

Ejecución de galerías de conexión entre túneles paralelos en terrenos difíciles

Construction of connection galleries between twin tubes in difficult terrain

Jorge Bueno Gallego. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
División de Túneles y Obras Subterráneas de INTECSA-INARSA S.A. jbueno@intecsa-inarsa.es

Resumen: Se están implantando altas medidas de seguridad en la construcción de túneles paralelos para líneas de alta velocidad ferroviaria en España, de modo que cualquier tipo de actividad de la obra no genere situaciones que pongan en peligro la integridad de los trabajadores. Una de estas medidas es la de simultaneizar la construcción de los túneles principales con las galerías de evacuación que los conectan. Y para que esto se pueda llevar a cabo en terrenos difíciles, es necesario diseñar nuevas soluciones para ejecutar estas galerías y sus entronques, reduciendo al mínimo las interferencias con la ejecución de los túneles principales.

Palabras Clave: Túnel, Galería, Entronque, Simultaneidad

Abstract: Important safety measures have recently been introduced in the construction of high speed railway tunnels in Spain. The purpose is the reduction to the minimum the potential damage caused by any work activity or dangerous situation which can take place at the site. One of these measures consists in holding at the same time the construction of the main tunnels and the cross passages which connect the former. To carry out this objective in grounds with low geotechnical properties, is necessary to design new solutions that differ substantially from those established before.

Keywords: Tunnel, Cross passage, Junction, Simultaneity

1. Introducción

Se presentan a continuación soluciones a adoptar en la ejecución de entronques de galerías transversales de conexión de túneles paralelos en terrenos difíciles. Esta construcción de los entronques se debe llevar a cabo durante la construcción de los túneles principales para dotarles de seguridad frente a posibles incidentes en el transcurso de la obra. Esta determinación de simultaneizar la ejecución se tomó a raíz del incidente ocurrido en Agosto de 2003 en las obras de 2 túneles paralelos. Además no sólo se decidió aplicarlo a los túneles futuros, sino que también se aplicó a los túneles que había en construcción en ese momento, como es el caso de los túneles de Abdalajís dentro de la línea de alta velocidad Córdoba-Málaga.

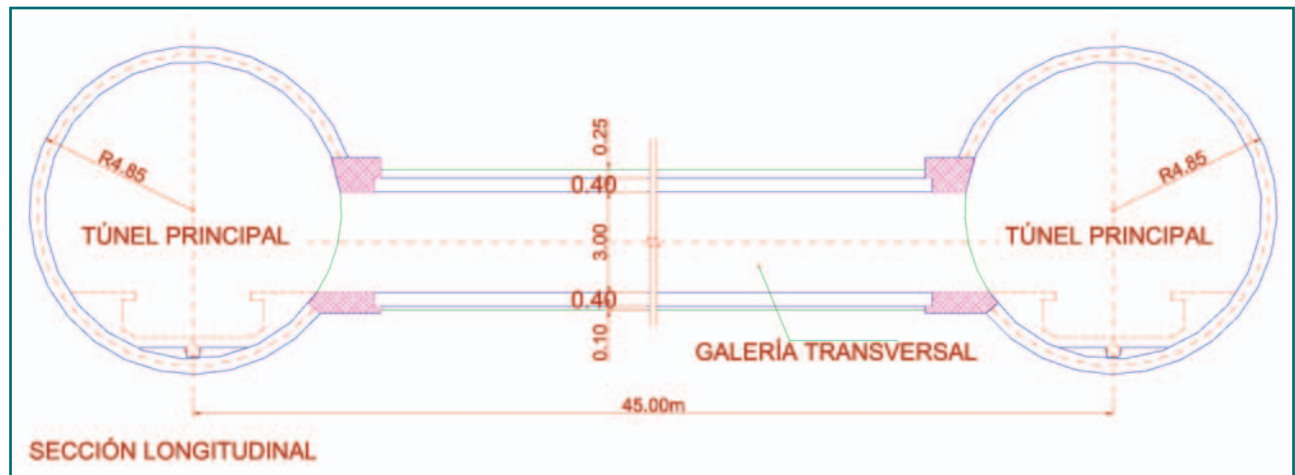
Estos túneles consisten en 2 tubos paralelos separados 30 m entre ejes, de 4,4 m de radio interior y de 7 km de longitud.

1. Introduction

A number of solutions are presented for the construction of intersections between parallel tubes and connecting cross galleries in difficult terrain. The construction of these connections should be carried out during the driving of the main tunnels in order to safeguard against possible accidents during the course of the work. This decision to coincide construction work has come about as a result of the incident which occurred in August 2003 during work on two parallel tunnels. As well as applying this strategy to all future tunnels it was considered necessary to adopt these solutions in all tunnels under construction at the present time. This being the case of the Abdalajis tunnels on the Cordoba-Malaga high speed railway line.

These tunnels consist of 2 seven kilometre long parallel tubes with a 4.4 m internal radius and set 30 m apart between centrelines.

Fig. 1. Sección longitudinal por el eje de la galería/Longitudinal section through the centreline of the gallery.



Los túneles son los más largos del citado tramo y discurren por la sierra del Valle de Abdalajís en Álora (Málaga), de 1.000 m de altitud, a la cota 420 m sobre el nivel del mar, lo que supone una cobertura máxima de 580 m.

Como breve descripción del proyecto se puede citar que estos túneles paralelos y de vía sencilla presentan un diámetro libre de 8,8 m, y precisan un diámetro de excavación de 10 m ya que van revestidos con dovelas prefabricadas de hormigón armado. Todos los detalles explicativos del proyecto están publicados en la ROP nº 3450 de Diciembre de 2004, por lo tanto, se remite al lector interesado en ellos a que acuda al citado número.

2. Descripción geológica

La geología de la sierra del Valle de Abdalajís, Álora (Málaga), es de las más complejas de la Península Ibérica presentando alternancias de rocas de gran dureza junto con zonas de rocas blandas, múltiples fallas de 10 a 100 m de longitud, así como formaciones con materiales potencialmente expansivos y con presencia de sulfatos.

Los túneles de Abdalajís se sitúan en la cordillera Bética (perteneciente a la orogenia alpina) que forma parte del arco de Gibraltar. Ha sido afectada por una serie de acciones tectónicas que hacen que su geología sea extremadamente compleja. Se distinguen básicamente 2 zonas:

- externas, que se extienden hacia el interior y están limitadas por el Valle del Guadalquivir con predominio de rocas sedimentarias.
- internas, que se extienden hacia la zona costera, con existencia de grandes cabalgamientos sobre las zonas externas. Existen varios complejos diferenciados: Nevado-Filábride, Alpujarride y Maláguide, predominando las rocas de génesis arcillosa.

These tunnels are the longest tunnels on the Cordoba-Malaga line and run through the 1,000 m high sierra of the Abdalajis Valley in Alora (Malaga) at 420 m above sea level and have a maximum ensuing cover of 580 m.

The project consists of parallel tunnels for single track railway with clear internal diameters of 8.8 m. This requires a total excavated diameter of 10 m as the tunnels are lined with prefabricated reinforced concrete ring segments. Full details of this project were published in No. 3450 of this Journal in December 2004 and the interested reader may readily refer to this edition for further information.

2. Geological description

The geology of the sierra of the Valle de Abdalajis, Alora (Malaga) is one of the most complex in the Iberian Peninsula, with areas of very hard rock alternating with areas of soft rock. The zone is riddled with faults of between 10 and 100 m long and reveals formations with potentially expansive materials and containing sulphates.

The Abdalajis tunnels are set in the Betic cordillera (pertaining to the Alpine orogeny) which form part of the Gibraltar arc. The range has been affected by a series of tectonic actions which have led to an extremely complex geology. Two main areas may be established:

- *External areas, extending from the interior and bordered by the Guadalquivir valley with a predominance of sedimentary rocks.*
- *Internal areas, spreading towards the coastal area with the presence of large overthrust faults over the outer areas. There are various different units: Nevado-Filabride, Alpujarride and Malaguide, predominated by clay-bearing rocks.*

Así, la excavación de los túneles se ha comenzado por la boca sur atravesando las formaciones Almogía, Morales y Tonosa, que corresponden a grauwacas, pizarras y areniscas, y cuarcitas. Posteriormente se presentan formaciones más arcillosas (arcillas variegadas) para luego pasar a calizas, dolomías y alguna franja de yesos.

Esta alternancia de formaciones calizas, dolomíticas y arcillosas se presenta en toda la longitud del túnel, previéndose la aparición de fallas entre cada una de ellas, en algunas ocasiones. La presencia de agua es esperable sólo en las zonas de falla, aunque en algunos lugares el nivel freático se sitúa hasta 280 m por encima del túnel, como se ha constatado en la campaña de sondeos.

3. Revestimiento del túnel

Tanto el sostenimiento como el revestimiento del túnel son importantes tenerlos en cuenta puesto que para hacer los entronques hay que demolerlos, y además los resultados del dimensionamiento de ambos se utilizan para el cálculo de los entronques. En los túneles de Abdalajís, el sostenimiento y revestimiento se lleva a cabo con dovelas prefabricadas de hormigón armado de 45 cm de espesor, utilizando para algunos tramos hormigones de alta resistencia debido a las grandes compresiones esperadas.

El cálculo de las dovelas se realizó mediante un modelo de elementos finitos en 2 dimensiones. Este modelo refleja las características geométricas de los túneles así como las características geotécnicas de los terrenos en varias secciones del túnel. Además se ha considerado el desfase de ejecución de ambos túneles, que implica el aumento del terreno plastificado y, por lo tanto, de la carga a soportar por los túneles. Como consecuencia de los resultados obtenidos se dividió la totalidad del túnel en varios tramos donde se colocarían 4 tipos de dovelas, que se diferenciaban en el hormigón utilizado y la cuantía de armadura dispuesta, según se muestra en la tabla 1.

Los tipos de dovela A, B y C se colocaron en los tramos en que el axil resultante del cálculo era inferior al axil resistente, dejando el último tipo para situaciones excepcionales. Un esquema del anillo de dovelas se muestra en la figura 2.

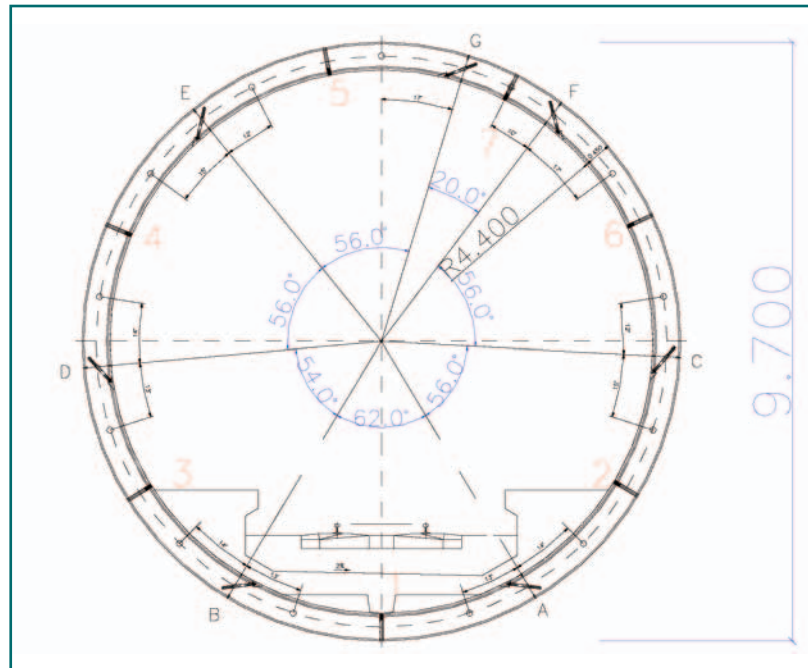


Fig. 2. Anillo de dovelas utilizado/
 Ring segments employed.

As such the driving of the tunnels began at the south portal, crossing the Almogía, Morales and Tonosa formations corresponding to greywacke, shale, sandstone and quartzite. More clayey formations arise later on (variegated clays) which then give way to limestone, dolomites and occasional bands of gypsum.

These alternate limestone, dolomite and clayey formations occur throughout the length of the tunnel and faults are expected to appear on occasions between the same. The presence of water is only to be expected in the fault areas, though from test bores it has been ascertained that the phreatic level is set up to 280 m above the tunnel in certain areas.

3. Tunnel lining

The support and the lining of the tunnel require particular scrutiny as in order to make the junction connections it is necessary to demolish the same and, furthermore, the dimensioning of both is employed in the calculation of the junctions. In the Abdalajís tunnels, the support and lining was formed by 45 cm thick prefabricated reinforced concrete ring segments with high strength concrete being employed in a number of sections due to the strong compression envisaged in the area.

The calculation of the segments was made using a 2-dimensional finite element model. This model reflected the geometric characteristics of the tunnel and the geotechnical qualities of the terrain over various sections of the tunnel. Consideration was also given to the

Tabla 1: Tipos de dovelas utilizadas Table 1. Types of ring segment employed		
Dovela Ring Segment	Hormigón Concrete	Cuantía de acero aproximada (kg/m ³) Approximate steel quantity
Tipo A	HA-40	60
Tipo B	HA-40	90
Tipo C	HA-60	125
Tipo D	HA-60	200

Tabla 2: Situación y clasificación de las galerías transversales/*Table 2. Location and classification of the connecting galleries*

n°	PK Location	Unidad Litológica/ <i>Lithological unit</i>	Descripción/ <i>Description</i>	Rec. (m) Cov (m)	
1	801+297.44	Torcal/ <i>Torcal</i>	Calizas micríticas/ <i>Micritic limestone</i>	55	Tipo 3/ <i>Type 3</i>
2	801+645.16	Capas Blancas y Rojas/ <i>White and Red layers</i>	Margas y Calizas cretácicas/ <i>Cretaceous limestones and marl</i>	60	
3	802+085.61	Endrinal/ <i>Endrinal</i>	Calizas Oolíticas/ <i>Oolitic limestone</i>	140	
4	802+343.25	Torcal/ <i>Torcal</i>	Calizas jurásicas/ <i>Jurassic limestone</i>	140	
5	802+691.78	Torcal/ <i>Torcal</i>	Calizas jurásicas/ <i>Jurassic limestone</i>	160	
6	803+041.25	Capas Blancas y Rojas/ <i>White and Red layers</i>	Margas y calizas margosas/ <i>Cretaceous limestones and marl</i>	210	
7	803+391.25	Jarastepar/ <i>Jarastepar</i>	Dolomías y calizas/ <i>Dolomites and limestones</i>	300	Tipo 1/ <i>Type 1</i>
8	803+791.25	Torcal/ <i>Torcal</i>	Calizas jurásicas/ <i>Jurassic limestone</i>	500	
9	804+191.25	Endrinal/ <i>Endrinal</i>	Calizas Oolíticas/ <i>Oolitic limestone</i>	500	
10	804+541.25	Margocalizas/ <i>Marlstone</i>	Calizas y margocalizas/ <i>Limestone and marlstones</i>	580	
11	804+891.25	Malagueteín/ <i>Malaguetein</i>	Calizas/ <i>Limestones</i>	520	
12	805+342.25	Malagueteín/ <i>Malaguetein</i>	Calizas/ <i>Limestones</i>	500	
13	805+641.22	Endrinal/ <i>Endrinal</i>	Calizas/ <i>Limestones</i>	390	Tipo 2/ <i>Type 2</i>
14	805+990.91	Arcillas Variegadas/ <i>Variiegated Clays</i>	Arcillas y margocalizas/ <i>Clays and marlstone</i>	280	
15	806+339.59	Arcillas Variegadas/ <i>Variiegated Clays</i>	Arcillas y margocalizas/ <i>Clays and marlstone</i>	250	
16	806+688.11	Almogía/ <i>Almogia</i>	Pizarras y conglomerados/ <i>Shales and conglomerates</i>	210	Tipo 3/ <i>Type 3</i>
17	807+116.29	Morales/ <i>Morales</i>	Pizarras y areniscas/ <i>Shales and sandstones</i>	120	
18	807+443.80	Tonosá/ <i>Tonosá</i>	Filitas y cuarcitas/ <i>Phyllites and quartzites</i>	70	
19	807+822.55	Tonosá/ <i>Tonosá</i>	Filitas y cuarcitas/ <i>Phyllites and quartzites</i>	95	

4. Situación de las galerías transversales

La situación de las galerías transversales de conexión, a lo largo del trazado se refleja en la tabla 2.

Se dividen las galerías en función del recubrimiento que va a tener cada una de ellas y de las características geotécnicas del terreno donde van a estar excavadas. La clasificación, ordenada de mayor a menor carga, es:

- Tipo 1: Galerías 7, 8, 9, 10, 11 y 12
- Tipo 2: Galerías 13, 14 y 15
- Tipo 3: Galerías 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18 y 19

Esta clasificación de las galerías está basada en que las del tipo 3 son las que tienen menos de 250 m de recubrimiento y están situadas en zonas del túnel con dovelas del tipo A de HA-40. Las del tipo 2 son las que tienen entre 250 y 500 m de recubrimiento y el tipo 1 engloba a aquellas con 500 m ó más de recubrimiento, además se incluye la galería n° 7 por las previsibles malas condiciones geotécnicas que se pueden dar.

5. Solución adoptada y fases constructivas

La sección tipo adoptada para las galerías transversales es del tipo herradura con una sección libre aproximada

staggered construction of both tunnels which implied an increase in plastified soil and, subsequently, the load borne by the tunnels. From the results obtained the entire tunnel was divided into various sections with 4 different types of ring segment which varied in accordance with the concrete employed and the amount of reinforcement laid. These types are shown in table 1.

Ring segments types A, B and C are placed in those sections where the resultant design axial was lower than the axial strength and the last type were to be employed in exceptional situations. A ring arrangement of the segments is shown in Fig. 2.

4. Location of connection galleries

The location of the cross connection galleries throughout the tunnel are shown in the table 2.

The galleries are divided in accordance with the ground cover over each and the geotechnical characteristics of the ground through which they are driven. The classification ranging from greater to lesser load is as follows:

- *Type 1: Galleries 7, 8, 9, 10, 11 and 12*
- *Type 2: Galleries 13, 14 and 15*
- *Type 3: Galleries 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18 and 19*

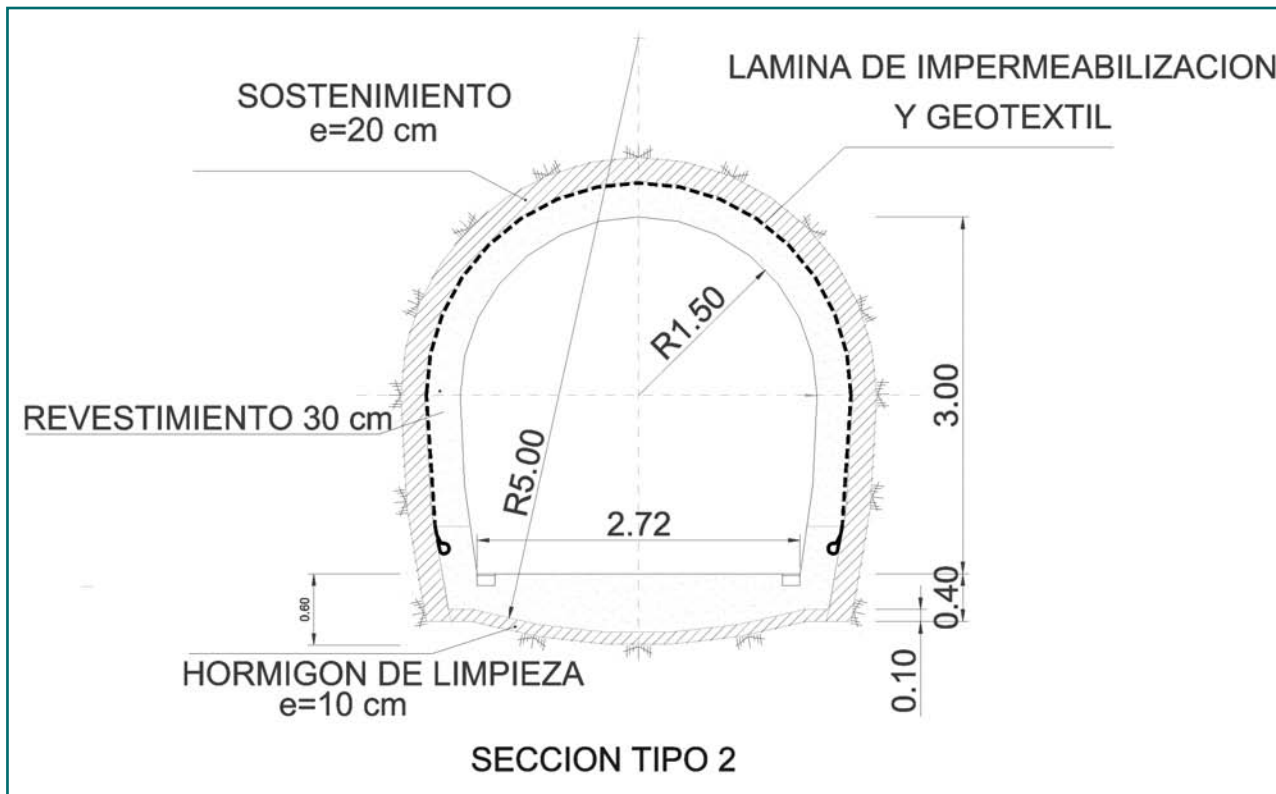


Fig. 3. Sección tipo de la galería de conexión/Standard section of connection gallery.

de 3 m de ancho por 3 m de alto. El sostenimiento está formado por cerchas y hormigón proyectado, además de bolones. El revestimiento es de hormigón en masa.

La solución adoptada para la ejecución de los entronques de las galerías transversales, como se ha citado anteriormente, se ha diseñado con el condicionante de tener que realizarse durante la construcción de los túneles principales.

Es decir, que tanto la sujeción, corte y retirada de dovelas y posterior excavación de la galería, ha de permitir el paso de las vagonetas con personal y material, además de no obstaculizar el desescombro de la excavación, que en este caso se realiza por cinta.

Además se ha de lograr que las dovelas que se corten y luego retiren queden fijadas, dejando así el hueco necesario en el túnel para excavar las galerías; por lo tanto se prevé la realización de un paraguas de micropilotes por encima del corte a realizar en las dovelas y otra alineación de micropilotes en la parte inferior del mismo.

Estos micropilotes lograrán mediante la lechada y la resistencia al corte del terreno, soportar el empuje del terreno y evitar así que el anillo de dovelas se cierre. Estos micropilotes se deben ejecutar de forma que dejen el máximo espacio libre para el normal funcionamiento de las obras del túnel principal. De esta manera la zona de trabajo para la ejecución de los micropilotes que queda en la sección tipo del túnel es reducida, debido a las ins-

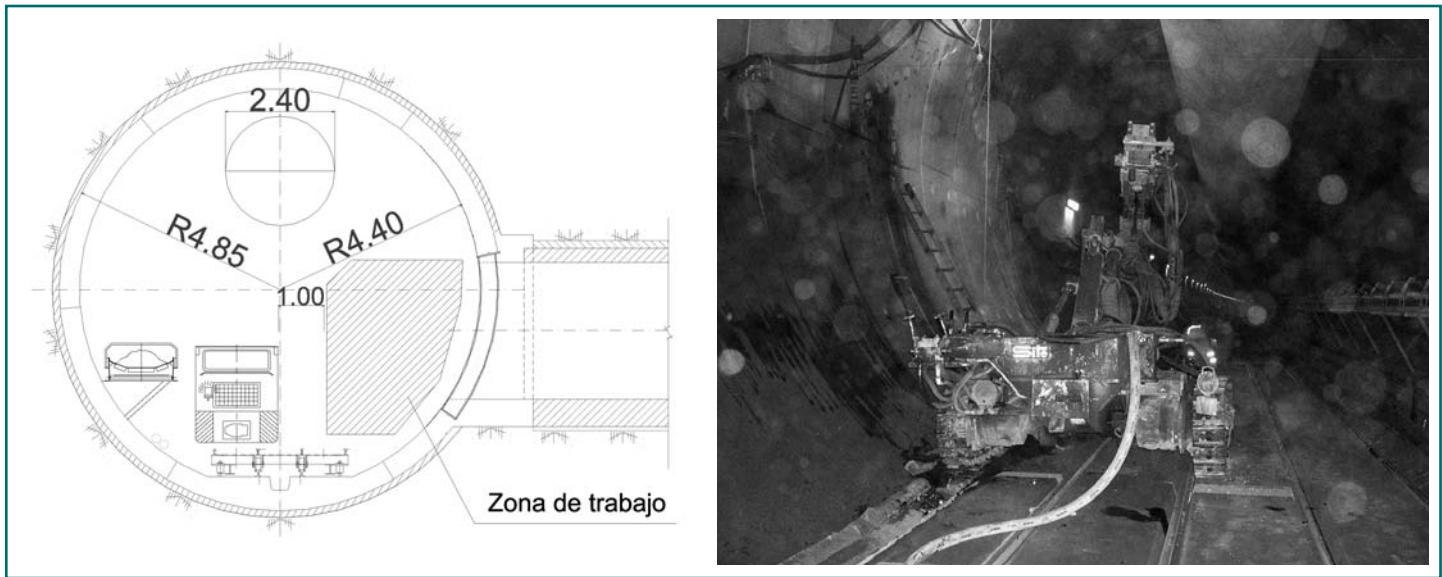
This classification of galleries is based on the fact that type 2 galleries have at least 250 m of cover and are located in sections of the tunnel with type A HA-40 ring segments. Type 2 galleries have between 250 and 500 m of cover and type 1 includes all those with 500 m of cover or more and also includes gallery No. 7 on account of the poor geotechnical conditions foreseen in this area.

5. Adopted solution and construction stages

The standard section adopted for the connecting galleries is that of a horseshoe with an approximate 3 m wide by 3 m high clearance. The support is formed by frames and shotcrete as well as pinning. The lining is formed in plain concrete.

The solution adopted for the construction of the junctions of the connecting galleries was designed, as previously indicated, on the basis that these would be built during the construction of the main tunnels.

This implies that both the supporting, cutting and removal of segments and the subsequent excavation of the gallery has to allow the passage of wagons carrying personnel and materials and not impede the clearing of the excavation which, in this case, is carried out by conveyor belt.



talaciones presentes en el proceso de excavación de los túneles. Esto se aprecia en la figura 4.

Las fases de ejecución, por lo tanto, son:

- Fase 1: Realización de un paraguas de micropilotes en la parte superior e inferior del hueco a realizar, que servirá para sujetar las dovelas que se van a cortar.
- Fase 2: Corte y retirada de las dovelas necesarias.
- Fase 3: Ejecución del marco de hormigón en el perímetro del hueco.
- Fase 4: Excavación y sostenimiento de la galería.
- Fase 5: Revestimiento de la galería.

Con la ejecución de los micropilotes se consigue una doble función puesto que, además de sujetar las dovelas que van a ser cortadas, una vez que se empieza la excavación, el paraguas formado protege la misma, evitando así tener que hacer otro tipo de protección adicional contra posibles desprendimientos en los terrenos de mala calidad geotécnica.

5.1. Cálculo de los micropilotes

Los micropilotes a ejecutar se dimensionarán con la carga que transmite el anillo una vez que se corte la dovela y tendrán esta misión hasta que se construya el marco de entronque, pues será este último el que tenga que soportar las cargas en fase de servicio.

Se perforarán alineaciones de micropilotes tanto en la parte superior como en la inferior del hueco, colocando en los laterales unos bulones. Los micropilotes tendrán 15 m de longitud y 150 mm diámetro de perforación con tubo de 139,7 mm de diámetro exterior y 9 mm de espesor.

Fig. 4. Espacio disponible para ejecutar el entronque de las galerías transversales/
Available space for the construction of the intersection with the connecting galleries.

It is also necessary to support the segments to be cut and removed in order to leave the necessary space in the tunnel for the driving of the galleries. It is therefore established that a micropile cover be formed the area to be cut in the segments and that a further arrangement of micropiles be placed within the interior of the same.

These micropiles together with the grouting and the shear strength of the soil, support the thrust of the soil and prevent the ring of segments from closing. These micropiles should be arranged in such a way as to allow the maximum possible free space for the normal operation of works on the main tunnel. As such the working area for the construction of the micropiles in the standard section of the tunnel is very much reduced by the installations required for the driving of the tunnels. This is shown in fig. 4.

The construction stages are, subsequently, as follows:

- *Stage 1: Forming of the micropile cover in the upper and lower part of the projected opening which serve to support the ring segments to be cut.*
- *Stage 2: Cutting and removal of necessary segments*
- *Stage 3: Construction of a concrete encasement around the perimeter of the opening.*
- *Stage 4: Excavation and support of the gallery*
- *Stage 5: Lining of the gallery*

The construction of the micropiles provides a double function as, in addition to supporting the segments to be cut, the cover protects the excavation and eliminates the need for other types of additional protection against possible cave-ins in soils of poor geotechnical quality.

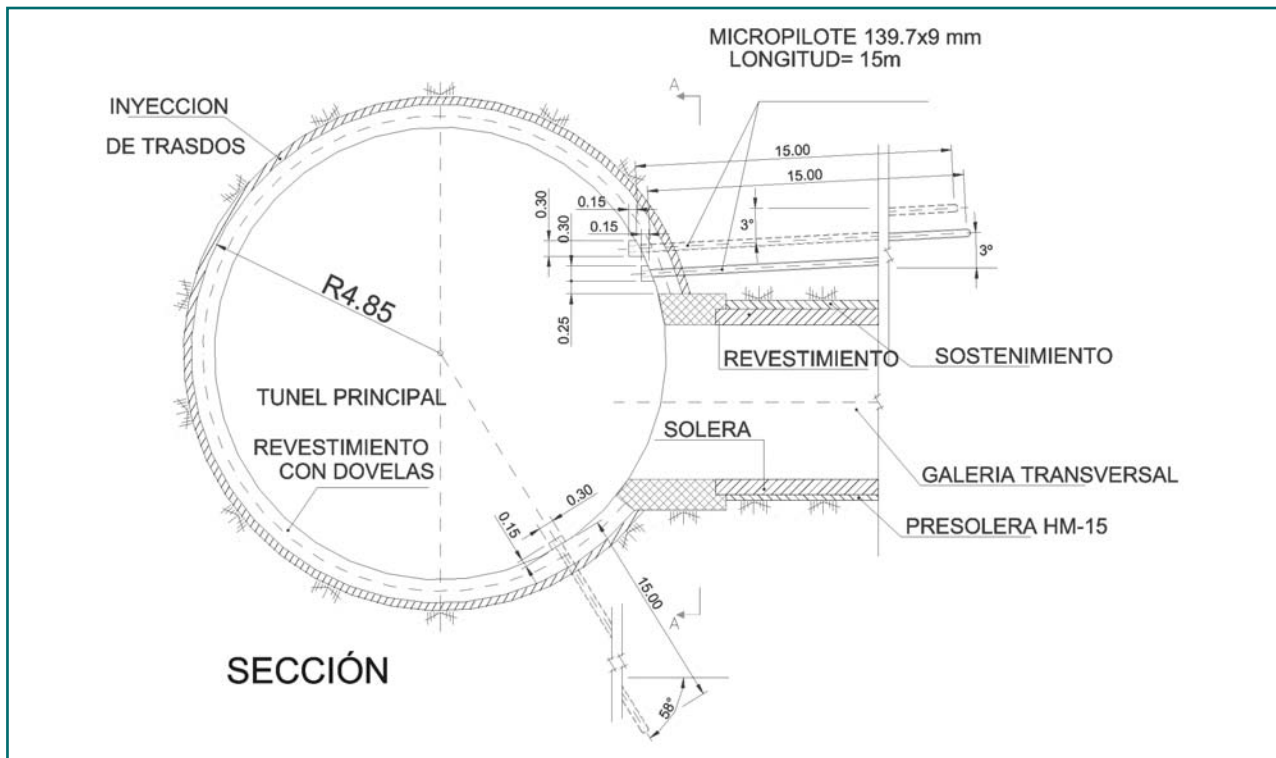


Fig. 5. Sección tipo de la conexión entre túnel principal y galería transversal/ Standard section of junction between main tunnel and connecting gallery.

La carga que dimensionará los micropilotes se determina mediante un programa de cálculo de estructuras.

El modelo introducido en este programa refleja la situación de un túnel de 4,4 m de radio interior con revestimiento de 45 cm de espesor, en el cual se asimilan los micropilotes a ejecutar como apoyos elásticos.

El cálculo se realiza modelizando un hueco en el anillo de dovelas, de forma cuadrangular de 5x5 m. Una vez calculados los esfuerzos en el modelo, se comprueba que las dovelas de los anillos cortados son capaces de resistirlos.

Las cargas que se utilizarán para dimensionar la solución adoptada corresponden a los resultados del cálculo de dimensionamiento de la dovela en el "Proyecto Modificado de la dovela de la Línea Ferroviaria de Alta Velocidad entre Córdoba y Málaga. Tramo Gobantes Abdalajis" de Octubre de 2002 y realizado por Intecsa-Inarsa.

En este proyecto se dividió el trazado del túnel en 3 tramos, en los cuales se colocan las dovelas denominadas Tipo A, Tipo B y Tipo C, dejando la Tipo D para situaciones extraordinarias, como ya se ha comentado en el apartado 3.

Como a su vez se han diferenciado 3 grupos de tronques y galerías (1, 2 y 3), para el cálculo se adoptan los esfuerzos axiales correspondientes a las dovelas tipo D, B y C.

Así, las presiones radiales de cálculo en cada tipo de tronque tomando un radio de 4,4 m, quedan como se ve en la tabla 3.

Por lo tanto, en el modelo se somete a estas presiones al túnel con el hueco realizado y con los apoyos elásticos,

5.1. Design of micropiles

The micropiles are scaled in accordance with the load transmitted by the ring once the segment has been cut and are required to support the same until the junction portal has been constructed, as this latter will support the loads during the service stage.

Alignments of micropiles are perforated through the upper and lower part of the opening and pins are placed at the sides. The micropiles will be 15 m long and have a 150 mm perforation diameter to house a 9 mm thick and 139.7 mm external diameter tube.

The load sizing the micropiles is established by a structural calculation programme.

The model employed in this programme considers a 4.4 m internal radius tunnel with a 45 cm thick lining and where the micropiles are considered as elastic bearings.

The calculation is made by modelling the opening in the segment ring as a 5 x 5 m quadrangle. Once the stresses have been calculated in the model, it is then established whether the cut ring segments are capable of resisting the same.

The loads employed to scale the adopted solution correspond to the results of the segment scaling calculation in the "Modified Segment Design for the Cordoba-Malaga High Speed Rail Line. Gobantes-Abdalajis Section" carried out by Intecsa -Inarsa in October 2002.

Tabla 3: Presiones de cálculo utilizadas Table 3. Design pressures employed	
	Presión radial Radial pressure
Entronque Tipo 1/Junction Type 1	340 t/m ²
Entronque Tipo 2/Junction Type 2	205 t/m ²
Entronque Tipo 3/Junction Type 3	128 t/m ²

Tabla 4: Separación de los micropilotes y longitud de pase de excavación Table 4. Spacing of micropiles and length of excavation run		
	Separación de micropilotes (m) Spacing of micropiles (m)	Longitud del pase de excavación (m) Length of excavation run (m)
Entronque tipo 1/Junction Type 1	0,3	1,39
Entronque tipo 2/Junction Type 2	0,4	1,54
Entronque tipo 3/Junction Type 3	0,5	1,6

que simulan los micropilotes. Estos micropilotes poseen las capacidades resistentes siguientes:

Resistencia a cortante: 106 t
Resistencia a flexión: 7,8 mt

Por lo tanto, con los resultados obtenidos en cada cálculo, la disposición de micropilotes que se adopta es:

- 2 alineaciones de micropilotes en la parte superior para los tipos 1 y 2 de entronque, y una alineación para el tipo 3
- 1 alineación de micropilotes en la parte inferior

Las separaciones entre cada micropilote y la longitud del pase de excavación que es posible realizar antes de ejecutar el marco de entronque, ya que durante la excavación son los micropilotes los que deben aguantar la carga, son las reflejados en la tabla 4.

Esta longitud de pase se ha calculado con la condición de que el paraguas de micropilotes aguante a flexión y cortante, simulado como una viga biempotrada (en el terreno y en la dovela).

Para poder asegurar el empotramiento del micropilote en el terreno, se comprueba que éste es capaz de resistir la carga solicitante que resulta del cálculo mediante la adherencia terreno-lechada.

5.2. Corte y demolición de dovelas

Una vez realizadas las alineaciones de micropilotes y asegurado así el anillo, se procede a cortar las dovelas necesarias para excavar la galería. Una vez recortado el hueco necesario se procede a demoler las dovelas con un martillo hidráulico, dejando a la vista la lechada de cemento que rellenó el hueco entre el trasdós de la dovela y el terreno. Después de que se hayan retirado los escombros de las dovelas demolidas, se comienza la excavación para poder ejecutar el marco de entronque en el perímetro del hueco realizado.

5.3. Marcos perimetrales

Una vez ejecutado el paraguas de micropilotes y realizado el corte y retirada de dovelas se procederá a

In this project the tunnel was divided into three sections which would receive segments Type A, B and C, with Type D being left for extraordinary situations as indicated in section 3.

Three different groups of junctions and galleries (1, 2 and 3) were, subsequently, established and the calculation adopted the axial stresses corresponding to ring segments type D, B and C.

The design radial pressures at each type of junction, when taken on a radius of 4.4 m, were then established as follows (Table 3).

In the model the tunnel was subjected to these pressures with the opening already formed and elastic bearings which simulated the micropiles. These micropiles have the following strength capacities:

Shear strength: 106 t
Bending strength: 7.8 mt

From the results obtained in each calculation, the adopted alignment of micropiles is then as follows:

- 2 arrangements of micropiles in the upper part for junctions type 1 and 2 and one alignment for type 3
- 1 alignment of micropiles in the lower level

The spacing between each micropile and the length of excavation run possible prior to the building of the intersection are indicated below. This spacing and run considers the fact that these micropiles have to support the load throughout the excavation (Table 4).

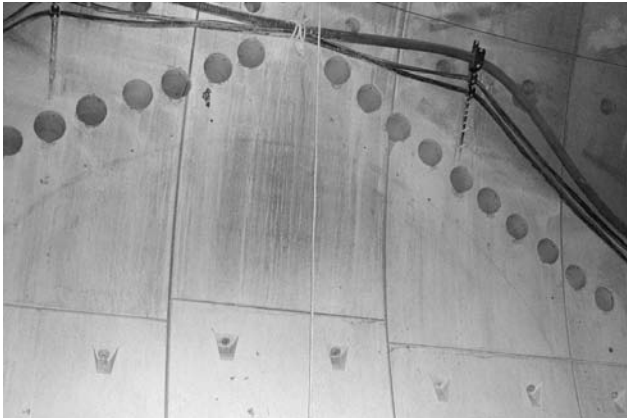
This length of run has been calculated on the condition that the micropile support withstand both bending and shear in the form of a double hinged beam (on the soil and the segment).

In order to ensure the housing of the micropile in the soil it is necessary to verify whether this is capable of resisting the design imposed stress through the soil-grout bond.

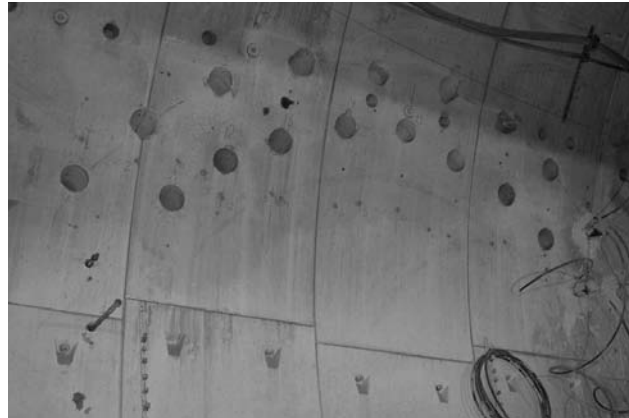
5.2. Cutting and demolition of ring segments

Once the micropile alignments have been made and the ring has been secured, the necessary segments are then cut to excavate the connecting gallery. When the

Ejecución de galerías de conexión entre túneles paralelos en terrenos difíciles
Construction of connection galleries between twin tubes in difficult terrain



Perforación /Perforation.



Inyección/Injection.

Fig. 6. Proceso de ejecución de los micropilotes/
Construction process of micropiles.



Ejecución de la viga de atado/Forming of tie beam.



Alineación inferior/Lower alignment.

construir un marco perimetral en el hueco para la excavación de la galería, que se solidarizará con las dovelas cortadas. Esto provocará que las dovelas y el marco trabajen conjuntamente.

opening had been cut, the segments are then demolished by pneumatic drill, exposing the cement grout filling the void between the back of the segments and the soil. Once the rubble of the demolished



Corte de las dovelas/Cutting of segments.



Demolición de las dovelas/Demolition of segments.

Fig. 7. Imágenes del corte y demolición de dovelas/
Cutting and demolition of segments.

Tabla 5: Características principales de los marcos de entronque/ Table 5. Main characteristics of encasements			
	Marco Tipo 1 Encasement type 1	Marco Tipo 2 Encasement type 2	Marco Tipo 3 Encasement type 3
Canto (m)/Thickness (m)	1	0,8	0,6
Armadura principal/Main reinforcement	2 x Ø 32 a 15 cm	2 x Ø 32 a 25 cm	2 x Ø 25 a 15 cm

En el cálculo de los marcos de los entronques se ha supuesto que no existe el paraguas de micropilotes, soportando todos los esfuerzos provocados por el hueco realizado el marco a construir, en fase de servicio.

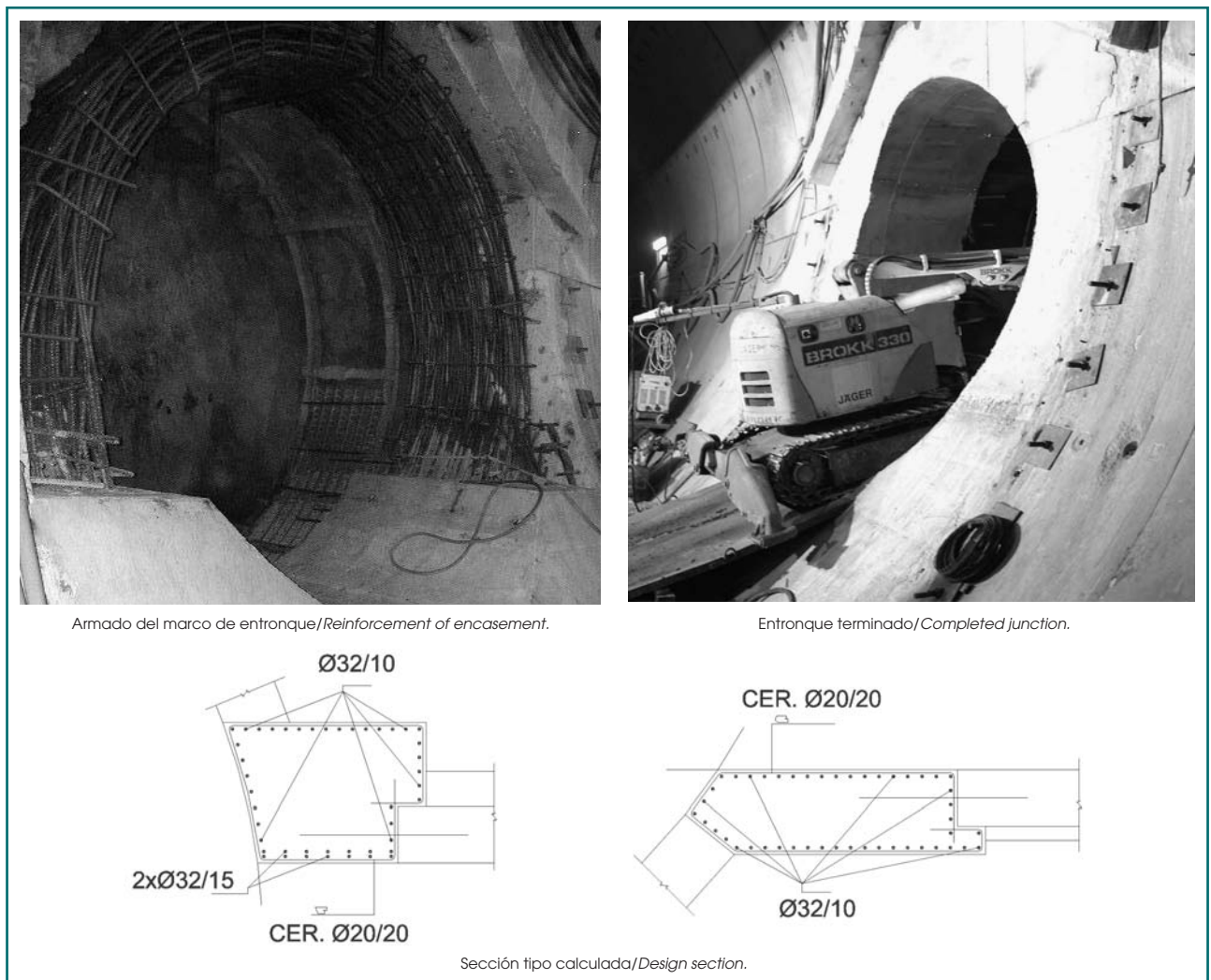
En este caso, también se diferencian 3 tipos de marcos, dependiendo de la carga a la que están sometidos. Es decir, existen los tipos 1, 2 y 3, que se calcularán con las mismas cargas que las mencionadas para las distintas disposiciones de micropilotes.

El modelo de cálculo utilizado es similar al que sirve para estimar la carga a soportar por los micropilotes. La diferencia es que se ha sometido al túnel con el hueco realiza-

segments has been removed, work is then carried out to build the encasement around the perimeter of the opening.

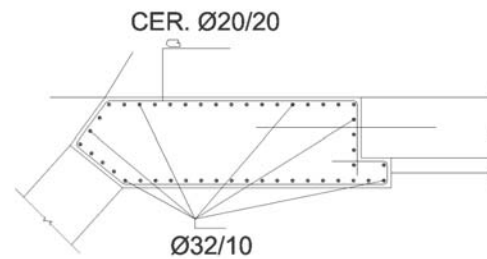
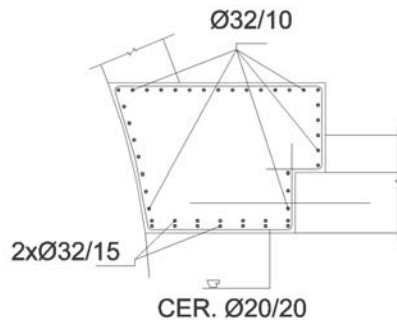
5.3. Encasements

When the micropile support has been made and the segments cut and removed, it is then necessary to construct an encasement around the opening for the excavation of the gallery which will connect up with the cut segments and allow the segments and encasement to work in conjunction.



Armado del marco de entronque/Reinforcement of encasement.

Entronque terminado/Completed junction.



Sección tipo calculada/Design section.

Fig. 8. Proceso de ejecución de los entronques/ Construction process of encasements.

do, sin apoyos elásticos que simulen los micropilotes, a las 3 presiones diferentes citadas anteriormente.

Por lo tanto con los esfuerzos resultantes, se define la armadura de los marcos, que se resume en la tabla 5 junto con los cantos adoptados para cada tipo.

5.4. Comprobación de los hastiales del marco de entronque

En la zona de los hastiales del marco se comprueba que las tensiones de compresión existentes son resistidas por el hormigón y armadura dispuesta en el marco de entronque.

Existe además un drenaje entre el revestimiento y el sostenimiento constituido por una lámina impermeabilizante que evitará la eventual carga de agua sobre los entronques de las galerías transversales.

5.5. Excavación, sostenimiento y revestimiento de la galería

Una vez realizado el marco de entronque se procede a excavar la galería mediante métodos mecánicos, realizando pases de excavación de acuerdo al tipo de terreno en el que se encuentre.

El sostenimiento está formado por cerchas y hormigón proyectado que dependiendo del tipo de galería a excavar, se colocan a diferentes distancias (cerchas) o de diferentes espesores (hormigón proyectado). Además se colocarán bulones de 3 m repartidos en la sección de la galería. La densidad de colocación también dependerá del tipo de galería que se excave.

El revestimiento de la galería, que es de hormigón en masa, se realiza mediante un carro de encofrado metálico que recorre la galería por tramos.

6. Alternativa a la solución con micropilotes

Para el caso en que no sea necesario ejecutar un paraguas pesado de protección de la excavación, se utiliza una solución alternativa a la formada por micropilotes.

Esta solución alternativa consiste en la eliminación de las alineaciones de micropilotes como método de sustentación de dovelas, y su sustitución por una estructura metálica que realice esa función.

Además se debe definir con el mismo condicionante que la solución anterior, que es la no interferencia con los trabajos del túnel principal, tanto en la fase de ejecución de la galería como en la fase de servicio.

Esto implica tener un espacio limitado para colocar la estructura metálica además de dejar el espacio suficien-

The junction encasements were calculated on the basis that there was no micropile support and that the encasement had to take all the stresses caused by the opening in the service stage.

Three different types of encasement were also established depending on the loads received and the three types would be calculated with the same loads as those indicated for the different micropile arrangements.

The calculation model employed is similar to that serving to estimate the load supported by the micropiles. The difference being that the tunnel together with the opening formed is subject to the three different pressures indicated earlier but without the elastic bearing simulating the micropiles.

The resultant stresses then establish the type of reinforcement and the encasement thicknesses required in each case (Table 5).

5.4. Verification of tunnel at junction encasement

Verification is made in the area of the tunnel walls around the junction to ensure that the compressive stresses are withstood by the concrete and reinforcement placed in the encasement.

Drainage is also placed between the lining and the support in the form of waterproof sheeting to prevent subsequent water loads on the junctions of connecting galleries.

5.5. Excavation, support and lining of gallery

Once the junction opening has been made the gallery is then excavated by mechanical means with excavation runs being made in accordance with the type of ground encountered.

The support is formed by beams and shotcrete which vary in spacing and thickness, respectively, in accordance with the type of gallery to be built. Three metre pins are also placed in the gallery section and the spacing of these pins also depends on the type of gallery bored.

The gallery is lined in plain concrete which is poured into steel formwork in sections.

6. Alternative to the micropile solution

In those cases where it is not necessary to construct a heavy cover to protect the excavation, an alternative solution to the micropiles may be adopted.

This alternative solution consists of eliminating the micropile arrangements supporting the segments and replacing these by a steel structure.

This solution also has to meet the same conditions imposed on the micropiles and should not impede the work

te, por seguridad, entre las vagonetas que circulan por el túnel principal y la citada estructura.

Las fases de ejecución de los entronques y las galerías son análogas a la solución de micropilotes y quedan de la siguiente manera:

- Fase 1: Colocación de la estructura metálica de sujeción de dovelas.
- Fase 2: Recorte de las dovelas a retirar.
- Fase 3: Retirada de las dovelas.
- Fase 4: Colocación del marco metálico perimetral en el hueco realizado.
- Fase 5: Excavación de la galería.
- Fase 6: Hormigonado del perímetro del hueco de entronque, dejando el marco metálico embutido.
- Fase 7: Retirada de la estructura metálica

6.1. Definición de la estructura metálica

La estructura metálica de sujeción de dovelas está formada por perfiles HEB de acero de resistencia $f_{yk} = 3600 \text{ kg/cm}^2$, al igual que los de marco perimetral del hueco a realizar en el anillo de dovelas.

Las hipótesis de cálculo que se utilizan para dimensionar y definir la estructura metálica son las mismas que en la solución con micropilotes. Además el modelo de cálculo utilizado también es el mismo.

Existen perfiles de la estructura metálica que se disponen de forma vertical en los laterales del hueco. Además hay perfiles curvos que se ajustan a la forma del anillo y que van unidos a las dovelas y a los extremos de los perfiles verticales mediante pernos y tornillos.

Por último, en la parte superior se colocan 2 perfiles en posición horizontal para no permitir el cierre del anillo de dovelas y repartir los esfuerzos en toda la estructura. Estos van unidos a los colocados verticalmente.

6.2. Comprobación de la estructura metálica

Los resultados muestran unas tensiones generadas en los perfiles inferiores a los que pueden soportar todos los perfiles de la estructura.

Aparecen además unas concentraciones de tensiones importantes en los extremos superiores de los perfiles verticales y curvos. Estas zonas se reforzarán con placas soldadas a las alas de los citados perfiles.

En el caso 1 de carga, es decir, donde el valor de ésta es mayor, se prevé la ejecución de 2 alineaciones paralelas de bulones, extendiéndose la superior en 1,5 m centrados en el hueco y la inferior ocupando toda la longitud del hueco. Estos bulones están situados en la parte inmediatamente superior al corte de dovelas. Los bulones serán de 32 mm de diámetro y de 4 m de longitud.

on the main tunnel during the gallery construction stage or in the service stage.

This then means that there is restricted area in which to place the steel structure and, furthermore, sufficient space has to be allowed from the structure to ensure the safe passage of wagons through the main tunnel.

The construction stages of the junctions and galleries are similar to those of the micropiles and may be summarised as follows:

- Stage 1: Place of steel structure to support the segments
- Stage 2: Cutting of segments to be removed
- Stage 3: Removal of segments
- Stage 4: Placing of steel perimeter frame in the opening
- Stage 5: Boring of gallery
- Stage 6: Concreting of the perimeter of the junction opening, leaving the steel frame embedded in the same.
- Stage 7: Removal of steel structure

6.1. Definition of steel structure

The steel structure supporting the segments is formed by HEB steel profiles with a strength $f_{yk} = 3600 \text{ kg/cm}^2$ which is similarly employed in the outer frame to the opening formed in the segment ring.

The design hypotheses employed to scale and define the steel structures are the same as those employed for the micropile solution and the calculation model is also the same.

The steel structure is formed by vertical sections set at the sides of the opening and curved profiles which adjust to the form of the ring and which are connected to the segments and the ends of the vertical sections by pins and bolts.

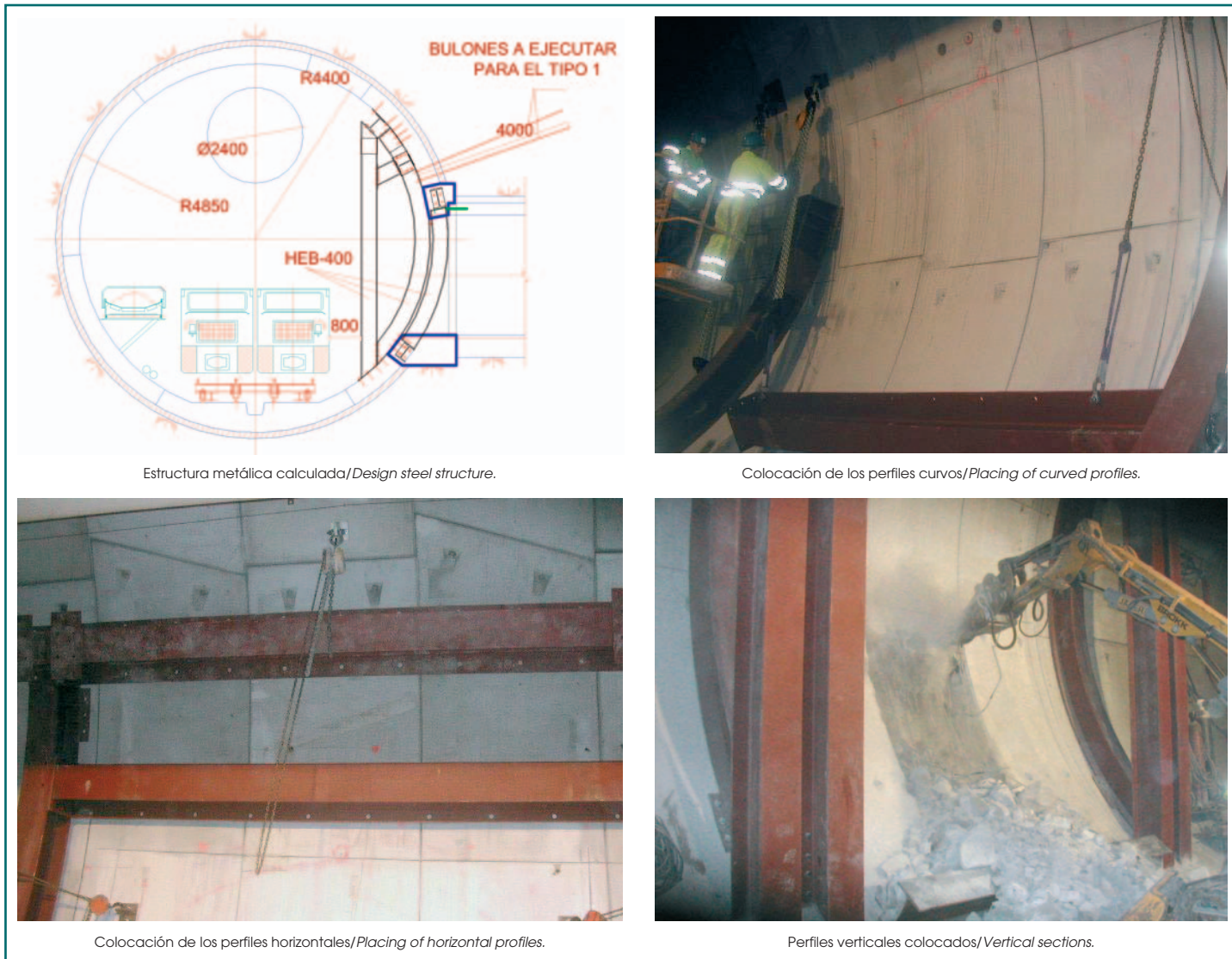
Two profiles, connected to the vertical sections, are horizontally placed in the upper part to prevent the closing of the segment ring and to distribute the stresses throughout the entire structure.

6.2. Verification of the steel structure

The results reveal stresses within the lower profiles which have to be taken by all the profiles in the structure.

Sizeable stresses are also seen to amass in the upper ends of the vertical and curved profiles. These areas are reinforced by flange plates which are welded to the flanges of the said profiles.

In load case 1, where the value is maximum, two parallel alignments of pins need to be made with the upper alignment extending 1.5 m at the centre of the opening and the lower alignment stretching throughout



Estructura metálica calculada/Design steel structure.

Colocación de los perfiles curvos/Placing of curved profiles.

Colocación de los perfiles horizontales/Placing of horizontal profiles.

Perfiles verticales colocados/Vertical sections.

Fig. 9. Proceso de colocación de la estructura/Structure placement process.

6.3. Uniones

Las uniones entre perfiles se realizará mediante placas de 20 mm de espesor donde irán alojados tornillos T-24. En cada uno de ellos son de 6 a 8 los tornillos que se colocan.

En la unión de los perfiles con las dovelas se utilizan pernos de diámetro 32 mm y longitud 30 cm. Para ejecutar estas uniones se soldarán placas de forma contigua a los extremos de las alas y en ellas se perforan los huecos para alojar a los pernos.

6.4. Marcos de entronque

Los marcos de entronque conformarán el perímetro del hueco realizado y en ellos se colocarán también perfiles metálicos. Serán HEB-500 para la parte superior

the entire length of the opening. These 32 mm diameter and 4 m long pins are set in the area immediately above the segment cut.

6.3. Joints

The joints between profiles are to be made by 20 mm thick plates which will house between 6 and 8 T-24 screws.

32 mm diameter and 30 cm long bolts are employed to connect the profiles to the segments. This connection is made by welding plates to the ends of the flanges and drilling holes in the same to house the bolts.

6.4. Encasements

The junction frames forming the perimeter around the opening also receive steel profiles. In this case the bar

y HEB-400 para la parte inferior y laterales. Es decir se sustituye la armadura compuesta por barras corrugadas por perfiles metálicos.

La sección de acero necesaria se calcula de la misma manera y con el mismo modelo que en la solución con micropilotes. Es decir, se utilizan los mismos esfuerzos resultantes de aplicar la presión correspondiente a cada caso en el modelo del túnel con el hueco realizado.

Así, se calculan los cm^2 de acero necesarios y se comprueba si los perfiles son suficientes para cubrir las cantidades de acero calculadas. En algún caso se ha decidido soldar perfiles adicionales a los inicialmente calculados.

7. Conclusiones

Se han definido en los apartados anteriores soluciones para poder ejecutar las galerías de conexión transversales en el caso de tener dos túneles paralelos en construcción en terrenos de baja calidad geotécnica:

- La primera de ellas consiste en la sujeción de las dovelas cortadas con micropilotes. Éstos, además, realizarán una función de protección de la excavación posterior.
- La segunda solución se basa en que esta sujeción se consigue mediante una estructura metálica cuando no es necesario proteger la excavación mediante un paraguas pesado.
- Una vez aseguradas las dovelas con cualquiera de las dos soluciones, se procede a su corte y retirada, ejecutando después los marcos de entronque que delimitarán el hueco de la galería transversal y soportarán las cargas en fase de servicio.
- El condicionante de ejecución simultánea de túnel y entronque, es esencial a la hora del diseño de éstos últimos, pues conlleva el poder utilizar muy poco espacio para la ejecución de las fases constructivas.

Por lo tanto las dos soluciones dan respuesta a las necesidades generadas en estos momentos en la construcción de galerías transversales de túneles paralelos en terrenos difíciles.

8. Agradecimiento

El autor quiere agradecer a la UTE Abdalajís, a la UTE Abdalajís Oeste y la Dirección de la obra las facilidades dadas para publicar este artículo. ♦

reinforcement is replaced by HEB-500 plates set the upper part and HEB-400 plate in the lower part and sides.

The design steel section is calculated in the same way and with the same model as in the micropile solution. This then employs the same stresses resulting from the application of the corresponding pressure in each particular case in the tunnel model with opening.

The required area of steel is calculated and a verification is made to ensure that the profiles suitably cover the calculated amounts of steel. In some cases it has been decided to weld extra profiles in addition to those initially calculated.

7. Conclusions

The preceding sections have given a number of solutions for the construction of cross connecting galleries between parallel tunnels built in ground of poor geotechnical quality:

- *The first solution considers the use of micropiles to support the cut segments and to protect the subsequent excavation.*
- *The second solution considers this support by a steel structure when it IS not necessary to protect the excavation with heavy cover.*
- *Once the ring segments have been secured by either solution, they are then cut and removed and the junction encasements are then built to establish the opening to the connecting gallery and support the loads during the service stage.*
- *The fact that the tunnel and connection are built at the same time means that these latter have to be designed in such a way that they can be built within a very restricted area.*

The two solutions, subsequently, respond to the general requirements posed by the construction of cross connecting galleries between parallel tunnels in difficult terrain. ♦

Referencias/References

- Informe sobre el "Diseño de los entronques de las galerías transversales de conexión del túnel de Abdalajís". Octubre 2004. Intecsa-Inarsa.
- Proyecto de Construcción de Plataforma Ferroviaria de Alta Velocidad entre Córdoba y Málaga. Tramo Gobantes-Túnel de Abdalajís Oeste. Junio 2001. UTE Saitec - Synconsult.
- Proyecto Modificado de la Dovela en la línea ferroviaria de Alta Velocidad entre Córdoba y Málaga. Tramo Gobantes - Túneles de Abdalajís. Octubre 2002. Intecsa-Inarsa
- Revista "Tunnels and Tunnelling International". Septiembre 2003. Páginas 13 a 15.