excavación y en todo el perímetro del escudo con rapidez y fiabilidad. Así, se estableció la necesidad de que dichos equipos contasen con sistema de posicionamiento independiente del erector de dovelas, con lo que la sonda está preparada para actuar en cualquier momento. Del mismo modo, se ha exigido

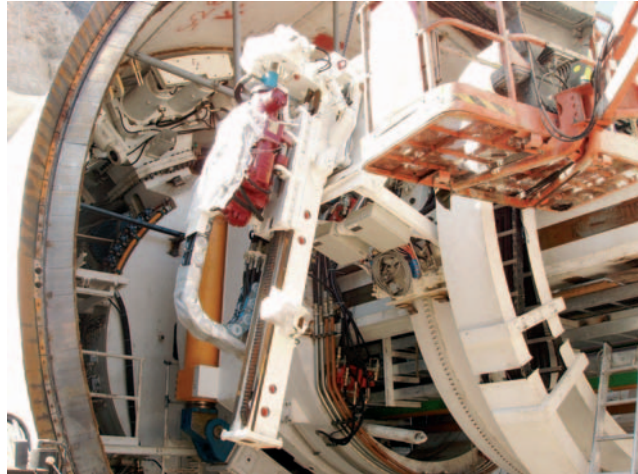


Fig. 9. Detalle de una de las sondas de perforación de la TBM NFM-Wirth del lote 1/Close-up of one of the perforation probes of the NFM-Wirth TBM on Contract 1.

que la perforadora también pudiese actuar en la parte inferior del escudo, por lo que el número de orificios en el perímetro del escudo es el máximo compatible con el posicionamiento de los cilindros de empuje y las zapatas de apoyo, según el diseño de cada fabricante.

- Equipos de bombeo y achique. En el caso de las 3 máquinas correspondientes a los lotes 1 y 2, la excavación se realizará en sentido descendente, con una pendiente de 16 milésimas en los túneles principales. Esto ha obligado a implantar unos equipos de bombeo de alta capacidad, con posibilidad de evacuar avenidas de más de 500 l/s en cada una de las máquinas.

- Ventilación y equipos antideflagrantes. Como se dijo con anterioridad, no se puede descartar por completo la aparición de gases durante el proceso de excavación. A partir de determinadas concentraciones estos gases son explosivos, por lo que se ha reforzado el sistema de ventilación en relación a los diseños más habituales, con el objetivo de eliminar las zonas de calma que puedan existir en los recodos que presentan estas máquinas y conseguir así una dilución de los gases en el aire lo más rápida posible. La práctica indica que se debe garantizar una velocidad mínima de retorno del aire de 0,5 m/s. Además se han instalado hasta 7 medidores de concentración en diversas partes del escudo y del back-up. Estos sensores interactúan con el sistema central de la tuneladora en dos fases que se rigen por dos niveles de concentración de gases:

-En el primero de ellos (señal de alerta) se detienen todos los sistemas de la máquina a excepción de los sistemas considerados básicos y que son antideflagrantes: sistema de ventilación, sistema de bombeo de agua, iluminación interior y sistemas de comunicación con el exterior.

ground to be crossed in Pajares, the manufacturers were requested to provide an independent probe system which allowed quick and reliable perforations at the excavation face and throughout the entire perimeter of the shield. It was also stipulated that the equipment be fitted with an independent positioning system of the lining ring erector and the probe, subsequently, had to be prepared to work at any

time. It was also required that the cutter act on the lower part of the shield and the number of openings on the perimeter of the shield is the maximum compatible with the positioning of the thrust cylinders and the support plates, according to each manufacturer's design.

- Pumping and drainage equipment. In the case of the 3 machines to be employed on contracts 1 and 2, the excavation will be carried out in a downward direction with a gradient of 16 thousandths in the main tunnels. This makes it necessary to employ high capacity pumping equipment with the possibility of pumping out over 500 l/s at each machine.

- Ventilation and explosionproof equipment. As indicated above, the likelihood of gas appearing during the excavation works cannot be discarded. When concentrations reach a certain level, these gases are explosive and it is, subsequently, necessary to improve the ventilation system over and above standard design requirements in order to eliminate the still areas which may exist in the bends and crannies of these machines and obtain the fastest possible dilution of gases in the air. Practice shows that a minimum air return speed of 0.5 m/s should be guaranteed. Up to seven concentration sensors have been installed in different parts of the shield and the back-up. These sensors interact with the central system of the TBM in two phases which are governed by two gas concentration levels:

- The first of these (alarm signal) stops all the machine systems with the exception of basic and explosionproof systems: ventilation system, water pumping system, internal lighting and communication systems with the outside.

- The second level shuts down all TBM systems and only leaves the primary ventilation fed from the outside.

-En el segundo nivel se detienen todos los sistemas de la tuneladora y solo queda activa la ventilación primaria con alimentación desde el exterior.

- Por último, también se solicitó que las máquinas tuviesen la posibilidad de realizar tratamientos en terrenos rotos y con cierta plasticidad a base de aditivos químicos introducidos a través de la rueda de corte. Se estableció que la junta giratoria estuviese provista de pasos suficientes para el aporte de agua y de otras líneas de aditivos, y se pidió que la cámara de desescombro estuviese provista de un cierre total que impida la entrada de fangos y material plástico al interior del escudo. Como resulta obvio, dicho cierre no es estanco.

4. Seguridad en la fase de construcción

La seguridad de todos los trabajadores es el factor más importante en la ejecución de unos túneles de esta envergadura. Desde este punto de vista, la ejecución con máquinas de excavación integral supone un gran avance, pues se eliminan muchos de los riesgos existentes en los trabajos en obras subterráneas. Sin embargo, persisten determinadas operaciones, tanto en los trabajos rutinarios (como puede ser el cambio de las herramientas de corte) como en trabajos excepcionales (labores de refuerzo y mantenimiento en la cabeza de la máquina) que están poco automatizadas y aún requieren gran protagonismo por parte de los trabajadores. Cualquier mejora en el diseño de los equipos de la máquina en esa línea redundará en la seguridad de los operarios.

La seguridad en la obra se articula a través de dos planes operativos:

- Plan de Seguridad y Salud, orientado hacia la protección del trabajador y la mejora del entorno laboral frente a los riesgos inherentes a su actividad. Se puede decir, aún a riesgo de simplificar, que se trata de la *protección en el día a día*.
- Plan de Autoprotección y Emergencia (PAE), orientado a las situaciones más comprometidas y que pueden afectar a un número elevado de trabajadores al mismo tiempo. En este caso hablaríamos de la *protección en situaciones singulares*.

Debido a la singularidad de la obra, al volumen de trabajadores implicados en determinados tajos y a la repercusión mediática que tiene todo accidente en una instalación subterránea, el PAE adquiere una gran importancia. Se debe señalar que existe una carencia importante de normativa en relación a este tipo de plan, pues práctica-



Fig. 10. Detalle de un difusor de aire comprimido para la remoción del aire en zonas de calma dentro del escudo/Close up of a compressed air diffuser for air conditioning in trapped areas within the shield.

- *It was finally requested that the machines be capable of treating broken ground with a certain degree of plasticity by means of chemical additives injected from the cutting head. It was requested that the rotating joint be fitted with sufficient channels to provide water and other lines of additives and that the mucking chamber be totally closable to prevent the entry of slurry and plastic material within the shield. This closure is, obviously, not watertight.*

4. Construction safety

Safety of workers is the most important factor during the construction of tunnels of this scale. In this regard, the building of machines with integral excavation provides far greater safety as it eliminates many of the inherent risks of underground building works. However, there are still a number of operations, whether routine (such as the change of cutting tools) or occasional (reinforcement and maintenance of the cutter head) which are not completely automated and still require a great deal of manual work. Any improvement in the design of TBMs in this area will serve to improve worker safety.

Safety at work is hinged on two operational plans:

- *Health and Safety Plan focused on the protection of the workers and improvement of the working environment in the face of the inherent risks posed by their activities. This, at the risk of over simplification, may be referred to as day to day protection.*
- *Self-protection and Emergency Plan geared towards more compromising situations which may affect a large*

mente se basan en la experiencia acumulada en este tipo de obras por parte de todos los técnicos implicados. Se echa en falta la consideración de la fase de construcción en los Manuales de Explotación de Túneles, ya que éstos hacen énfasis en la seguridad de los usuarios durante la fase de explotación de una infraestructura, sin hacer mención a las dificultades durante la ejecución de la misma (1). Hay que señalar que la elaboración de un buen PAE requiere la participación y colaboración de los medios externos que pueden llegar a intervenir en la obra (Protección Civil, cuerpo de bomberos, etc...), ya que existen determinadas situaciones que no podrán ser afrontadas con los medios existentes a pie de obra y será necesario que los medios externos implicados conozcan el entorno en el que se van a tener que desenvolver. En este sentido, en los Túneles de Pajares se mantiene una comunicación permanente con los departamentos de Protección Civil de Asturias y Castilla y León, que son los organismos encargados de centralizar el apoyo de los medios externos.

La práctica habitual en los trabajos subterráneos, así como la experiencia acumulada en las últimas obras con tuneladoras de roca dura en el ADIF (túneles de Guadarrama, Abdalajís y San Pedro) han motivado la implantación de sistemas de seguridad que se relacionan a continuación (sin que su relación sea exhaustiva):

- Control de accesos. Toda persona que acceda a los túneles debe quedar registrada, de forma que en todo momento se conozca quién está en el interior del túnel.
- La mejor medida de seguridad es garantizar una vía de escape ante un accidente, por lo que se ejecutará una de cada 3 galerías transversales de conexión entre tubos al mismo tiempo que se perforan los túneles principales.
- Cámaras de rescate en el back-up de las tuneladoras. Con capacidad para alojar a todo el personal que se encuentre en el entorno de la TBM y con equipos de oxígeno que garantizan una autonomía de varias horas. Además, disponen de equipos que transforman el aire comprimido que se puede suministrar desde el exterior en aire respirable.
- Sistemas de extinción de incendios en locomotoras. También se disponen de extintores en diversos puntos de la TBM y a lo largo de todo el túnel, así como tomas de agua para acoplar mangueras.
- Armarios con autorrescatadores. Se instalan a lo largo del túnel y en la TBM, y cada persona no integrante de los equipos de trabajo habituales dispondrá de

number of workers at the same time. In this case we are referring to protection against specific incidents.

Given the specific nature of the work, the number of workers involved in specific cuts and the bad press resulting from any underground accident, this Self-protection and Emergency plan takes on particular importance. It is of some note that there is a serious lack of standards regarding this type of plan as almost everything is based on the accumulated experience of the technicians involved in these types of work. The Tunnel Operation Manuals do not consider the construction stage and purely refer to the safety of users during the operation of the infrastructure and make no mention of the difficulties during the construction of the same (1). The preparation of a good Protection and Emergency Plan requires the participation and collaboration of outside resources which may be required to intervene (Civil Protection, Fire Brigade, etc...) as there are certain situations which cannot be tackled with the resources held on site. These external resources should be fully aware of the environment in which they are required to act. In this regard the Pajares Tunnel will remain in constant contact with the Civil Protection departments of Asturias and Castilla y Leon who shall, in turn, be responsible for centralizing the support of outside resources.

Common practice in underground works and the experience gained at ADIF in recent works employing hard rock tunnelling machines (the Guadarrama, Abdalajis and San Pedro tunnels) has led to the introduction of the following safety systems among others:

- *Access controls. All personnel entering the tunnels should be registered to ensure that all those within the same at any given time may be duly accounted for.*
- *The best safety measure is to guarantee an escape route in the event of an accident and, as such, one out of every three connection galleries between the two tubes will be built at the same time as the main tunnels are bored.*
- *Rescue cabins in the back-up of the TBMs. These cabins can hold all personnel working in the vicinity of the TBM and are equipped with oxygen supplies which will last several hours. The cabins are also fitted with equipment to transform compressed air supplied from outside the tunnel into breathable air.*
- *Fire extinguishing systems in locomotives. Extinguishers shall also be placed at several points on the TBM and throughout the tunnel as well as water hydrants for the attachment of hoses.*

(1) Existen compendios relacionados con la seguridad durante la ejecución de obras con TBM, como el volumen editado por la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes de la Comunidad de Madrid ("Recomendaciones para la redacción de los planes de seguridad y salud aplicables a los trabajos con máquinas tuneladoras").

(1) Safety guidelines for TBM work have been published, such as that issued by the Madrid Regional Department of Public Works, Town Planning and Transport ("Guidelines for the drafting of health and safety plans applicable to works with tunnel boring machines").

un autorrescatador cuando acceda al interior de alguno de los tubos.

- Sistemas de comunicación con el exterior, con terminales en diversos puntos de la TBM y a lo largo del túnel. Asimismo, se están estudiando diversos sistemas de comunicación por radio que garanticen una segunda línea de comunicación.

- Atención inmediata. Cada obra dispone de un equipo de enfermería y una unidad de transporte sanitario con soporte vital básico a pie de obra, para la utilización exclusiva en la misma.

- Un tema de interés particular en esta obra, en los lotes 1 y 2, es el sistema de frenado de las composiciones de aprovisionamiento de la TBM, dado que el acceso al interior se produce con pendientes descendentes que en el caso del lote 2 (galería de acceso) llega a valores del 6%. Se ha implantado en este caso un tándem de doble locomotora con dispositivo de frenado de disco automatizado. El autómata registra todos los parámetros del sistema de frenado (desgaste, temperatura del hidráulico, velocidad, aceleración,...) y actúa en consecuencia. Será fundamental en este punto el mantenimiento y la conservación continua y metódica de dichos sistemas.

- Existen más dispositivos de seguridad, habituales en la ejecución de obras subterráneas y que no se enumeran en el presente artículo.

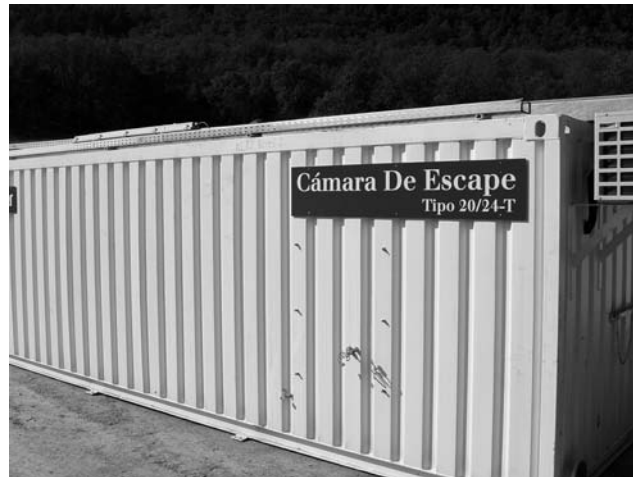


Fig. 11. Detalles de una de las cámaras de supervivencia /Details of one of the survival cabins.

- Self rescue units installed throughout the tunnel and in the TBM. Everyone who does not form part of the normal work teams shall be trained in self rescue prior to entering any part of the tubes.

- Communication systems with the outside with phones positioned at various points on the TBM and throughout the tunnel. The possibility of employing radio communication sets is also being studied in order to guarantee back-up communication.

- Immediate medical care. Each site is equipped with a medical team and a medical transport unit with essential aid equipment stationed on site for the exclusive use of the same.

- One aspect of particular interest in contract 1 and 2 of this work is the braking system on the supply services to the TBM as the access to the interior is set on downward slopes which in the case of contract 2 (access adit) reach up to 6%. In this latter case a double locomotive has been arranged in tandem with automatic disc braking. The device registers all parameters of the braking system (wear, hydraulic temperature, speed, acceleration,...) and acts accordingly. The continuous and methodical maintenance and conservation of these systems will be an essential factor.

- The tunnels will include a whole number of additional safety aspects which are commonly employed in underground works of this nature and which are not mentioned here for the sake of brevity.

5. Túneles y medio ambiente

Proyectar y ejecutar un túnel de base de 25 kilómetros de longitud supone, de partida, una clara apuesta por la minimización de la afección ambiental que puede provocar una línea ferroviaria de alta velocidad. Las

5. Tunnels and the environment

The minimization of any untoward environmental effects caused by a high-speed line must be taken into account prior to the

afecciones en este caso se reducen al entorno de los emboquilles, al material resultante de la excavación, y a la implantación de los sistemas auxiliares de la obra. Estos últimos son siempre instalaciones de carácter temporal que, una vez concluida la obra, desaparecen y permiten el regreso a la situación previa en el entorno. En cuanto al material resultante de la excavación debe señalarse que todo el material que sea aprovechable como árido en la ejecución de hormigones para las dovelas será reutilizado, aunque bien es cierto que la naturaleza pizarrosa y lutífica de gran parte de las formaciones a atravesar harán imposible que se alcance un porcentaje de reutilización elevado. El resto de material será llevado a depósitos controlados de residuos inertes, que serán restaurados a la conclusión de las obras.

No obstante todo lo anterior, y dada la riqueza medioambiental de la cordillera Cantábrica, la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) ha impuesto unos condicionantes bastante severos para las zonas exteriores de las obras, particularmente en la vertiente asturiana. Estos condicionantes vienen motivados por el hecho de que el emboquille Norte se sitúa en el valle del río Huerna, que es una zona declarada Lugar de Importancia Comunitaria (LIC de Peña Ubiña) y que conforma el límite de la zona de distribución oriental del oso pardo. Los principales condicionantes que quedaron establecidos en la DIA fueron los siguientes:

- El transporte de los materiales excedentes de la excavación de los lotes 3 y 4 se realizará por medio de cinta transportadora hasta el depósito de La Cortina. Se trata de una instalación de 1,5 kilómetros que parte de la plataforma del emboquille y llega a dicho depósito.
- Estudio de búsqueda y seguimiento de ejemplares de oso pardo. La DIA imponía un estudio de la presencia del oso pardo en las inmediaciones del emboquille a realizar con un mes de antelación al inicio de las obras. Una vez realizado dicho estudio, el ADIF decidió ampliar su alcance y se realizan, a través de la Fundación Oso Pardo, batidas de reconocimiento y análisis de la afección de las obras al hábitat natural del oso.
- Medidas compensatorias. Además de todo el condicionado establecido para la propia obra, la DIA establece como medidas compensatorias de la afección originada por la obra la restauración de un vertedero de tierras creado durante la construcción de la autopista del Huerna, ubicado en las proximidades del depósito de La Cortina, y la regeneración de la ribera del río Huerna en el entorno del emboquille de los túneles.

design and construction of a 25 kilometre long base tunnel. The affects in this case are restricted to the area around the portals, the excavated material and the positioning of ancillary site systems. These latter are always temporary installations which are removed at the end of the work and allow the location to be restored to its original condition. With regards to the excavated material, any material which may be employed as aggregate for the concreting of the lining rings will be reused, though the shaley and muddy nature of many of the formations to be bored will somewhat reduce the amount of reusable material. The rest of the excavated material will be taken to controlled inert waste deposits which will be regenerated once the work is completed.

However, in view of the environmental value of the Cantabrian Cordillera, the Environmental Impact Statement (EIS) has imposed fairly severe conditions on the external areas of the works and particularly on the Asturian side. These conditions are based on the fact that the north portal is set in the valley of the River Huerna, declared a Site of Community Interest (Peña Ubiña SCI), and set within the eastern boundary of the habitat of brown bear. The main conditions imposed by the EIS were as follows:

- *The transport of surplus excavation materials on contracts 3 and 4 shall be carried out by conveyor belt to the La Cortina dump. This requires a 12.5 km installation running from the portal platform to the dump site.*
- *Search and monitoring study of brown bear. The EIS stipulated that a study be carried out one month prior to the starting of work into the presence of brown bear in the vicinity of the portal. Once the study had been made the ADIF decided to extend the scope of the same and, in association with the Spanish Brown Bear Foundation, carried out a reconnaissance beat together with a study of the affect of the works on the natural habitat of the bear.*
- *Compensatory measures. In addition to the stipulations for the work itself, the EIS also established compensatory measures to restore the landfill site created during the construction of the Huerna motorway, set in the vicinity of the La Cortina dump and the regeneration of the banks of the river Huerna in the area of the tunnel portals.*

Fig. 12. Fotografía de la zona del emboquille Norte (Asturias)/Aerial photograph of the north portal area (Asturias).



En este punto se debe señalar un problema que es común en obras similares que se desarrollan en entornos de gran valor natural (por ejemplo los túneles de Guadarrama y el macizo de Peñalara): la dificultad para poder ejecutar sondeos de reconocimiento del terreno a atravesar en determinadas zonas. En la actualidad se están gestionando los permisos necesarios para ampliar la campaña de sondeos complementaria en los lotes 3 y 4, pues aún existen zonas importantes sin más información que la cartografía geológica de superficie. Al tratarse de zonas de distribución de especies como el oso pardo y el urogallo, las limitaciones a cualquier tipo de actividad son muy severas, y no cabe duda de que deben serlo; pero también es importante, de cara a la propia seguridad de los trabajadores que ejecutan la obra, conocer de la mejor forma que sea posible el terreno a atravesar. Es necesario, en ésta y en todas las obras, poder compatibilizar ambas necesidades.

6. Plan de Obra

A continuación se expone, de forma esquemática, la programación de cada uno de los distintos lotes (Fig. 13).

In this regard it is necessary to underline a problem which commonly arises in these types of works which are carried out in areas of high natural value (such as the Guadarrama tunnels and the Peñalara massif) and, namely, the difficulty in carrying out test bores in specific areas of the ground to be tunnelled. Applications are currently being made to obtain the necessary permits to extend supplementary test bores for contracts 3 and 4 as areas still remain in which the only information is that provided by the geological plans of the surface. As these areas encroach upon the habitat of species such as the brown bear and the capercaillie grouse, the restrictions on any type of activity are very strict and there is no doubt that this should be so. However, it is very important for the safety of the workers that full knowledge be obtained of the tunnelling ground. It is necessary that these two contrasting requirements be reconciled on this and other works of this nature.

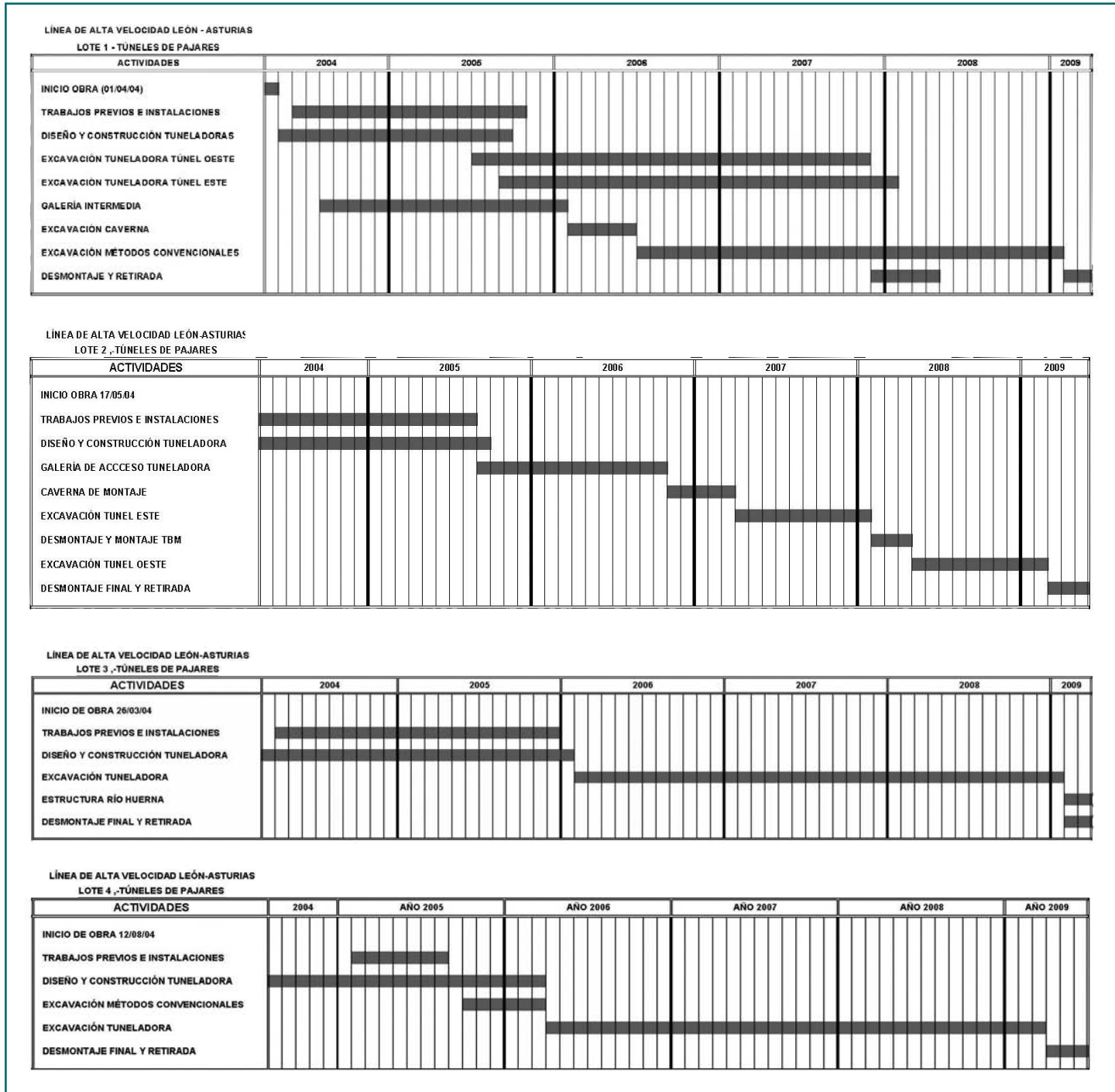
6. Work Plan

The planned work schedules for each of the contracts are given below (Fig. 13).

Como puede apreciarse, la finalización de los trabajos de excavación y revestimiento de los túneles principales está prevista para el segundo semestre del año 2009. Los trabajos de superestructura, electrificación e instalaciones de seguridad y comunicaciones no están incluidos en los proyectos constructivos de los lotes adjudicados.

From these schedules it may be seen that the excavation and tunnel lining works are expected to finish in the second half of 2009. The superstructure, electrification and safety and communication installations are not included in any of these contracts.

Fig. 13. Planificación de obra en cada uno de los lotes/Work schedules for each contract.



6.1. Situación actual de las obras

La situación de obra en cada uno de los lotes es la siguiente:

LOTE 1. Se llevan ejecutados 1.850 m de la galería de acceso intermedio de Folledo, por métodos convencionales, así como 675 m del tubo oeste de los túneles principales (TBM Herrenknecht) y 80 m del tubo este (TBM NFM-Wirth).

LOTE 2. Se han ejecutado 50 m de la excavación de la galería de acceso a los túneles principales (TBM Herrenknecht).

LOTE 3. Se están finalizando los trabajos de ejecución del emboquille de este portal de ataque así como los trabajos de preparación de la fábrica de dovelas. La máquina ya ha sido recepcionada en la fábrica de NFM en Le Creusot el día 15 de septiembre de 2005, y está siendo desmontada y trasladada a Asturias para su montaje definitivo en la plataforma del emboquille.

LOTE 4. La recepción en fábrica de la TBM de este lote se realizará a finales de este año. En este caso, al estar la fábrica de ensamblaje final en Asturias (instalaciones de Duró-Felguera), los plazos de transporte a obra serán menores. Se están ultimando los trabajos de montaje de la planta de dovelas de este lote.

Agradecimientos

El autor de este trabajo quiere expresar su agradecimiento a D. Luis de la Rubia y D. José M^o Carrasco por la confianza depositada, y a los técnicos y trabajadores de las empresas constructoras, de la asistencia técnica y del propio ADIF que participan en este gran proyecto, ya que sin su esfuerzo continuado no sería posible llevar a cabo una obra de estas dimensiones. ♦

6.1 Progress of work

The progress to date on each contract is as follows:

CONTRACT 1. 1,850 m of the Folledo intermediate access adit have been excavated by conventional means and 675 m of the west tube of the main tunnel has been excavated (Herrenknecht TBM) and 80 m of the east tunnel (NFM-Wirth TBM).

CONTRACT 2. 50 m of the access adit to the main tunnels have been excavated (Herrenknecht TBM).

CONTRACT 3. The works on this portal have been completed together with the preparation for the segment production plant. The TBM was received at the NFM factory in Le Creusot on 15 September 2005 and is being dismantled and transferred to Asturias for its final assembly at the portal platform.

CONTRACT 4. The TBM will be delivered at the factory by the end of this year. In this case as the final assembly plant is in Asturias (Duró-Felguera plant) the transport schedule will be considerably reduced. The segment production plant for this contract is currently nearing completion.

Acknowledgements

The author wishes to express his gratitude to Luis de la Rubia and José M^o Carrasco for their trust, and to acknowledge the technicians and employees at the construction companies, the ADIF and all technical consultants intervening in this project as without their continued efforts it would not be possible to carry out a project of this scale. ♦

Referencias/References:

-Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural. Comisión 1. Grupo de Trabajo 1/2: Bases de proyecto para hormigón de alta resistencia. "Recomendaciones para el proyecto de estructuras de hormigón de alta resistencia" Monografía M-8 ACHE, Julio 2004.
-Felipe Mendaña, Mayo 2001. "Tuneladoras".
-Ministerio Fomento (2003). "Proyecto Básico de los Túneles de Pajares."

-Ministerio Fomento (2003). "Proyecto y obra de plataforma de la Línea de Alta Velocidad León-Asturias. Tramo: Túneles de Pajares (Lote 1)".
-Ministerio Fomento (2004). "Proyecto y obra de plataforma de la Línea de Alta Velocidad León-Asturias. Tramo: Túneles de Pajares (Lote 2)".
-Ministerio Fomento (2003). "Proyecto y obra de plataforma de la Línea de Alta Velocidad León-Asturias. Tramo: Túneles de Pajares (Lote 3)".

-Ministerio Fomento (2004). "Proyecto y obra de plataforma de la Línea de Alta Velocidad León-Asturias. Tramo: Túneles de Pajares (Lote 4)".
-Revista de Obras Públicas (1884). "Obras en la línea férrea de Asturias" Año 32, tomo II, boletín 15, pag. 114.
-Revista de Obras Públicas (1884). "Vía férrea entre Busdongo y Fierros" Año 32, tomo II, boletín 14, pag. 107-108.