

By-pass Sur M-30

Nombre de la obra Job Name

Obras de construcción de las calzadas izquierda y derecha de la conexión del Paseo de Santa María de la Cabeza con la M-30, by-pass sur, túnel norte y túnel sur.

Construction work of left and right roads connecting Paseo de Santa María de la Cabeza with M-30, southern by-pass, north tunnel and south tunnel.

Dirección de obra Site Supervision

Madrid Calle 30

Director de las obras Job Director Jorge Presa Matilla (ICCyP, Ayuntamiento de Madrid) (ICCyP, Madrid City Council)

Equipo dirección de obra Site supervision team Cristina Pérez Sánchez (ITOP, Ayuntamiento de Madrid) (ITOP, Madrid City Council) y Juan Carlos Díaz Morán (ICCyP, Madrid Calle 30) (ICCyP, Madrid Calle 30)

Redacción del proyecto Preparation of the project

TYPSA.

Autora del proyecto Author of the project Soñia Abajo González (ICCyP)

Asistencia técnica Technical coordination

TUNORTE UTE (GINPROSA-INTEMAC) (Túnel Norte)(North Tunnel)

Jefe de unidad Chief of Unit Miguel Ángel Munugarren Martínez (ICCyP)

Instalaciones Building Services Francisco Vázquez Buceta (Ingeniero industrial) (Industrial Engineer)

AEPIBE-30 (AEPO-IBERINSA) (Túnel Sur)(South Tunnel)

Jefe de unidad Chief of Unit Faustino Secades Gaona (ICCyP)

Instalaciones Building Services Francisco Vázquez Buceta (Ingeniero industrial) (Industrial Engineer)

Control de calidad Quality Control

UTE EPTISA-EUROESTUDIOS (Túnel Norte)(North Tunnel)

UTE GEOTEYCO-EUROCONTROL (Túnel Sur)(South Tunnel)

Presupuesto Completion

331.449.358,34 euros (Túnel Norte)(North Tunnel)

410.293.819,07 euros (Túnel Sur)(South Tunnel)

Año Completion

2009

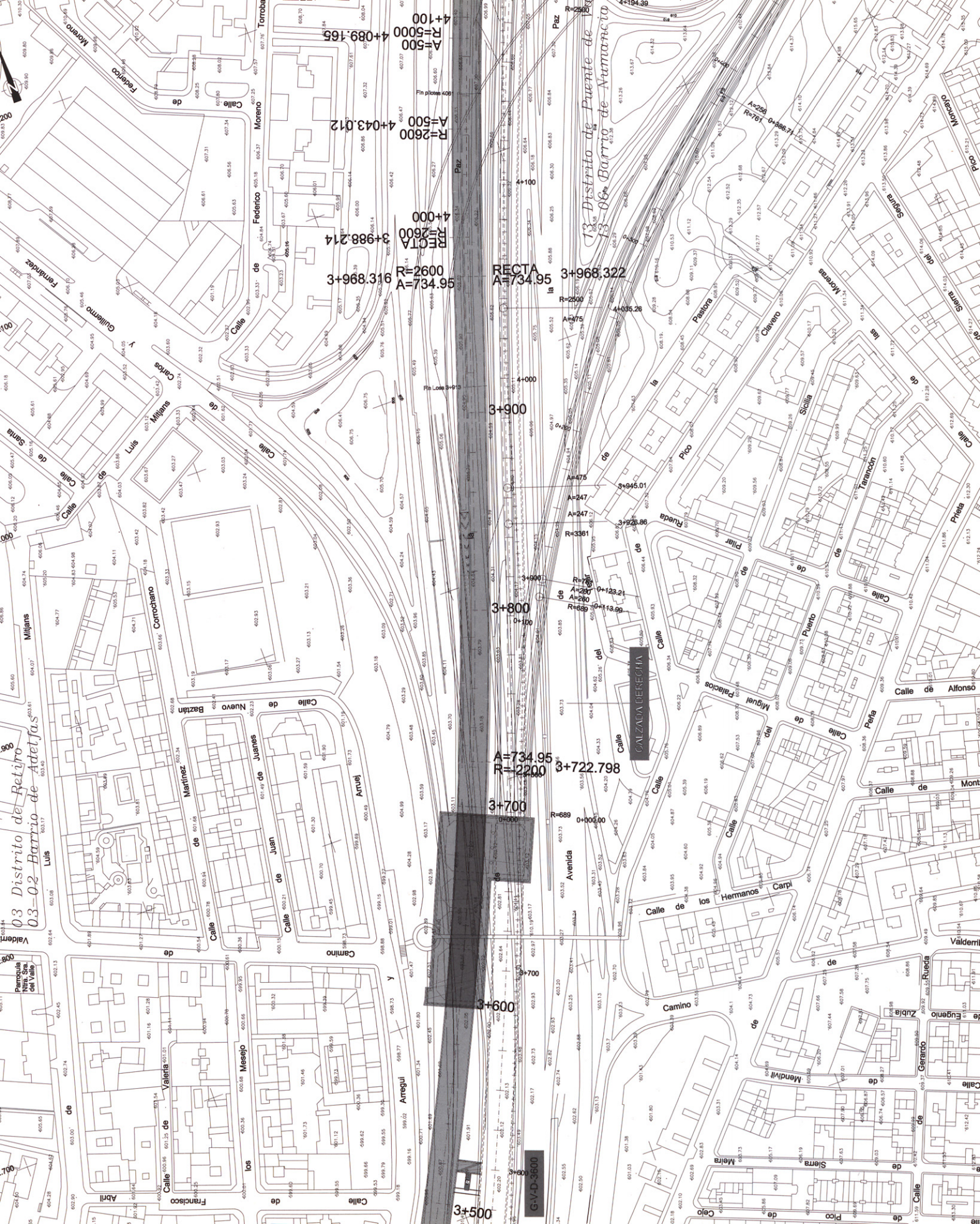
Fotografía Photography

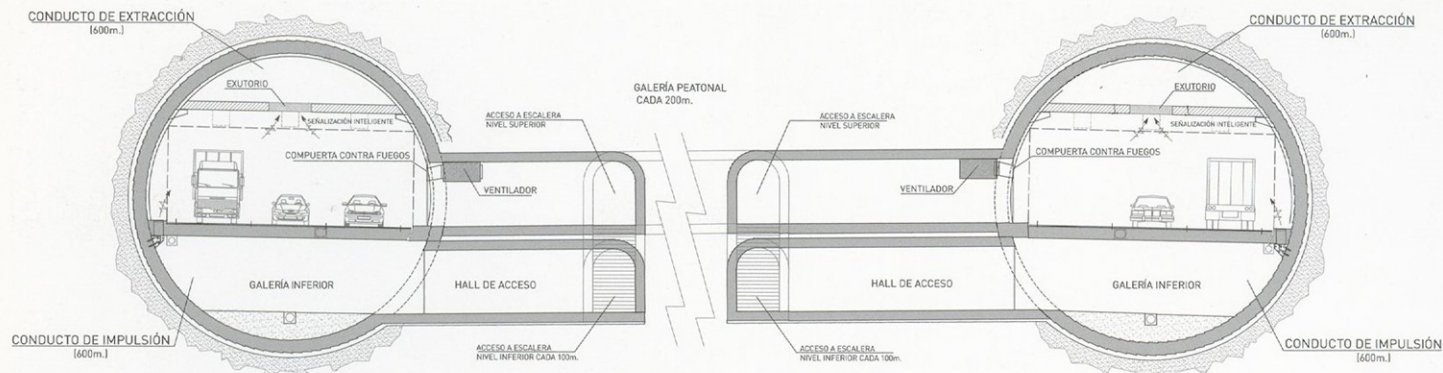
Madrid Calle 30



En esta página, actuaciones y obras del proyecto M-30. 1. Nudo de la Paloma. 2. Enlace de Costa Rica con la M-30. 3. Enlace de la A-2 con la M-30. 4. Nudo de O'Donnell. 5. Enlace de la A-3 con la M-30. 6. El nuevo eje de O'Donnell. 7. Túnel Norte O'Donnell. 8. Túnel Sur. 9. Soterramiento de la Avenida de Portugal. Nudo de conexión con la A-5. 10. Soterramiento de la M-30 Paseo del Marqués de Monistrol-Puente de Segovia-Puente de San Isidro. 11. Soterramiento de la M-30 entre el Puente de Praga y en Nudo Sur. 12. Conexión noroeste, ampliación de tres carriles. 13. Avenida de la Ilustración. 14. Nudo de conexión con la M-607. 15. Unión de Avenida de la Ilustración con la M-11. A la derecha, plano del enlace del by-pass sur con la A-3.

In this page, Construction work on the M-30 project. 1. La Paloma junction. 2. Intersection of Costa Rica with the M-30. 3. Intersection of the A-2 and M-30. 4. O'Donnell junction. 5. Intersection of the A-3 and M-30. 6. The new O'Donnell axis. 7. North O'Donnell tunnel. 8. South tunnel. 9. Underground stretch of Avenida de Portugal. Intersection with the A-5. 10. Underground stretch of the M-30 in Paseo del Marqués de Monistrol-Segovia Bridge-San Isidro Bridge. 11. Underground stretch of the M-30 between the Praga Bridge and the South Junction. 12. Northeast connection, expansion of three lanes. 13. Avenida da Ilustração. 14. Intersection with the M-607. 15. Merger of Avenida de la Ilustración with the M-11. To the right, plan of the M-30 southern bypass connection with the A-3.





SECCIÓN TRANSVERSAL CONJUNTA.
JOINT CROSS SECTION.

By-pass sur de la M-30 por Jorge Presa Matilla

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director de proyecto y obra del By-pass Sur de la M-30

Construcción de túneles con tuneladoras de gran diámetro. By-pass sur de la M-30

El By-pass Sur de la M-30 se configura como un trayecto alternativo a los movimientos este-oeste que se realizan en la zona sur de esta vía de circunvalación, acortando el recorrido en 1,5 kilómetros. Constituido por dos túneles gemelos unidireccionales, de 4.200 metros de longitud, permite la conexión directa entre el tramo sur de soterramiento de la M-30, tramo sur del río Manzanares a la altura del Paseo de Santa María de la Cabeza (A-42), con la M-30 en superficie en las proximidades de la avenida del Mediterráneo.

La actuación se completa con la conexión subterránea de los túneles del By-pass con la autovía A-3.

Forma parte de un itinerario subterráneo de 12 kilómetros de longitud conformado por la Avenida de Portugal, tramo soterrado del río, By-pass Sur y Conexión de la M-30 con la A-3.

Descripción de las obras

Para la construcción de los túneles se han utilizado dos tuneladoras EPB de última generación fabricadas *ex profeso*, capaces de realizar en tiempo récord (6,5 y 7,5 meses, respectivamente), dos túneles de 13,45 metros de diámetro interior, diámetro que se considera como el mínimo imprescindible para albergar vías urbanas de alta capacidad, con unas condiciones *razonables* de seguridad y funcionalidad.

Los túneles, sensiblemente paralelos, discurren a una distancia mínima de dos diámetros (30 metros) y una profundidad de rasante que varía entre los 23 metros iniciales en los *pozos de ataque* de las tuneladoras (un diámetro de montera sobre clave del túnel en el inicio y final de excavación) hasta una profundidad máxima de rasante de 75 metros en el tramo medio del trazado.

Los nuevos túneles nacen en los correspondientes pozos de introducción de las tuneladoras encargadas de su ejecución, uno de ellos situado junto al palacio de Cristal de Arganzuela (túnel sur del By-pass) y el otro en la actual M-30, en su tramo comprendido entre la avenida de la Albufera y la avenida del Mediterráneo (túnel norte del By-pass).

A lo largo de su trazado deben salvar el cruce con otras infraestructuras de transporte (líneas Metro 1, 3, 6; línea C5 de ferrocarril de cercanías, línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa, línea de alta velocidad Madrid-Sevilla y Puente de Vallecas (paso elevado de la M-30 sobre la avenida de la Albufera). Asimismo, los túneles discurren bajo más de 40 edificios situados sobre su vertical directa.

En la definición de su trazado en planta se ha optado por unos parámetros de diseño generosos (los radios mínimos adoptados son superiores a los 750 metros, lo que permite alcanzar velocidades de proyecto superiores a 80 kilómetros/hora) a la vez que se ha intentado encajar la

M-30 Southern By-pass by Jorge Presa Matilla

Civil Engineer.

Project Director and Site Supervisor of M-30 Southern By-pass

Construction of tunnels with large-diameter tunnel boring machines. M-30 Southern By-pass

The southern bypass of the M-30 is designed to be an alternative routing for east-west trips in the southern zone of this ring road, shortening the route by 1.5 kilometres.

Consisting of two identical, unidirectional tunnels that are 4,200 metres long, the bypass allows for a direct connection between the southern, underground stretch of the M-30, the southern stretch of the Manzanares River at the level of Paseo de Santa María de la Cabeza (A-42), and the surface-level M-30 near Avenida del Mediterráneo.

Completing the project is the underground connection of the bypass tunnels with the A-3 highway.

This is part of a 12-kilometre underground route formed by Avenida de Portugal, the underground stretch of the river, and the M-30 southern bypass and connector with the A-3.

Job description

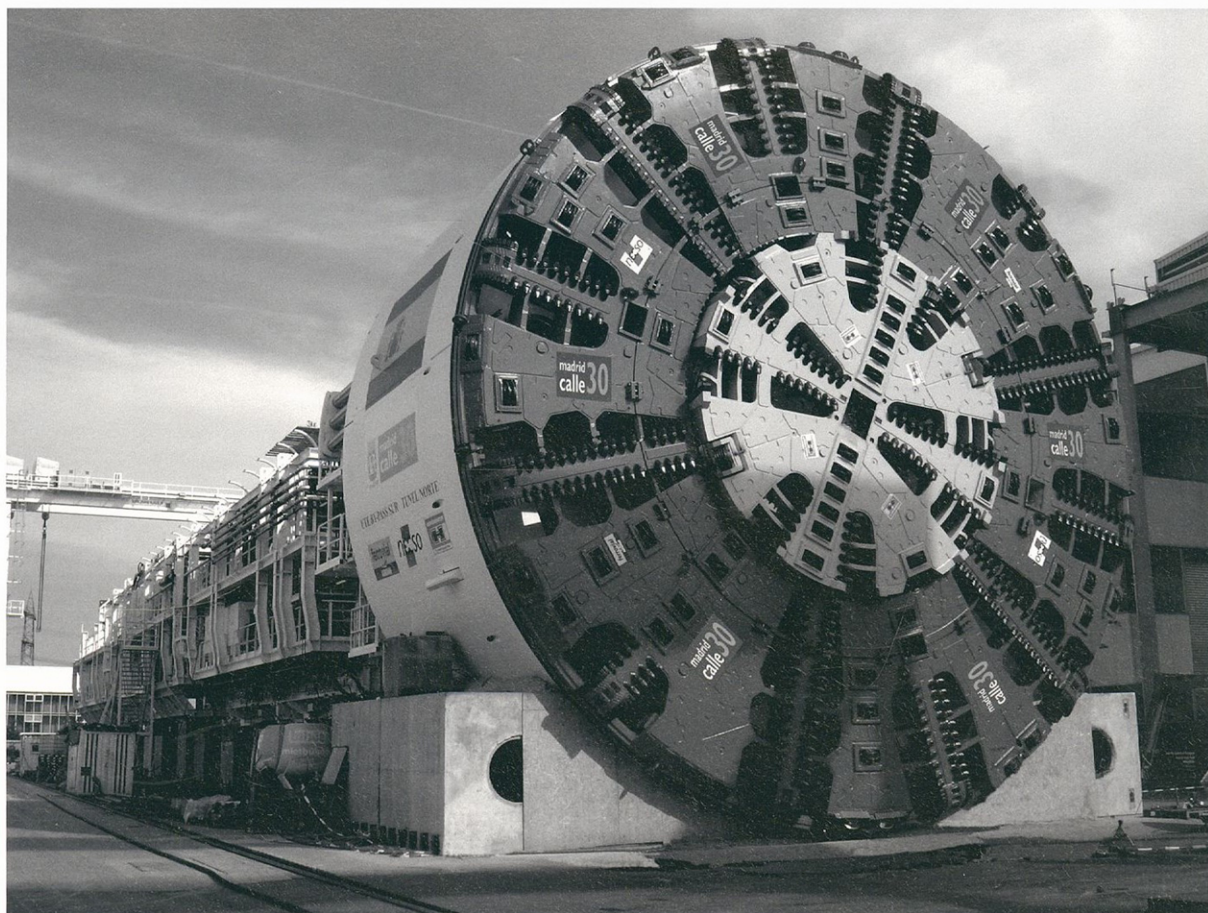
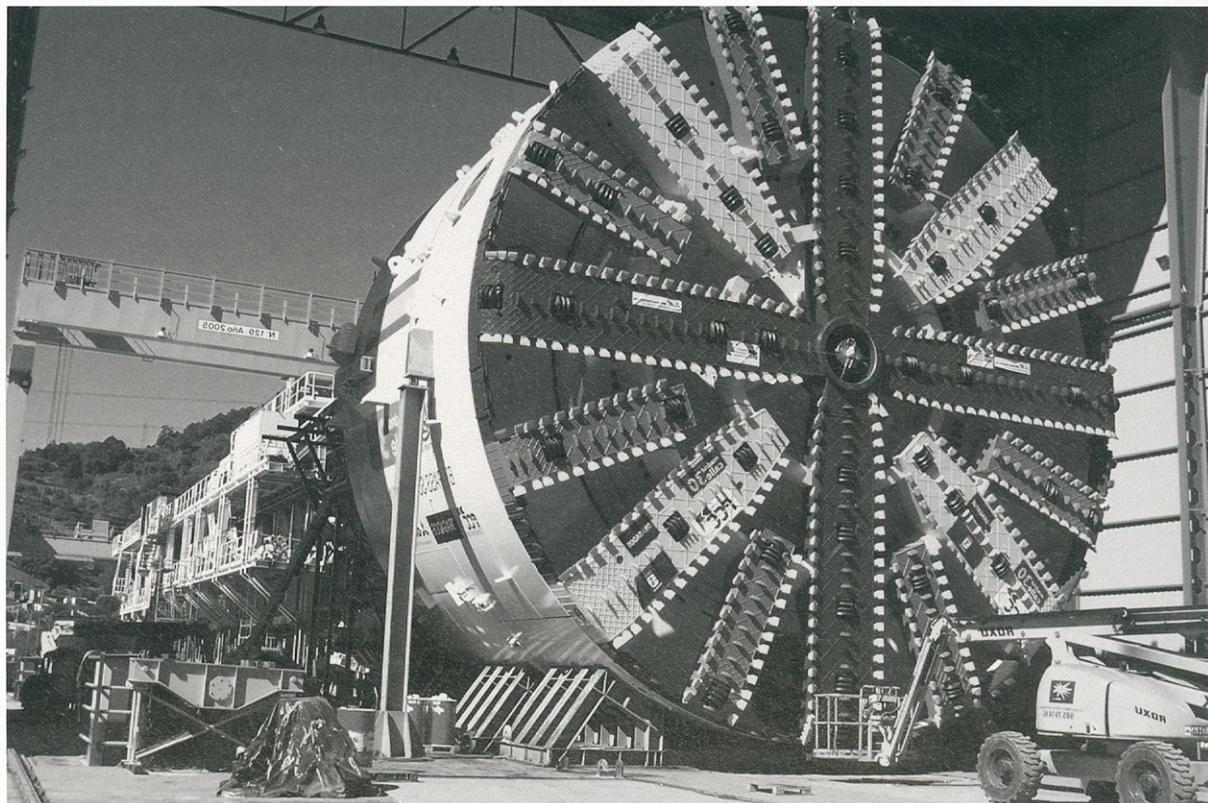
To construct the tunnels, two made-to-measure earth pressure balance (EPB) tunnel boring machines (TBMs) of the latest generation were used; they were able to build in record time (6.5 and 7.5 months, respectively) two tunnels with an interior diameter of 13.45 metres, the diameter considered the minimum necessary to hold high-capacity urban roads with *reasonable* conditions of security and functionality.

The tunnels run in parallel with a minimum distance of two diameters (30 metres) and an overburden varying from the initial 23 metres in the TBM launch and target shafts (a diameter of overburden above the tunnel keystone at the start and end of excavation) to a maximum overburden of 75 metres in the middle section.

The new tunnels begin in the tunnel boring machines' respective launch shafts, one located next to the Arganzuela Crystal Palace (south tunnel of the bypass) and the other at the current M-30, in the stretch between Avenida de la Albufera and Avenida del Mediterráneo (north tunnel of the bypass).

Where the route crossed other transportation infrastructure (Metro lines 1, 3, and 6; local rail line C5; high-speed rail line Madrid-Zaragoza-Barcelona-French border; high-speed rail line Madrid-Seville; and Vallecas Bridge (elevated crossing of the M-30 over Avenida de la Albufera), care had to be taken to preserve those intersections. At the same time, the tunnels run under more than 40 buildings located directly above them.

In the plan, generous design parameters were chosen (the minimum radius chosen was greater than 750 metres, allowing for proj-



Arriba la tuneladora Tizona (Túnel Sur). Sobre estas líneas la tuneladora Dulcinea (Túnel Norte).
The Tizona tunnel boring machine (South Tunnel), at top. The Dulcinea tunnel boring machine (North Tunnel), above.

mayor parte de su recorrido bajo rasantes de viario de superficie existente o bajo áreas ajardinadas (Parque Enrique Tierno Galván), lo que facilita las protecciones de los edificios así como permite minimizar cualquier posible afección a los mismos.

Su trazado en alzado, también generoso, queda condicionado por las características geotécnicas de los suelos, las distintas infraestructuras y edificios existentes sobre la traza, y las conexiones de los túneles en sus extremos.

Su sección transversal se distribuye en tres partes:

1. En la parte superior de la sección transversal del túnel se dispone una galería para extracción de aire viciado. Este aire es recogido a través de exutorios colocados en losa de techo, distribuidos uniformemente cada 25 metros y dotados de una rejilla de regulación de caudal. Luego es conducido por las galerías de extracción de aire de los túneles hasta los pozos de ventilación. Desde estos pozos de ventilación el aire viciado pasa a las estaciones de filtrado de partículas y depuración de gases para la retención y depuración de contaminantes. Una vez ha sido depurado, se procede a su expulsión a gran altura a la atmósfera exterior.
2. En la parte inferior de la sección se sitúa la galería de impulsión de aire fresco al interior del túnel, con inyecciones de aire a nivel de acera. Asimismo estas galerías, de ancho superior a 5 metros y gálibo libre 3,90 metros, realizarán simultáneamente funciones de galería de servicios del propio túnel, de galería de accesos de vehículos de salvamento y de galería de evacuación de usuarios en caso de siniestro.
3. En la parte media se dispone la calzada del túnel. El ancho útil interior (13,45 metros) permite disponer tres carriles de circulación de 3,5 metros de ancho cada uno, arcones de 0,20 metros y aceras de 0,90 metros, lo que supone un gálibo horizontal de 12,70 metros y un gálibo vertical libre de 4,50 metros.

Debido a la gran profundidad a la que discurren los túneles, y con objeto de garantizar la evacuación de usuarios en caso de incidente grave en uno de ellos, se ha previsto, en cumplimiento de las normativas y recomendaciones internacionales más exigentes, la evacuación de usuarios a las galerías inferiores de los túneles cada 200 metros y la evacuación de vehículos de un túnel sobre otro mediante galerías transversales de conexión entre los mismos dispuestas cada 600 metros. Estas galerías, de conexión entre túneles y de éstos con las galerías inferiores de la sección, están dotadas de los correspondientes vestíbulos de independencia presurizados que evitan el paso del fuego y el humo al recorrido de evacuación.

El sistema de evacuación se completa con trampillas de emergencia situadas en las aceras del túnel, que permiten el acceso a la zona de circulación del túnel de los equipos de salvamento desde las galerías de impulsión de aire fresco situadas en la parte inferior de la sección, así como una posible evacuación asistida de usuarios en caso de que fuera necesario.

La evacuación directa de los túneles al exterior se realiza mediante siete salidas de emergencia, uniformemente distribuidas a lo largo de su trazado.

Procedimiento constructivo. Excavación mecanizada con maquinaria de alto rendimiento (Tuneladoras de presión de tierras EPB)

Para la construcción del 90% de la longitud de los túneles del By-pass Sur de la M-30 (3.600 ml en cada uno de ellos), era obligado utilizar procedimientos sofisticados de excavación mecanizada con maquinaria de alto rendimiento, como son las dos grandes tuneladoras de presión de tierras (EPB) empleadas en la construcción del By-pass Sur.

Las ventajas principales de este método de construcción son las siguientes:

- Máxima seguridad para los trabajadores en el interior del túnel.
- Máxima seguridad para los edificios e infraestructuras de superficie.
- Mínima superficie de frente abierto del túnel en todo momento, lo que se traduce en mínimos asientos sobre la vertical del túnel.
- Altos rendimientos en la ejecución de la obra.

El principio fundamental de funcionamiento de las tuneladoras EPB es el de excavación con frente de avance contenido, con equilibrio de presión de tierras en el frente, gracias a la cámara de escombros situada en la parte delantera del escudo, a la vez que se realiza el revestimiento simultáneo de la excavación (revestimiento definitivo del túnel con anillos de dovelas) al paso de la cola del escudo.

Esta técnica de excavación es obligada cuando se pretende la realización de túneles largos y profundos en plazos de tiempo reducidos.

Los rendimientos medios mensuales alcanzados por las tuneladoras del By-pass Sur han sido de

ect speeds greater than 80 km/hour); efforts were also made to locate the majority of the underground route beneath existing surface roads or under park areas (Park Enrique Tierno Galván) to facilitate protection for buildings as well as allowing any possible effect on them to be minimized.

The elevation, also drawn up with generous parameters, was conditioned by the geotechnical characteristics of the soil, the various infrastructure and buildings along the route, and the tunnel connections on the ends.

The cross section is distributed in three parts:

1. The upper part of the tunnel cross section has an air extraction gallery. Air is gathered through extractors placed uniformly throughout the ceiling every 25 m. with air flow regulation grilles. Air is drawn out by the extraction gallery to the ventilation shafts. From the ventilation shafts the contaminated air goes through particle filtration and fume treatment stations to retain and clean out pollutants. Once the air has been treated, it is expelled outside at a high altitude.
2. The fresh air ventilation gallery is located in the lower part of the section, with fresh air intake at pavement level. At the same time, these galleries, with a width greater than 5 metres and clearance of 3.90 metres, also serve as service galleries for the tunnel, as access for rescue vehicles and as evacuation tunnels for users in case of accident.
3. The tunnel road is located in the middle part. The useable interior width (13.45 m) allows for three traffic lanes of 3.5 metres wide each, hard shoulders of 0.20 metres, and sidewalks of 0.90 metres, thus making for horizontal clearance of 12.70 metres and vertical clearance of 4.50 metres.

Due to the great depth at which the tunnels are located and with the goal of guaranteeing the evacuation of users in case of serious incidents, in keeping with the strictest international norms and recommendations, user evacuation to the lower galleries of the tunnels has been planned for every 200 metres; vehicle evacuation from one tunnel to the other by means of crossing connection tunnels is every 600 metres. These galleries, connecting the roadway tunnels between themselves and connecting those parts to the lower galleries of the section, have the corresponding independent pressurized chambers to prevent fire and smoke from entering the evacuation route.

The evacuation system is completed with emergency trapdoors located in the sidewalks of the tunnel, which allow access to the tunnel circulation zone for rescue teams from the fresh air ventilation galleries located in the lower part of the tunnel section, as well as allowing for possible assisted evacuation for users in case of necessity.

The direct evacuation route from the tunnels to the outside is by means of seven emergency exits that connect directly to the exterior, distributed uniformly along the length of the tunnels.

Construction sequence. Automated excavation with high performance machinery (Earth pressure balance tunnel boring machines)
For the construction of 90% of the southern bypass of the M-30 (3600ml in each tunnel) it was necessary to use sophisticated techniques of automated excavation with high performance machinery - the two large EPB tunnel boring machines used in the construction of the southern bypass.

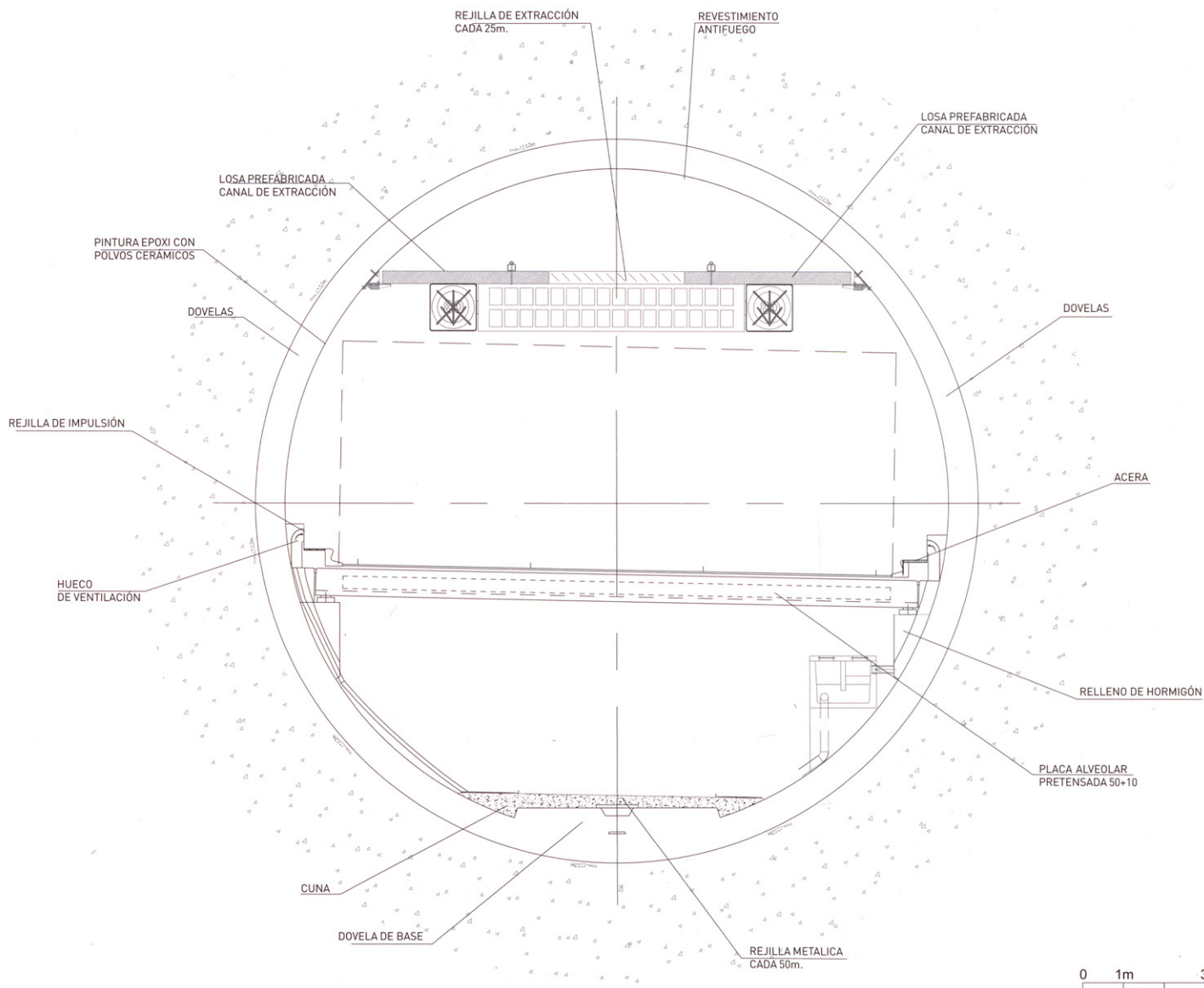
The principle advantages of this construction method are the following:

- Maximum security for workers inside the tunnel.
- Maximum security for surface buildings and infrastructure.
- Minimum frontal surface area open for the tunnel at any one time, which means the minimum amount of deposits on the tunnel's vertical line
- High output during construction.

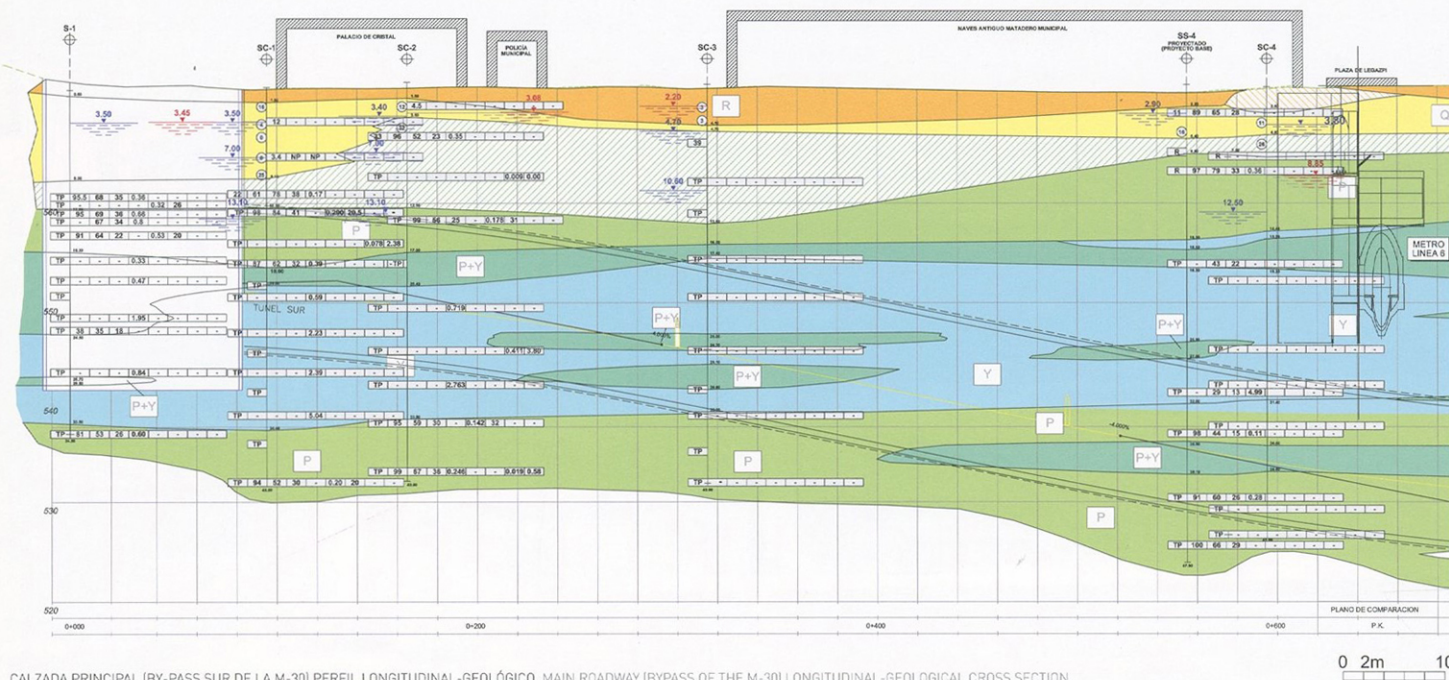
The main principle of how EPB borers work is that they maintain a stable environment as they excavate, keeping a balanced equilibrium between earth and pressure, thanks to the chamber for excavated material in the front part of the shield, while at the same time making the tunnel lining (definitive tunnel lining with voussoir rings) for the excavation as the back end of the shield passes.

This excavation technique is necessary when the goal is to complete long and deep tunnels in short periods of time.

The average monthly output reached by the southern bypass TBMs was between 15 and 18 metres/day respectively, reaching monthly



TÚNELES EPB. ESTRUCTURAS INTERIORES DEL TÚNEL. SECCIÓN TIPO.
EARTH PRESSURE BALANCE (EPB) TUNNELS. INTERIOR TUNNEL STRUCTURES. TYPICAL CROSS SECTION.



CALZADA PRINCIPAL (BY-PASS SUR DE LA M-30) PERFIL LONGITUDINAL-GEOLÓGICO. MAIN ROADWAY (BYPASS OF THE M-30) LONGITUDINAL-GEOLOGICAL CROSS SECTION.



15 metros/día y 18 metros/día respectivamente, alcanzándose máximos mensuales de 750 metros/mes y 930 metros/mes. Todo un récord en la construcción de túneles de estas dimensiones.

Estructura continente de los túneles

El propio sistema constructivo de ejecución del revestimiento con tuneladora, así como la velocidad de ejecución simultánea de la excavación y del citado revestimiento (con rendimientos máximos de hasta 46 metros/día en un solo túnel), exigían, no sólo la adopción de elementos prefabricados para la construcción de la estructura continente (anillos de dovelas prefabricadas) y para la construcción de la estructura contenida (losa de tráfico y losa de techo), sino también la construcción de plantas de prefabricados de alto rendimiento y producción ininterrumpida.

El anillo del túnel fue diseñado, en fase de proyecto, para soportar tanto los esfuerzos mecánicos exteriores (empujes del terreno, presión de gatos de empuje sobre canto de dovelas de anillo montado, presión de agua, etc.) e interiores (cargas de losas de tráfico y losas de techo apoyadas en el anillo), como los esfuerzos térmicos a los que podría verse sometido en caso de incendio violento en el interior del túnel.

Como conclusión, en el proyecto se adoptó un anillo universal compuesto por 10 dovelas prefabricadas de 0,60 metros de canto que conformaban anillos de dos metros de longitud, con 19 posiciones posibles, al objeto de adaptar la construcción de los sucesivos anillos a la geometría prevista en el trazado en planta y alzado del túnel.

Aprovechando sus características de elemento prefabricado, se adicionaban fibras de polipropileno en planta para reducir el efecto de *spalling* (efecto de rotura superficial brusca del hormigón por fuerte incremento de temperatura) en el hipotético caso de que tuviera que soportar un fuego violento (fuego tipo de la curva de hidrocarburos mayorada durante 120 minutos, HCM120)

maximums of 750 and 930 metres/month. That is a record for construction of tunnels of these dimensions.

Container structure of the tunnels

The system of laying a surface lining with the TBM itself as well as the speed of the simultaneous operations of excavation and lining (with maximum output of up to 46 metres/day in a single tunnel) requires not only the use of prefabricated elements for the container structure (prefabricated voussoir rings) and for the construction of the content structures (road and ceiling slabs), but also the construction of plants that can provide a high output and uninterrupted production of prefabricated elements.

The tunnel ring was planned during the design phase to support mechanical forces from both the exterior (pressure from terrain, pressure from the power jack on the edge of the mounted voussoir rings, water pressure, and so on) and interior (road slab loads and ceiling slabs supported on the ring), as well as the thermal forces that it might be subjected to in case of a severe fire inside the tunnel.

As a result, the ring design adopted was a universal ring consisting of 10 prefabricated voissors with edges of 0.60 metres, forming rings two metres long and with 19 possible positions for the ring, with the object of adapting the construction of successive rings to the geometry laid out in the tunnel plan and elevation.

To take advantage of the characteristics of prefabricated elements, polypropylene fibres were added during production to reduce the effects of spalling (an effect in which pieces of the concrete flake off due to sharp increases in temperature) in the hypothetical case that the elements would be subject to a severe fire (fire type of the hydrocarbon modified curve for 120 minutes, or HCM 120).



Interior de uno de los túneles con la losa de tráfico ejecutada. Interior of one of the tunnels with the road slab completed.

Estructura contenida en los túneles

a) Losas de tráfico: Debía diseñarse un tipo de losa prefabricada (para reducir plazos) de fácil construcción, transporte (tanto a obra como dentro del propio túnel) y colocación. Con objeto de no producir retrasos en la obra, debían construirse y colocarse con unos rendimientos en el entorno de los 200 metros/semana.

Para ello se proyectaron losas prefabricadas pretensadas y aligeradas, de 12 metros de vano (correspondientes al ancho de la plataforma de rodadura y aceras) y 1,20 metros de ancho, y con un canto de 0,55 metros, en uno de cuyos lados mayores disponían de un rebaje para hormigonado de junta entre piezas sucesivas. Este hormigonado de juntas se realizaba una vez por semana.

Aprovechando su prefabricación, fueron añadidas las correspondientes fibras de polipropileno antes del amasado del hormigón, para evitar el efecto *spalling* en caso de incendio violento.

La colocación se realizaba en avances sucesivos, de 1,20 metros, sobre la plataforma de rodadura construida anteriormente, apoyando las piezas sobre cuatro neoprenos dispuestos dos a dos sobre las ménsulas previamente hormigonadas *in situ* con encofrados deslizantes. La conexión entre ménsulas y dovelas se realizaba mediante anclajes de barras con resina, previa perforación de las dovelas para su colocación.

De esta forma quedaba construida la losa de rodadura que a su vez sirve de cierre de la galería inferior, con funciones de galería de evacuación, de acceso de vehículos de emergencia (gálibo 3,90 metros), de canal de inyección de aire fresco al túnel y de galería de servicios para las distintas instalaciones del túnel.

b) Losa de ventilación: Se diseñaron losas de placas alveolares prefabricadas y pretensadas, de 9,30 metros de vano, 1,20 metros de ancho y 0,25 metros de canto, apoyadas sobre ménsulas metálicas abatibles de un metro de longitud divididas en dos piezas independientes de 0,50 metros.

El rendimiento de colocación obtenido fue del orden de los 200 metros/semana.

Content structures in the tunnels

a) Road slabs: A type of prefabricated slab (to reduce construction time) needed to be designed that could be easily constructed, transported (both to the site as well as in the tunnel itself) and laid.

To avoid construction delays, the slabs needed to be constructed and laid with an output of some 200 metres/week.

To meet that goal, what was chosen for use were prefabricated voided slabs of pre-stressed concrete with a span of 12 metres (corresponding to the width of the platform of the roadway and the sidewalks) and a width of 1.20 metres, and with edges of 0.55 metres, with one side lower to allow for concreting the joints between adjoining pieces. This concreting of joints was done once a week.

Taking advantage of the prefabrication, polypropylene fibres were added before mixing the concrete to avoid spalling effects in case of severe fire.

Slabs were laid in successive advances of 1.20 metres each on the previously constructed roadway platform, with pieces supported on four neoprene underlays arranged two by two on the corbels that were previously concreted *in situ* with sliding timbers. The connections between the corbels and the *voissoirs* were made by means of anchor bars with resin, with *voissoirs* previously drilled for their placement.

This was the method for construction of the roadway slab which at the same time served to close the lower gallery; that gallery functions as an evacuation gallery, for access for emergency vehicles (clearance of 3.90 metres), as a channel for ventilation of fresh air into the tunnel, and as a service gallery for the various tunnel services equipment.

b) Ventilation slabs: Prefabricated and prestressed slabs of alveolar sheets with a span of 9.30 metres, width of 1.20 metres, and an edge of 0.25 metres were designed; they are supported by folding metal corbels of 1.00 metre long divided into two independent pieces of 0.50 metre.

They were laid with an output of approximately 200 metres/week.