20) LAUREANO CORNEJO ÁLVAREZ

Cumbre Portuaria y Ferroviaria Colombo-Española Cali (Colombia). 15-16-17 Septiembre 1997.

Publicación:

"Las obras subterráneas y el transporte urbano e interurbano".

LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS Y EL TRANSPORTE URBANO E INTERURBANO

D. Laureano Cornejo Alvarez
Presidente de GEOCONSULT

1.- NECESIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS EN ZONAS URBANAS E INTERURBANAS

La saturación de tráfico en superficie es un hecho patente que sufren las grandes ciudades. Esta saturación plantea un cúmulo de problemas graves que exigen soluciones inaplazables.

Estos problemas son de diverso tipo:

* Económicos

Derivados de los incrementos de los tiempos empleados en los trayectos.

* De Impacto Medio-Ambiental

Derivados de la contaminación.

* De calidad de vida

Molestias a los ciudadanos (ruidos, vibraciones, aumento de la temperatura ambiental y riesgos para la salud de las personas).

La solución a estos problemas viene dificultada por la escasez de espacios útiles en superficie en las zonas de mayor concentración urbana.

Por otra parte en las grandes ciudades, impera la tendencia, por exigencias de la calidad de vida y de la protección de edificios notables, de limitar el tráfico en superficie en el centro urbano con objeto de construir parques y zonas peatonales.

Estos condicionantes enunciados obligan a pensar en utilizar el subsuelo de las ciudades mediante la construcción de importantes obras subterráneas que permitan la implantación de redes de tráfico.

El espacio subterráneo ofrece el potencial más prometedor para los transportes urbanos e interurbanos.

Las obras subterráneas urbanas proporcionan un impacto positivo ya que:

- Evitan o reducen las dificultades de tráfico en superficie.
- Liberan espacios en superficie de alto valor económico para otros usos (Pasillo verde Norte-Delicias en Madrid).
- Reducen las molestias a los usuarios del transporte y a los ciudadanos.
- Evitan expropiaciones, costosas, demoliciones de edificios y tala de árboles.
- Protegen el medio ambiente.

Por otra parte, la tecnología del diseño y construcción de las obras subterráneas ha experimentado un notable avance, lo que está permitiendo construir en el subsuelo con una mayor confianza, rapidez, seguridad y economía.

Los costos de construcción de obras subterráneas, se van reduciendo cada día y tienden a aproximarse a los costos de ejecución con los métodos de cielo abierto (open cut) y falso túnel (cut and cover) que son cada día peor aceptadas por la ciudadanía por las molestias que generan.

Asistimos en el momento presente a un incremento explosivo en el número de obras subterráneas urbanas. Como dato de referencia, diremos que en la ciudad de Madrid se encuentran actualmente en fase de ejecución más de 24 Km. de nuevas líneas de Metro.

2.- INFRAESTRUCTURA SUBTERRÁNEA PARA EL TRAFICO URBANO

La concentración del tráfico de superficie en el centro de las grandes ciudades, exige proyectar redes de tráfico que discurran parcial o totalmente por el subsuelo de la ciudad. Para ello es necesaria la construcción de obras subterráneas urbanas como:

- Rampas y pozos de acceso.
- Túneles de línea y estaciones.
- Túneles carreteros.
- Pasos subterráneos para cruce de zonas de alta densidad de tráfico en superficie.

3.- SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

De una manera sucinta se resume en la **TABLA 1** los sistemas de transporte urbano y sus características principales.

Estos sistemas de transporte, y cualquier combinación entre ellos, pueden ser adoptados para satisfacer las necesidades específicas que el transporte de las grandes ciudades pueda plantear.

4.- DISEÑO DE NUEVAS REDES URBANAS DE TRAFICO, INVERSIONES Y COSTOS

Como ya hemos dicho, en las grandes ciudades el problema del tráfico de superficie es de tal envergadura que muy poco se resuelve con acciones tímidas y aisladas.

TRANSPORTE		SITUACIÓN CON SUPERFICIE	SISTEMA DE TRANSPORTE	MODALIDAD DE TRANSPORTE	EJEMPLOS
TERRESTRE	CALZADA	SUPERFICIE	Vehículos Automóviles/Trolebuses		
		PLATAFORMA ELEVADA	Vehículos Automóviles/Trolebuses		
		SUBTERRÁNEO	Vehículos Automóviles		• MT. Baker Ridge Tunnel Seattle. Washington • Túneles Sinesio Delgado. Madrid • Túneles Cierre Norte M-40. Madrid • Tannerberg-Fäsenstaub. Túnel Alemania • Autopistas subterráneas. Grenoble, Francia. • Autopistas subterráneas de circunvalación, Paris. Proyecto láser. • Red subterránea bajo el Complejo de Azca. Madrid. • Basic Transport System (BTS). Praga.
	VÍA FÉRREA	SUPERFICIE	Tranvía		
		PLATAFORMA ELEVADA	Metro Ligero		
		SUBTERRÁNEO	Metro Pesado	Sobre Rail	• Métros de Madrid, Barcelona, Bilbao, Washington, París y Viena. • Metro Ligero: Metro de Lille, Sistema automático de gálibo reducido.
				Rail+Ruedas de goma sobre pistas rodantes (Tire-Type electric rail road)	• Sistema VAL (Toulouse, Bordeaux, Rennes)
				Suspensión Macnética	• Swiss Metro en proyecto
			Metro Ligero	Sobre Rail	• Expresse Métro Meteor. Paris • Metro de Lille, automático de gálibo reducido. Sistema VAL.
				Rail+Ruedas de goma sobre pistas rodantes (Tire-Type electric rail road)	-
				Suspensión Macnética	-
		SUBTERRÁNEO-SUPERF (SUBURBANO, SUBWAY)	Pesado	Sobre Rail	• Suburbanos de Madrid, Barcelona, Bilbao, Washington, Paris y Viena.
				Rail+Ruedas de goma sobre pistas rodantes (Tire-Type electric rail road)	• Metro de Caracas • Metro Santiago de Chile
				Suspensión Macnética	-
			Ligero	Sobre Rail	• Sistema LRT Minneapolis-Lt. Paul. USA • Anillo suburbano. Tokyo
				Rail+Ruedas de goma sobre pistas rodantes (Tire-Type electric rail road)	• Sistema VAL, (MATRA)
				Suspensión Macnética	• Sistema alemán y japonés
		SUPERFICIE-SUBTERRÁNEO (TRENES DE CERCANÍAS) (COMMUTER RAILWAY)	Ferrocarril Ligero (Light Railway)	Sobre Rail	• Trenes de Cercanías, Madrid, Barcelona, etc. • Eje transversal, Madrid. (En Proyecto). • New Transportation System Hiroshima.
				Rail+Ruedas de goma sobre pistas rodantes (Tire-Type electric rail road)	• Sistema VAL (MATRA) Automático
				Suspensión Macnética	-
MARÍTICO/FLUVIAL			TRANSBORDADOR	-	-
AÉREO			HELICÓPTERO	-	-

TABLA 1.- SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

Una solución radical de los problemas de tráfico exige diseñar y realizar proyectos capaces de ejercer un gran impacto en el medio urbano que permitan reinventar un nuevo modelo urbanístico que los tiempos futuros reclaman para las grandes ciudades.

Estas acciones no deben considerarse únicamente como deseables o convenientes, sino como absolutamente necesarias para favorecer el crecimiento de las grandes ciudades haciéndolo compatible con el bienestar de sus ciudadanos.

Estas acciones deben diseñarse de acuerdo con las necesidades y peculiaridades de cada núcleo urbano, y exigen realizar unos estudios muy minuciosos y rigurosos que deben ser desarrollados por equipos interdisciplinares de técnicos expertos.

De un modo general las principales acciones que pueden adoptarse se concretarían en las siguientes:

a) Desarrollo de líneas de Metro (Urban Underground rapid transit systems)
b) Desarrollo de líneas de tren ligero suburbano (Light rail subway transit systems)
c) Desarrollo de la red ferroviaria de cercanías (Commuter railway)
d) Construcción de autopistas subterráneas (Urban underground roads)
e) Desarrollo del transporte colectivo de superficie.

Estas acciones deben proyectarse con las necesarias conexiones entre los diferentes sistemas de transporte (conexiones intermodales), y complementarse con las siguientes medidas:

- Soterramiento de las líneas de ferrocarril que penetren en el casco urbano de la ciudad
- (Pasillo Verde Norte-Delicias en Madrid).
- Construcción de aparcamientos subterráneos en el núcleo urbano y disuasorios en superficies a las afueras de las ciudades.

- Suprimir o limitar el tráfico rodado de vehículos privados potenciando los transportes colectivos en el centro de la ciudad, incrementando las zonas peatonales.

La implantación de los sistemas de transporte urbano necesitan fuertes inversiones, principalmente cuando las obras a realizar son subterráneas.

En Alemania, los costos de ejecución de los Metros varían entre 4.800-8.000 x 10^6 Pta/km (1986).

En Holanda, el Metro de Amsterdam, por causa de las condiciones difíciles del terreno, los costos de ejecución son del orden de 11.000 x 10^6 Pta/km (1986).

En Francia los Metros de París, Marsella, Lille tienen unos costos que varían entre 3.500-7.000 x 10^6 Pta/km. (1990)

En España, los costos del Metro de Madrid varían entre 3.000-5.000 x 10^6 Ptas./km. (1990)

Los elevados costos de implantación de estos sistemas de transporte, solo se justifican por sus positivos efectos y los beneficios que éstos producen. Se hace necesario, por tanto, un estudio riguroso de la viabilidad de los proyectos evaluando las inversiones necesarias, los costos de construcción y explotación y su tasa de rentabilidad.

La utilización del subsuelo para resolver los problemas de tráfico, por los elevados costos que generan, únicamente debe abordarse cuando quede demostrado que es absolutamente necesario por la imposibilidad de resolverlos sólo con medidas de transporte desde superficie.

En la actualidad un centenar de ciudades de más de un millón de habitantes están proyectando y desarrollando sistemas de transporte urbano para un futuro próximo.

Fundamentalmente son dos las acciones que se están desarrollando : la utilización de sistemas de transporte ferroviario (metro, suburbano y tren de cercanías) y el transporte rodado en zona urbana a través de carreteras o autopistas subterráneas.

4.1.- Los Transportes Ferroviarios Urbanos

En el ámbito de los transportes ferroviarios urbanos, algunos de los proyectos más signiticativos de reciente realización o en curso y reseñados a título de ejemplo son:

* **MADRID**

Es sobradamente conocido por todos, los problemas de tráfico urbano que soporta la ciudad de Madrid como consecuencia del uso masivo del automóvil; más de 500.000 vehículos acceden diariamente al centro de la ciudad y más de 400.000 pasajeros llega a través de las líneas de cercanías.

Para mejorar el transporte en el casco urbano y entre los núcleos de población próximos al mismo, se han diseñando distintos planes de actuación como:

- Ampliación de la red de Metro. (en ejecución) (**Foto 1**).
- Línea de suburbano ligero (en ejecución) que conecta Madrid y las poblaciones vecinas de Alcobendas y San Sebastián de los Reyes con una inversión estimada de 7.000 millones Pts. (1990) gestionada por un Consorcio (Ministerio de Fomento, Comunidad y Ayuntamiento de Madrid).
- Plan Intermodal de Transportes de Madrid con una inversión prevista de 70.000 millones Pts. (538 M.$) durante el período de 1993-2007. (**Figura 1**).

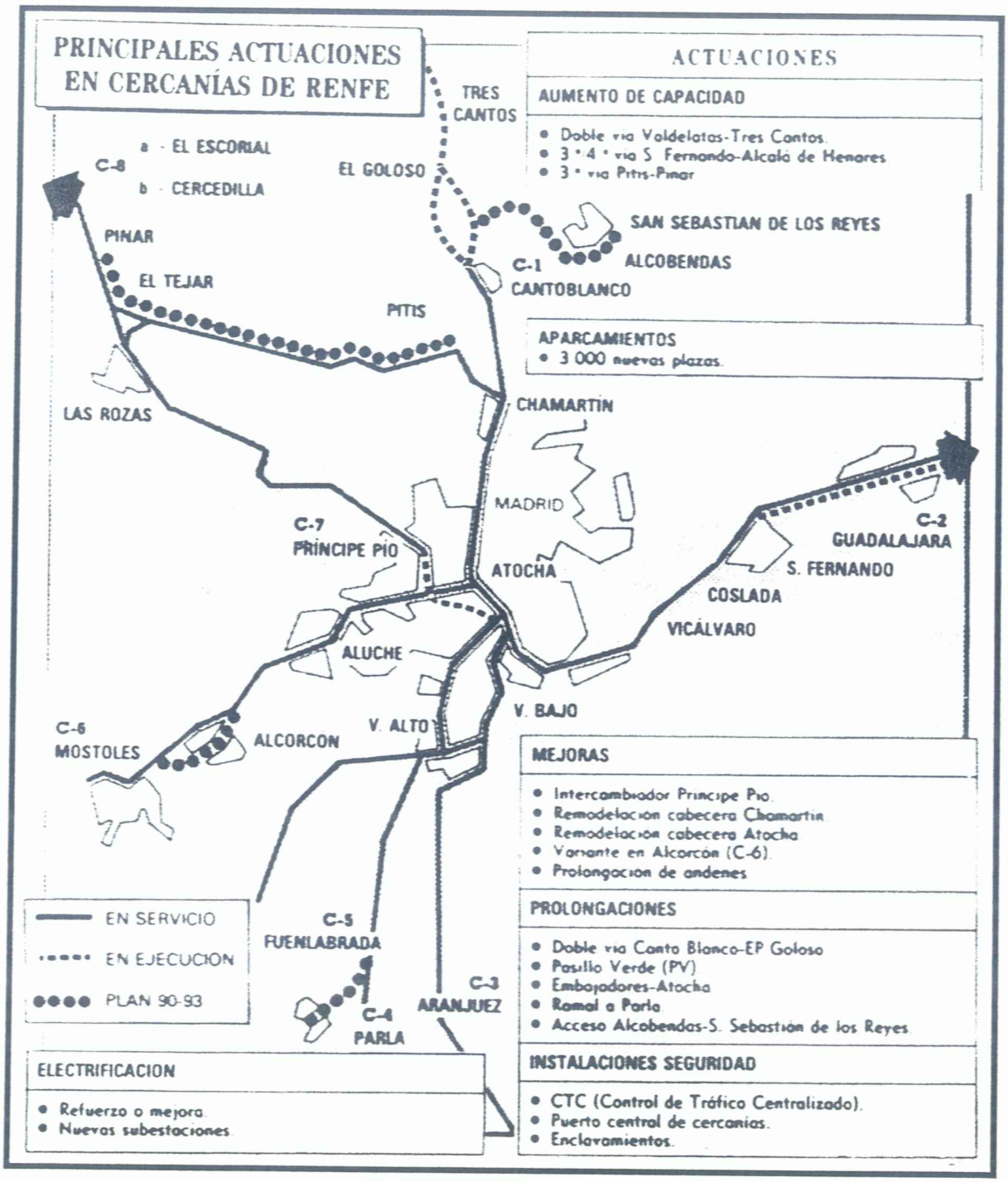


FIGURA 1.-PLAN INTERMODAL DE TRANSPORTES DE MADRID

FOTO 1.- ESTACIÓN DE LA RED DEL METRO DE MADRID

- Futuro ferrocarril exprés regional. Se proyecta como un eje exprés transversal Ferroviario Este-Oeste desde el corredor del Henares hasta Móstoles, a través de Barajas y Campamento.
- Soterramiento del trazado ferroviario Príncipe Pío-Delicias, ya realizado, con una longitud de 8 km, un presupuesto de 10.721 millones de pesetas (72 M.$), un plazo de ejecución de las obras de 19 meses; será gestionado por un consorcio Ayuntamiento de Madrid-RENFE.

Una mención especial merece el proyecto de ampliación del Metro de Madrid, que actualmente se encuentra en plena fase de realización.

En Julio de 1995 la longitud total de la red era de 116,5 Km. Actualmente se encuentran en fase de ejecución más de 24 Km. de líneas nuevas, que permitirán ampliar la cobertura de la

cobertura de la red en las zonas periféricas, así como estructurar la circulación interior creando nuevas líneas pasantes que atraviesan el centro de la ciudad.

En el cuadro que se incluye a continuación se resumen las ampliaciones previstas en el periodo 1995-1999.

Línea	Tramo	Longitud (m)	Estaciones	Met. ejec.	Fecha finaliz.
1	1	2000	3	Met. tradic.	1999
4	1	2000	2	E.P.B.	1997
7	1	1250	1	Met. tradic.	1998
7	2	2200	4	E.P.B.	1998
7	3	2400	2	E.P.B.	1998
7	4	3600	6	E.P.B.	1998
8	1	1650	1	Met. tradic.	1998
9	1	5100	4	E.P.B.	1998
10	1	800	1	E.P.B.	Finalizado
10	2	700	1	Met. tradic.	Finalizado
11	1	2000	3	-	En licitación
Rec. ferial.	1	2300	3	E.P.B.	1999
Total	-	26000	-	-	-

En el plano que se adjunta a continuación puede verse de manera más detallada la ampliación de la red prevista en este periodo. **Figura 2**

Con un horizonte más lejano, y haciendo uso de los fondos de financiación aportados por la Unión Europea, está prevista la realización de nuevas ampliaciones, algunas de ellas de gran importancia.

- Prolongación de la nueva línea en ejecución desde los recintos feriales hasta conectar con el aeropuerto internacional de Madrid-Barajas, para posteriormente llegar al barrio del mismo nombre.

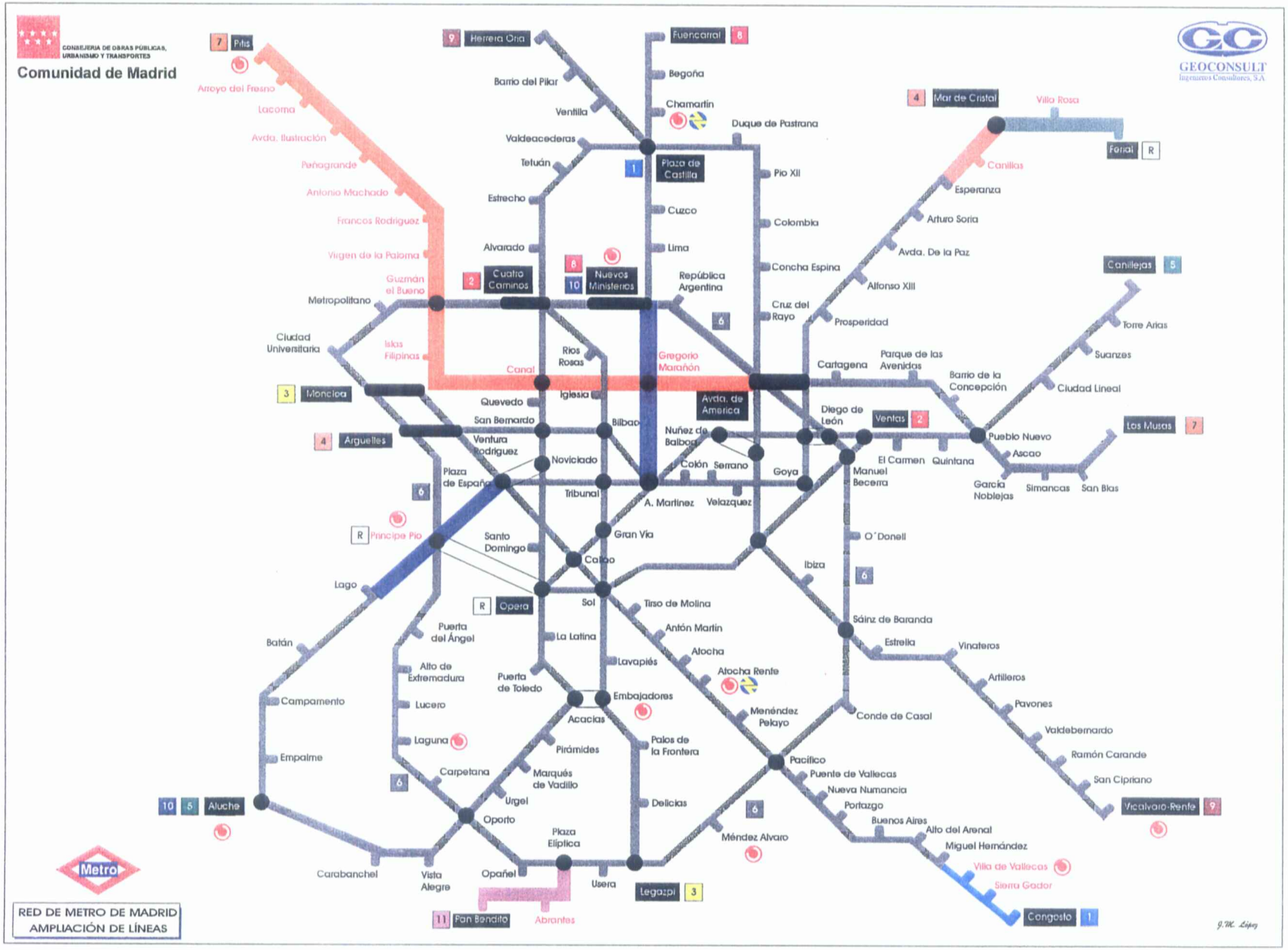


FIGURA 2.- AMPLIACIÓN DE LA RED DE METRO DE MADRID (1995-1999)

Métodos Constructivos

En los trabajos de ampliación de la Red del Metro, se están utilizando diversos métodos constructivos que a continuación enumeramos:

A) Método de Ejecución entre pantallas a cielo abierto (cut and cover)

Este método se emplea en aquellas zonas donde la cobertera de terreno es menor y no existen problemas de ocupación de espacios en superficie. Asimismo, es el método más utilizado para la realización de estaciones, telescopios y zonas de acceso de la maquinaria.

El procedimiento constructivo puede verse en la **Figura 3.**

B) Método tradicional de Madrid.

El método constructivo se realiza en 9 fases (**ver Figuras 4 y 5**).

Se comienza por la excavación con procedimientos manuales (pala y martillo neumático) de una galería de avance entibada con madera y perfiles metálicos. Esta galería de avance se va ensanchando y entibando hasta completar la excavación de la bóveda del túnel. Una vez completada esta excavación, se procede al hormigonado por tramos longitudinales de la bóveda.

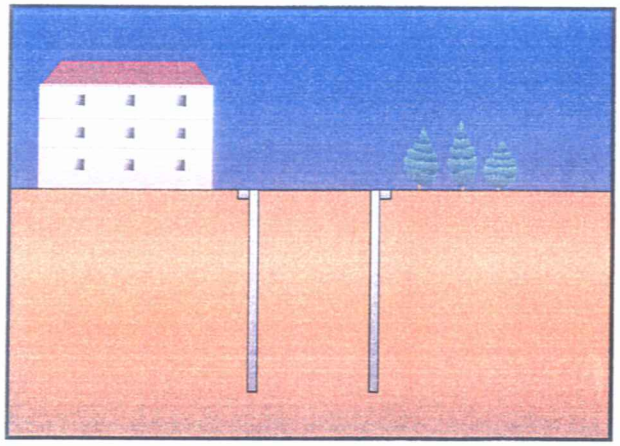
Hormigonado un tramo de bóveda, se inicia la excavación y el hormigonado alternativo de los hastiales del túnel.

Completado el hormigonado de los hastiales, se procede a la excavación del núcleo central del terreno, lo que se llama excavación de la destroza.

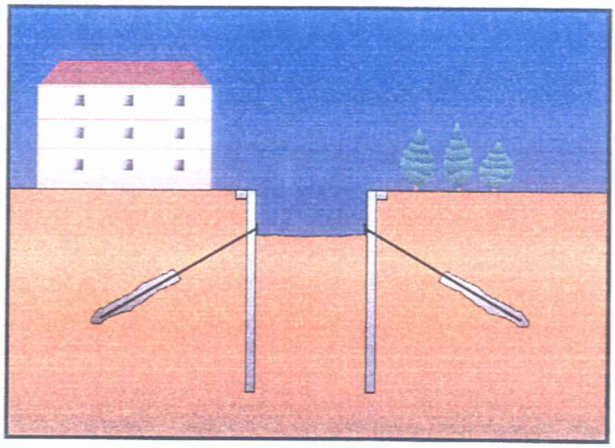
Finalmente se excava y hormigona la contrabóveda con lo que se completa el proceso de excavación y revestimiento del túnel.

Por último, se procede a la colocación y hormigonado de la vía, colocación de catenaria y demás instalaciones.

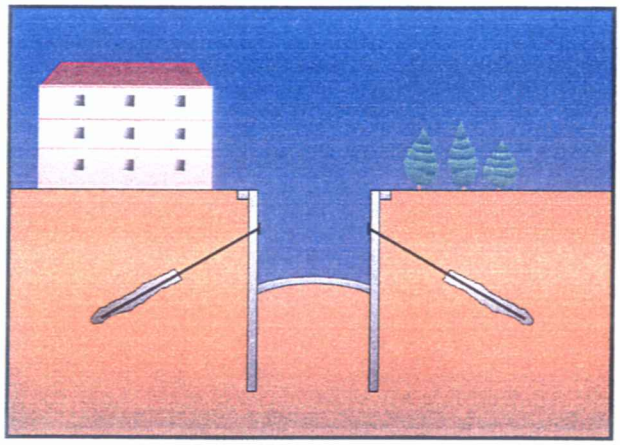
1 EJECUCIÓN DE PANTALLAS



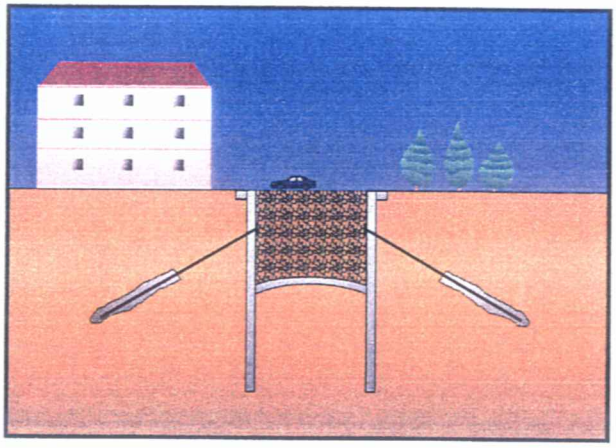
2 PRIMER VACIADO Y PUESTA DE ANCLAJES



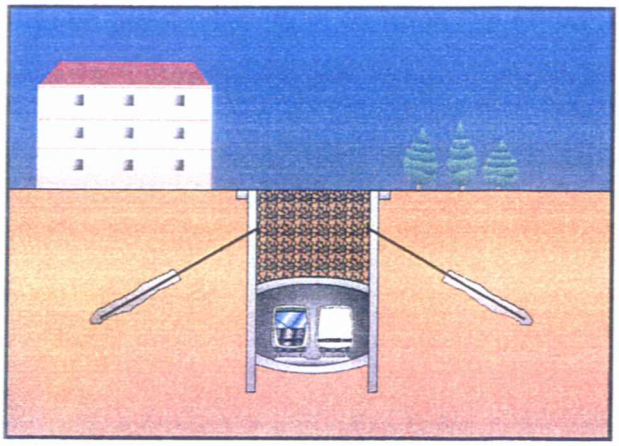
3 SEGUNDO VACIADO Y EJECUCIÓN DE BÓVEDA



4 RELLENO CON TIERRAS SOBRE BÓVEDA



4 EXCAVACIÓN INTERIOR Y EJECUCIÓN DE CONTRABÓVEDA



FALSO TÚNEL CON PANTALLAS

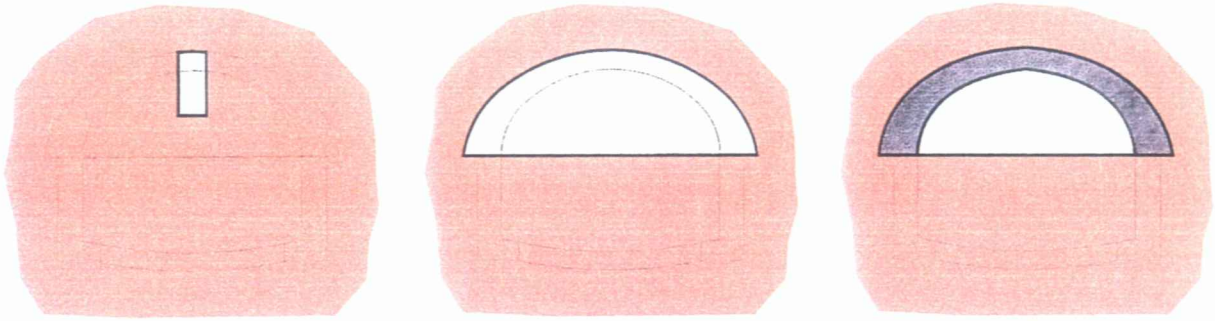
METRO	GRÁFICO: FIGURA 3	CONSULTOR: GEOCONSULT Ingenieros Consultores, S.A.

CONSEJERIA DE OBRAS PÚBLICAS, URBANISMO Y TRANSPORTES

Comunidad de Madrid

GEOCONSULT
Ingenieros Consultores, S.A.

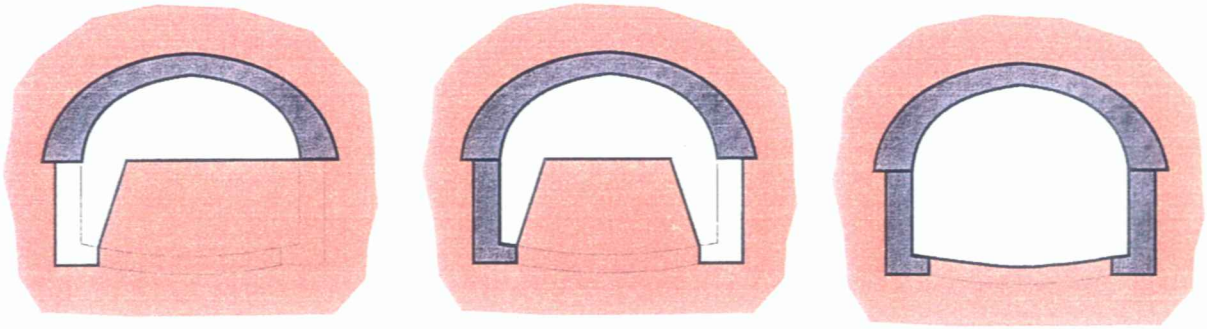
FASES CONSTRUCTIVAS DEL MÉTODO TRADICIONAL DE MADRID



1 EXCAVACIÓN DE LA GALERÍA DE AVANCE

2 EXCAVACIÓN DE LA BÓVEDA

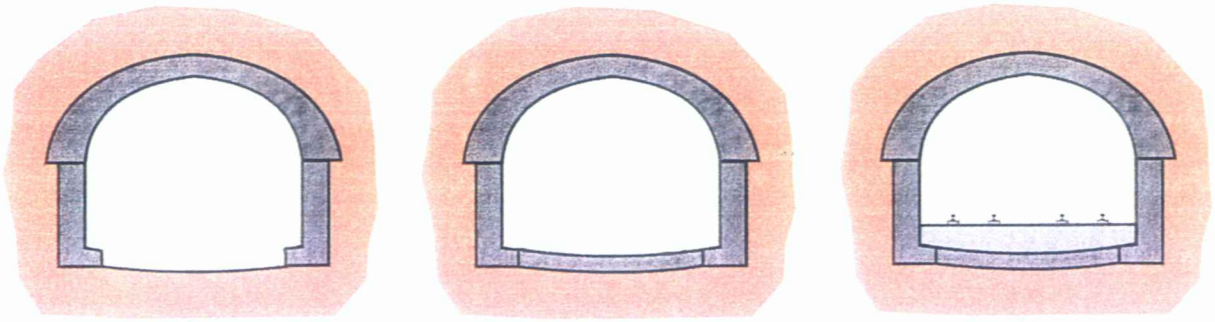
3 HORMIGONADO DE LA BÓVEDA



4 EXCAVACIÓN DEL HASTIAL

5 HORMIGONADO DEL HASTIAL Y EXCAVACIÓN DEL HASTIAL CONTRAPEADO

6 EXCAVACIÓN DE LA DESTROZA



7 EXCAVACIÓN DE LA CONTRABÓVEDA

8 HORMIGONADO DE LA CONTRABÓVEDA

9 HORMIGONADO DE LA VÍA

FIGURA 4.- FASES CONSTRUCTIVAS DEL MÉTODO TRADICIONAL DE MADRID

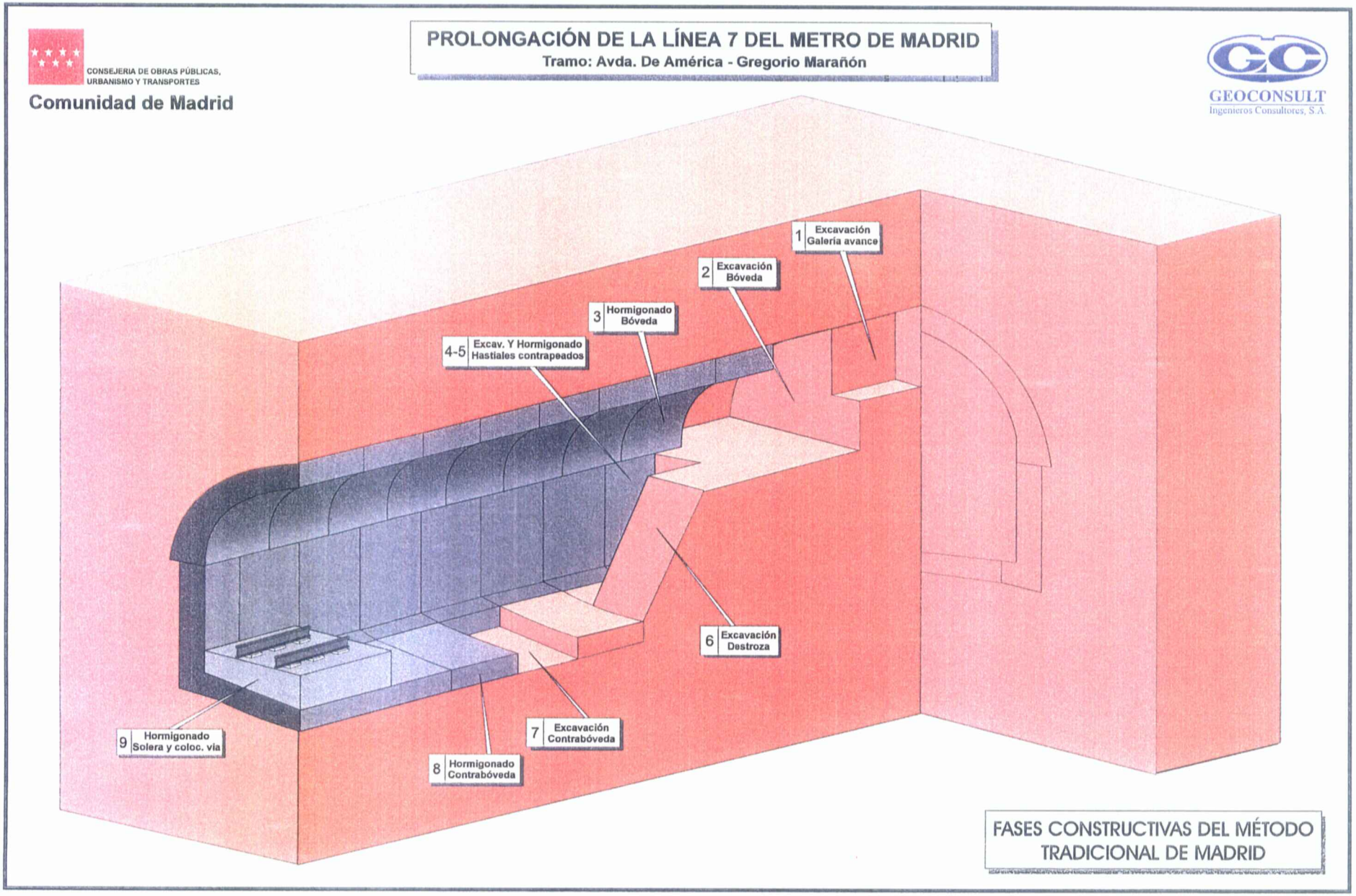


FIGURA 5.- FASES CONSTRUCTIVAS DEL MÉTODO TRADICIONAL DE MADRID (CONJUNTO EN 3D)

C) Método de ejecución a plena sección con tuneladora y revestimiento con dovelas prefabricadas

El método moderno de ejecución de túneles permite una construcción rápida y segura.

Permite conseguir rendimientos medios de 20 m./día.

Después de un estudio detallado de distintos tipos de máquinas, la Dirección de las Obras, decidió la utilización de escudos de presión de tierras (E.P.B.) **(Figura 6)**, por su mayor versatilidad para adaptarse a las distintas circunstancias del subsuelo de Madrid, formado por terrenos sedimentarios que van desde los limos arcillosos, las arenas sueltas, arenas limosas, limos arenosos a las arcillas duras.

Con alguna frecuencia aparecen lentejones de arena que pueden estar saturados de agua y por debajo del nivel freático o dentro de niveles colgados de agua. En la parte sur de Madrid, aparecen las formaciones yesíferas.

El tipo de escudo E.P.B., permite trabajar con fiabilidad en cualquiera de las situaciones esperables en el subsuelo de Madrid. En terrenos cohesivos puede trabajar sin presión de tierras con rendimientos superiores. En terrenos permeables con agua, o en los tramos bajo el río Manzanares, mediante la presión de tierras ejercida contra el frente por la propia máquina, equilibra la presión hidrostática y mantiene la estabilidad del frente de excavación.

Finalmente la potencia de la máquina y la posibilidad de utilizar cortadores de disco, permite excavar zonas duras que puedan presentarse (como estructuras de hormigón de viejas construcciones).

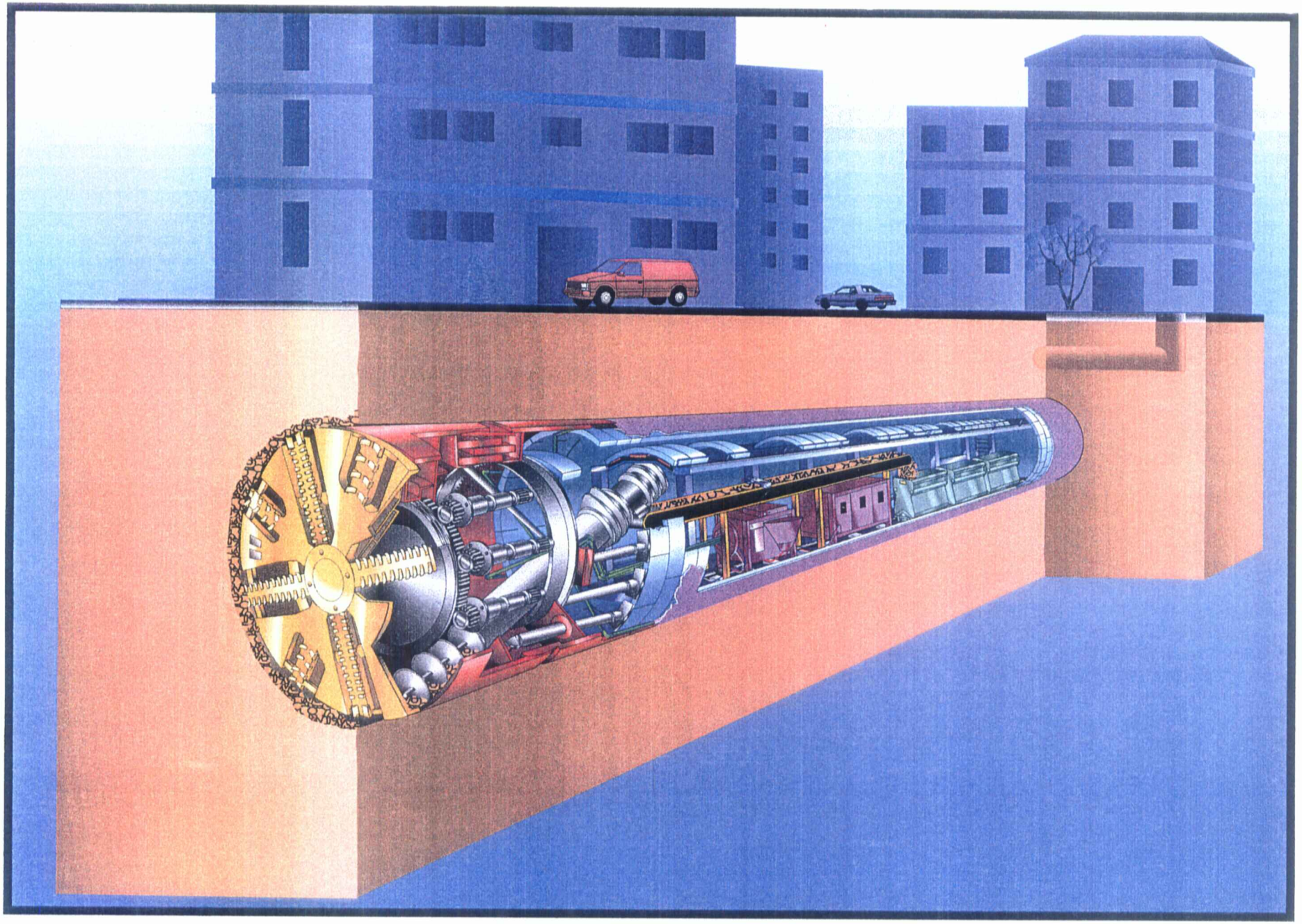
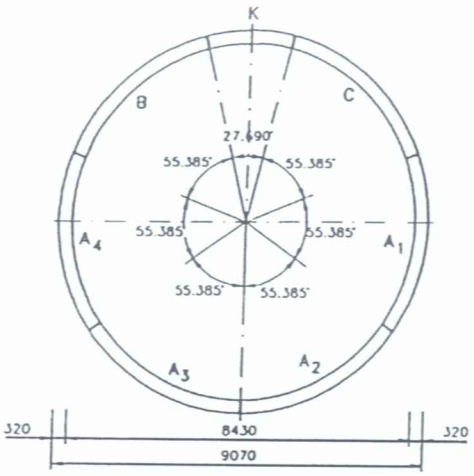


FIGURA 6.- ESCUDO DE PRESIÓN DE TIERRAS



DEFINICION DEL ANILLO

FIGURA 7.- ANILLO DE DOVELAS

Durante la fase de ampliación del Metro de Madrid, se utilizarán cuatro máquinas tuneladoras (E.P.B.) con un diámetro de excavación de 9,10 m. para los túneles de doble línea.

Detrás de la cola del escudo se coloca el anillo de dovelas en número de 6+1 con un espesor de hormigón de 32 cm. **(Figura 7)**. Estas dovelas, una vez colocadas, son inyectadas frontalmente en su trasdós.

Red de Cercanías

Finalmente en el área metropolitana de Madrid, hay que mencionar otra serie de actuaciones, algunas de ellas ya en ejecución, encaminadas a conectar las poblaciones vecinas con la propia red de Metro de la ciudad de Madrid.

- Prolongación de la línea 9 del Metro hasta la población de Arganda del Rey.

En lo que se refiere a la red ferroviaria de cercanías, las principales actuaciones incluidas en la estrategia regional de transportes realizada con el horizonte puesto en el año 2001, son:

- Construcción de un nuevo ramal desde la estación de Cantoblanco hasta las poblaciones de Alcobendas y San Sebastián de los Reyes. Actualmente está en ejecución el primero de los tramos.
- Construcción de una línea pasante al aeropuerto de Barajas desde la estación ferroviaria de Chamartín.

- Inversiones destinadas a la remodelación y ampliación de las estaciones de intercambio entre modos de transporte.
- Inversiones para aumentar la capacidad de la red y mejorar su funcionamiento, tales como conducción automática, electrificación, construcción de nuevas vías para uso exclusivo de cercanías, etc.

* **BARCELONA**

En Barcelona, además de planes de ampliación de la red del Metro de las líneas 3 y 4, se cuenta, en planes futuros, con el proyecto de ferrocarril ligero que uniría la ciudad de Barcelona con Esplugas de Llobregat, Sant Joan Despí, Cornellá de Llobregat y Sant Just Desvern.

* **BILBAO**

En Bilbao ciudad, con un área metropolitana de 400 km^2. y una población de un millón de habitantes, está ya en funcionamiento la Línea I del Metro con 6,2 km de túnel de línea y nueve estaciones subterráneas y que aprovecha la estructura ferroviaria actual que da servicio a la margen derecha de la ría. La longitud total del trayecto es de 31 km entre Plencia y Basauri; 20,5 km discurren por la margen derecha atravesando la Ría por Olabeaga y El Arenal; aprovecha la infraestructura de Eusko Trenbideak entre Plencia y Elorrieta. Unos 10 km del trazado San Ignacio-Basauri son comunes con la Línea II. (**Figura 8**).

Se prevé que en 1997, con la Línea 1 en funcionamiento, 58,4 millones de personas usen el Metro.

En la actualidad el número aproximado de viajes diarios motorizados que se realizan en el área funcional de Bilbao son: Automóviles 650.000, Bus 400.000, Ferrocarril 200.000.

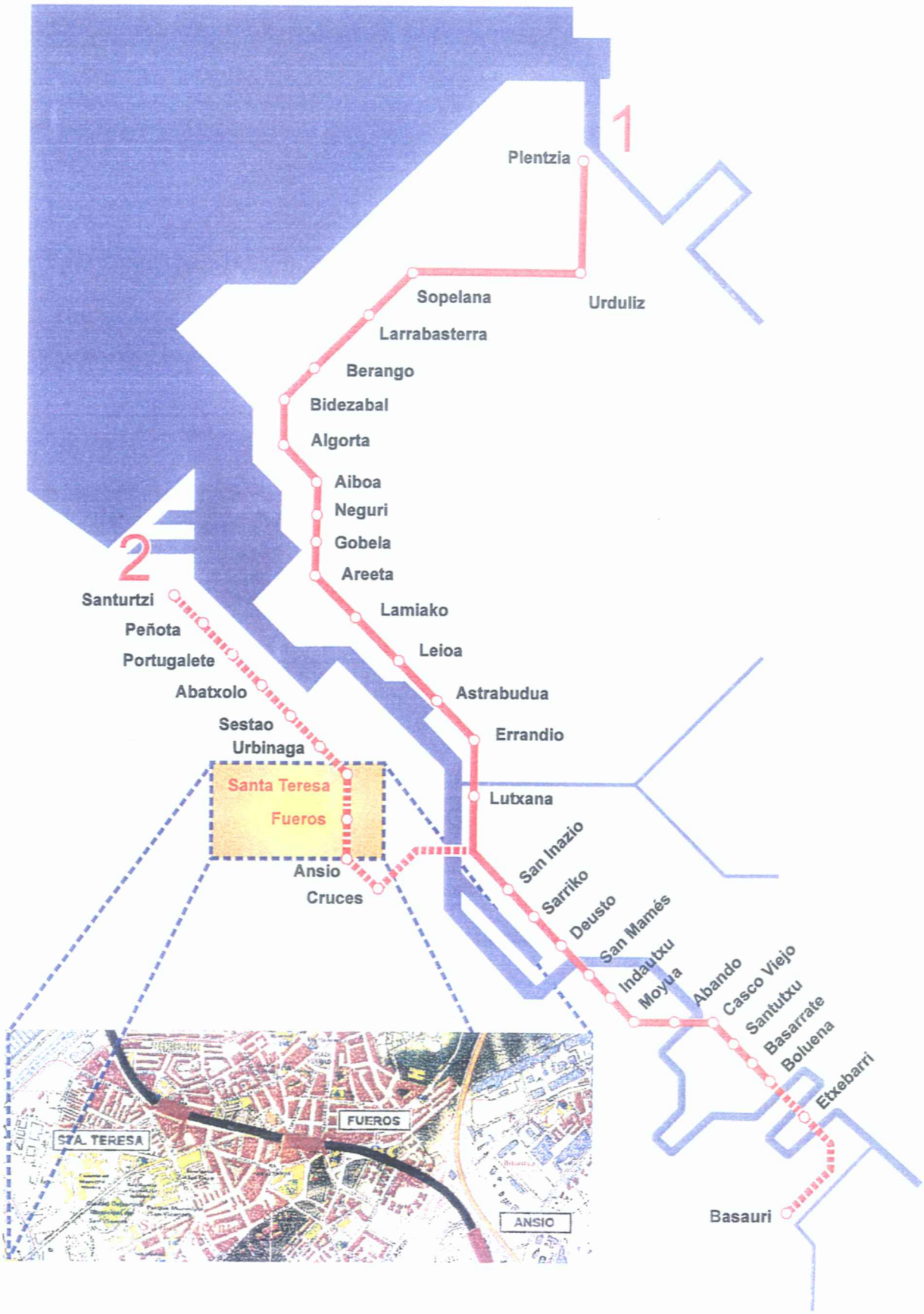


FIGURA 8.- TRAZADO DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE BILBAO

Los principales problemas del sistema de transporte de viajeros en el área metropolitana de Bilbao son:

1. Altos costes de congestión sobre todo en horas punta.
2. Imposibilidad física de mejorar la oferta de infraestructura viaria y aparcamientos a precios razonables.
3. El transporte público en autobús se ve afectado por la congestión que origina el vehículo privado.
4. La red de ferrocarriles, aunque extensa, no soluciona adecuadamente los accesos al Área Central de Bilbao, sobre todo desde la Margen Derecha, no pasa por los centros demográficos de los municipios de la Margen Izquierda y las diversas líneas de ferrocarril no están adecuadamente conectadas a causa de la barrera física que representa la Ría.

El diseño y la dirección de obra es responsabilidad de IMEBISA, empresa pública de ingeniería creada por la Consejería de Transportes del Gobierno Vasco que ha contratado los servicios de otras Ingenierías para la Asistencia Técnica.

La red de Metro prevista, presenta forma de "Y" que tiene como vértice izquierdo Santurce, como vértice derecho Plencia y como base común Basauri-Elorrieta.

El sistema inicial previsto consta de dos líneas: Línea I, Plencia-Basauri con 31 km, Línea II, Santurtzi-Basauri con 20 km, la posibilidad de una tercera transversal, Recaldeberi-Otxarkoaga.

Las obras se iniciaron en 1989 y entró en servicio la línea 1 el día 11 de Noviembre de 1995, a excepción del tramo extremo Arenal-Bolueta, que entrará en servicio en el otoño de 1997, con una inversión total estimada de 77.500 millones de Pts. (553 M.$) (1990) de los que la infraestructura se lleva unos 50.000 millones de Pts. (357 M.$) (1990) .

Las cavernas tienen una longitud aproximada de 90 m .y una sección útil de 154 m2. (**Foto 2**), y están situadas a una profundidad variable en 10 y 32 m.

FOTO 2.- CAVERNA DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE BILBAO

El túnel de línea tiene forma de herradura con dimensiones exteriores aproximadas de anchura 10 m, altura 7,50 m (**Figura 9**); la sección de paso bajo la Ría en Olabeaga es de cajones flotantes. (**Figura 10**).

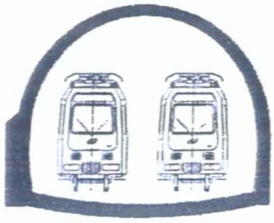


FIGURA 9.- SECCIÓN TÚNEL DE LÍNEA

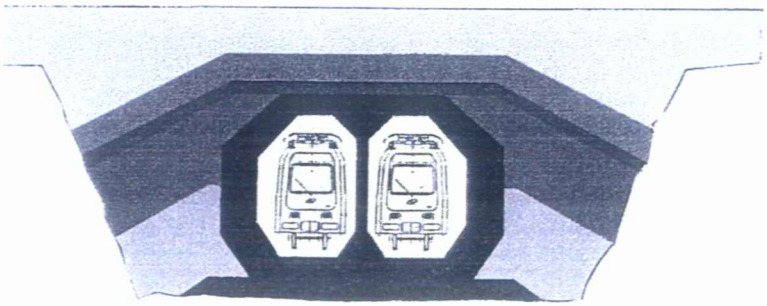


FIGURA 10.- SECCIÓN DE PASO BAJO RÍA EN OLABEAGA

El subsuelo de Bilbao es un material rocoso formado por sedimentos margo-calcáreos con resistencias a la compresión no superiores a 400 Kp/cm^2.

Para la excavación se utilizaron máquinas de ataque puntual, rozadoras de 250 KW. de potencia en la cabeza de corte (**Figura 11**)

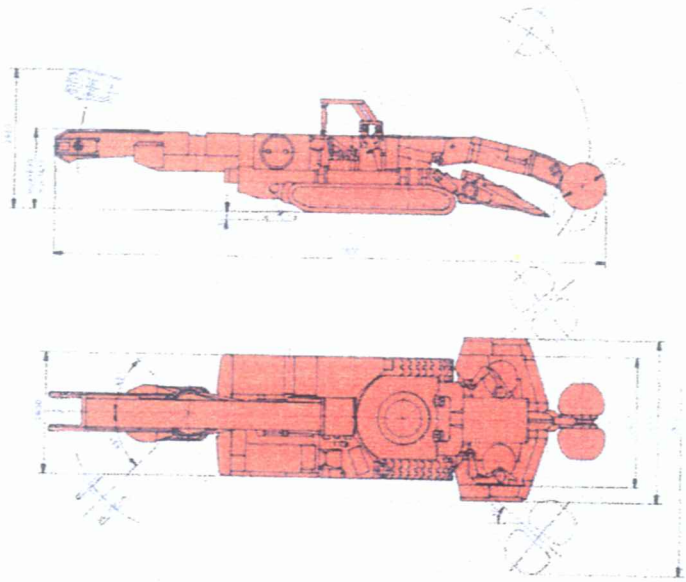


FIGURA 11.- ROZADORA DE 250 KW. DE POTENCIA DE CABEZA DE CORTE

El método constructivo empleado ha sido el Nuevo Metro Austríaco, utilizando como elementos del sostenimiento, hormigón proyectado, bulones y cerchas o ademes metálicos.

El revestimiento de las estaciones se completa con unas placas prefabricadas diseñadas por el arquitecto Norman Foster. (**Foto 3**).

FOTO 3.- ACCESO A ESTACIÓN (FOSTERITO)

En la primavera de 1997, se han iniciado los trabajos de construcción de la línea 2 en el tramo San Inazio-Lutxana; dentro del año 1997 se pondrán en construcción los tres tramos de la Línea 2.

Recientemente se ha creado la Sociedad Metro-Bilbao encargada de la explotación del Metro, como sociedad anónima constituida por el Consorcio de Transportes, integrado por representantes del Gobierno Vasco, Diputación Foral de Bizkaia y los Ayuntamientos de las localidades por las que pasa el Metro.

* **SEVILLA**

Para resolver los problemas del transporte urbano de la ciudad de Sevilla, se ha proyectado la Línea 1 del Ferrocarril suburbano que atraviesa la ciudad de Este a Norte pasando por el centro . Tiene un primer tramo a cielo abierto de unos 3,5 km y un segundo tramo de unos 2 km que se excavaron en subterráneo con una sección telescópica de transición de túnel único a túnel doble.

La línea tiene cuatro estaciones a cielo abierto, dos estaciones subterráneas y dos túneles paralelos entre estaciones subterráneas. las estaciones subterráneas son de doble bóveda con 25,60 m de ancho, 9,350 m de alto; los hastiales se han diseñado con un espesor de 2,75 m y la parte central con un espesor de 2,50 m

Los trabajos en la estación subterránea de Plaza Nueva se iniciaron en 1974. Los problemas geotécnicos planteados por los terrenos permeables (gravas cuaternarias) y la presencia de un importante acuífero influido por el río Guadalquivir, determinaron la paralización de las obras en 1975.

A pesar de las dificultades geotécnicas encontradas que obligaron a su paralización, hay voluntad política de reactivar el proyecto de ejecución del Metro de Sevilla en un futuro próximo.

* **VALENCIA**

El proyecto de construcción del metro de la ciudad de Valencia, que cuenta con 1,5 millones de habitantes considerando también su área de influencia, tiene su punto de partida en Julio de 1974 con la creación de una comisión de carácter informativo dependiente del Ministerio de Fomento que elaboró el informe "Red Ferroviaria Metropolitana del Estudio Integral de los trabajos del Área de Valencia" concluido en 1979.

Este estudio consideraba doce alternativas que finalmente, después de una evaluación de sus aspectos económicos, técnicos, funcionales, de captación de la demanda y de medio ambiente, se concretó en una alternativa de construcción de tres líneas subterráneas de doble vía.

La línea 1 materializa la penetración urbana de la línea de Ferrocarriles de la Generalitat Valenciana (FGV) desde Villanueva de Castellón hasta la calle de San Vicente, con una estación bajo la actual de RENFE y posterior prolongación bajo el casco urbano cruzando el cauce del río Turia.

La línea 2 se diseña como enlace de toda la red más importante FGV dándole una continuidad funcional eliminando problemas existentes.

La línea 3 sería de nueva creación en todo su trazado y enlazaría Manises con el Puerto y el barrio del Cabañal mediante un tramo en superficie hasta atravesar el cauce del Turia y un tramo subterráneo.

Conceptualmente en realidad no se ha proyectado un metro para Valencia sino unas actuaciones encaminadas a interconectar las principales líneas existentes del ferrocarril urbano del FGV y realizar la penetración de estas líneas en el casco urbano de la ciudad.

La construcción se inició en Noviembre de 1980 por el tramo estación de Empalme-Turia, correspondiente a la línea 2 cuya longitud es de 2.817 m, 392 m a cielo abierto y 2.425

m en túnel artificial; se incluyen en este tramo tres estaciones, Beniferri, Campanar y Turia.

El presupuesto de las obras es de 1.170 millones de pesetas. .

El trabajo realizado hasta ahora ha consistido básicamente en unir dos líneas de FGV-Norte con una línea de FGV-Sur, eliminando muchos pasos a nivel en zona urbana.

Actualmente está en fase de desarrollo el programa de ampliación de la red Metropolitana de F.G.V. con una inversión prevista de 75.000 millones de pesetas hasta 1998.

* PARÍS

Proyecto Eole

Es un gran proyecto enteramente subterráneo urbano de final de siglo concebido por la S.N.C.F. Será la futura línea 5 de la Red Exprés Regional (RER) que atraviesa de Este a Oeste la ciudad tocando el corazón de París a 30 metros de profundidad, uniendo, en una primera etapa, la zona de la Estación del Este en la estación de San Lázaro; el nuevo trayecto tiene 2 x 1.700 m. en subterráneo y dos grandes estaciones: MAGENTA (55 m. de ancho y 225 m. de largo) y CONDORLET (58 m. de ancho y 240 m. de largo).

El proyecto se desarrollará en dos etapas; la primera etapa, anteriormente indicada, entrará en servicio en 1998 después de 6 años de construcción, habiéndose invertido 6 millardos de francos.

Su entrada en servicio permitirá:

- Descongestionar la línea A de la (RER).
- Crear nuevas conexiones directas entre las zonas de las Estaciones del Norte y del Este y la zona de San Lázaro/Opera.
- La comunicación directa entre la ciudad de París y los nuevos polos de desarrollo, Marne la Vallée, al Este, y La Défense al Oeste.
- El acceso directo al TGV norte y sur.

El proyecto Eole es un gran proyecto de ingeniería y de arquitectura de formas y volúmenes principalmente en las estaciones(**Foto 4**) .

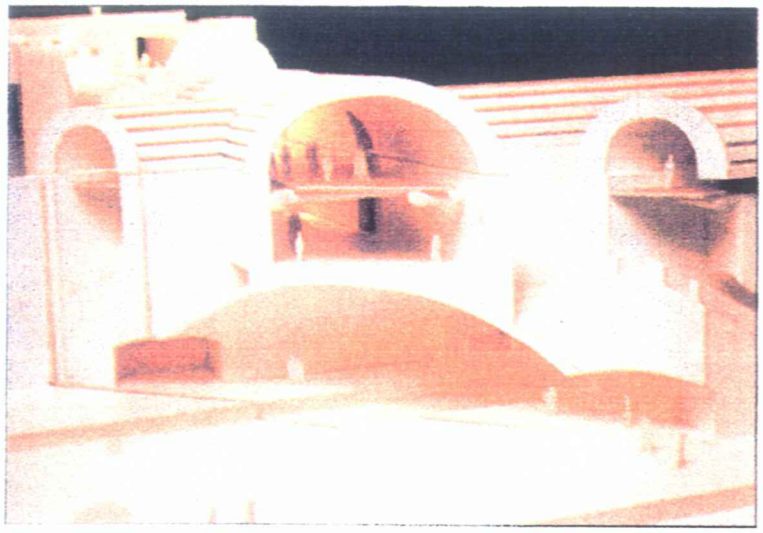


FOTO 4.-FUTURA GALERÍA DE DEMARQUAY

Proyecto Météor

Es otro de los grandes proyectos subterráneos urbanos en ejecución en la región de París.

El primer tramo atraviesa el Sena; es enteramente subterráneo con 7,2 Km. de longitud entre Tolbiac-Masséna y Madeleine y tiene 7 estaciones, correspondencia con las 4 líneas de la RER, con 7 líneas de Metro y con la red ferroviaria de la SNCF en la estación de Lyon.

El proyecto Météor es una nueva línea de Metro, de conducción automática, que atravesará París de Oeste a Este en 11 minutos, y estará en funcionamiento en 1998.

El segundo tramo, prolongación de Madeleine a Saint-Lazare, está previsto que entre en servicio para el año 2001 y la prolongación de Tolbiac-Masséna a Tolbiac-Nationale para el año 2002.

La inversión total del proyecto se estima en 6047 M. de Francos (1995).

* LONDRES

Ampliación de la Jubilée Line

La Compañía London Underground, está construyendo la ampliación en 16 Km. de la Jubilée Line de la Red de Metro de Londres. El proyecto incluye la construcción de 11 estaciones y la instalación de 118 escaleras mecánicas.

El plazo de ejecución es de 53 meses y el presupuesto es de 2,6 billones de £.

Las principales estaciones en construcción son: las de Westminster (**Foto 5**) (a 38 m. de profundidad) bautizada como "la ciudad secreta de Londres", Canadá Water, y Waterloo.

Se prevé que la nueva línea, que unirá Green Park con Stratford, entrará en funcionamiento en 1998.

La nueva línea incorpora las innovaciones que demanda el siglo XXI: rapidez, comodidad, seguridad, accesibilidad e interconexión modal entre los diferentes sistemas de transporte urbano e interurbano.

La nueva línea llevará el metro por primera vez atravesando el río Tamesis a Southwark y Bermondsey, permitiendo un mejor acceso de la población local a la zona este mas alejada y a Docklands.

Se creará también una conexión directa entre Docklands y los terminales de Waterloo (Terminal internacional ferroviario) y London Bridge.

Asimismo, proporcionará a los usuarios habituales de los transportes públicos del Norte de Kent, una conexión directa entre la zona este más alejada, Network, la zona sur-este, Waterloo y London Bridge.

La nueva línea contribuirá a la regeneración del este de Londres y Docklands ya que actuará como una arteria vital que unirá el este de Londres, Docklands y Greenwich.

FOTO 5.- ESTACIÓN DE WESTMINSTER

* **MINNEAPOLIS-ST. PAUL. (U.S.A.)**

Se está diseñando un sistema de transporte ferroviario ligero (LRT) que une Minneapolis y St. Paul de 133 km de longitud con nueve líneas y cinco estaciones subterráneas, una en la Universidad y otra en el Aeropuerto; la profundidad de la línea varía entre 24 y 30 m La inversión es de 1660 M.$. (1991) y el plazo de construcción es de 10 años.

Las características principales que implanta el sistema son:

- Moderado costo, ya que se ha optado por un ferrocarril ligero.
- Alta capacidad.
- Alta velocidad.
- Buena conexión con las redes de Metro.
- Corredor de tránsito preferente.
- Estaciones separadas 1,6 km
- Línea accesible a los minusválidos.

- Buena conexión con las redes de Metro.
- Corredor de tránsito preferente.
- Estaciones separadas 1,6 km
- Línea accesible a los minusválidos.
- La afluencia de viajeros al sistema LRT es mediante autobuses regionales.

* **HIROSHIMA (JAPON)**

En la ciudad de Hiroshima, se ha puesto en servicio recientemente, un sistema de ferrocarril ligero de cercanías, el New Transportation System (NTS), con una longitud de 18,4 km que conecta la ciudad de Kamiya-Cho con el centro de la ciudad de Hiroshima, con un túnel en el centro de la ciudad de 850 m. Fuera del casco urbano circula sobre plataforma elevada. La modalidad de transporte corresponde al tipo sobre vía y ruedas de goma sobre pistas rodantes (tire-type electric rail road).

El diseño de la sección transversal del túnel ha sido objeto de un estudio muy minucioso, buscándose como objetivo reducir todo lo posible los costos de ejecución.

Se analizaron distintas secciones tipo: secciones circulares secantes (Overlapping double circular section) que fue la sección adoptada por resultar la más económica (**Figura.16**), sección de túnel único de doble vía, (**Figura.17**) y , por último, dos secciones con túneles paralelos de vía única. (**Figura.18**)

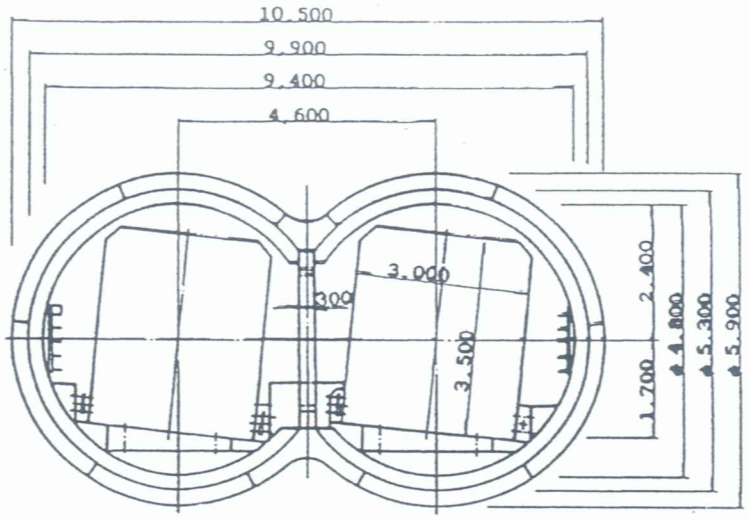


FIGURA 16.- TUNEL DE SECCIONES CIRCULARES SECANTES

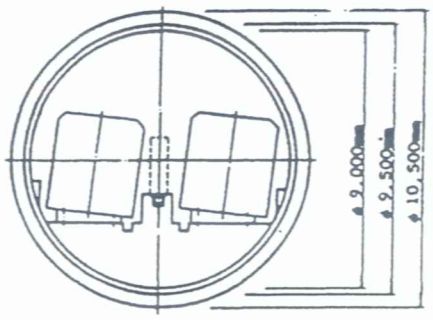


FIGURA 17.- TÚNEL ÚNICO SECCIÓN CIRCULAR

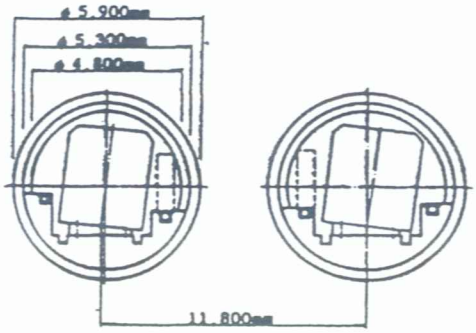


FIGURA 18.- DOS TÚNELES CIRCULARES CONTIGUOS

La tecnología moderna permite construir este tipo de secciones mediante la utilización de una nueva concepción de máquinas escudo de cabeza multicircular de diseño japonés que en la literatura técnica anglosajona se conocen como "overlapping multicircular face shied". (**Figura 19).**

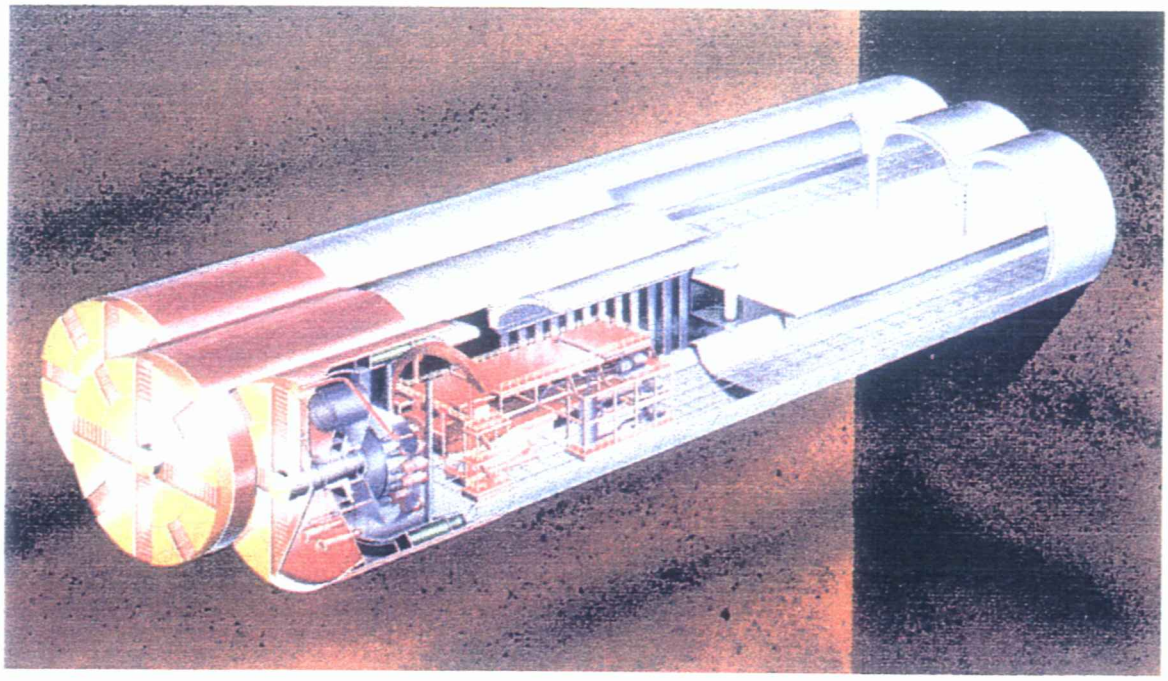


FIGURA 19.- ESCUDO DE CABEZA MULTICIRCULAR

* **TOKYO (JAPON)**

Se está construyendo un anillo suburbano que en algunas zonas subterráneas circula a una profundidad de 40 m (**Figura 20).** La iniciación de las obras está prevista para 1997 y la inversión prevista para la construcción del anillo, línea nº 12 es de 6883 M.$, con una inversión total de 9533 M.$. **TABLA 2.**

OBRA		Fecha comienzo	Coste Total (M.$)	Longit. (km)	Coste por km (M.$)
RADIAL	1ª Fase	Dic.-1991	1150	4.8	239,58
	2ª Fase	Mar.-1995	1500	9.1	164,83
ANILLO		Mar.-1997	6883	28.8	239,58
TOTAL		-	9533	42.7	223,25

TABLA 2.- COSTOS ESTIMADOS DE CONSTRUCCIÓN

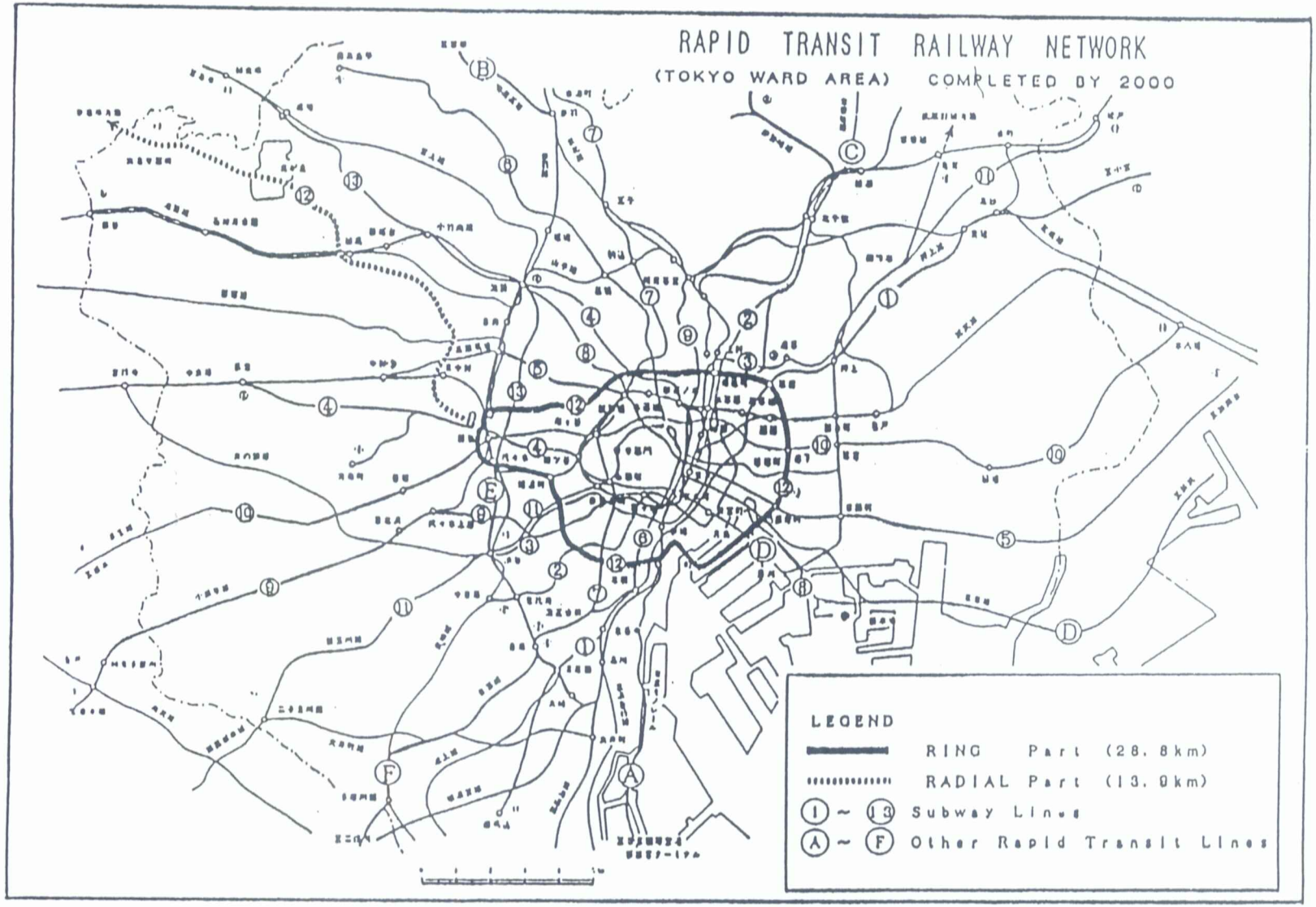


FIGURA 20.- ANILLO SUBURBANO DE TOKYO

Este anillo pasa por debajo de un gran número de importantes construcciones urbanas e intercepta 44 líneas de ferrocarril. En la construcción de las estaciones será necesario aplicar técnicas especiales como consecuencia de la presencia de altos edificios y líneas ferroviarias.

Esta línea suburbana se ha diseñado con criterios de economía, por lo que se han proyectado unas secciones reducidas y coches más estrechos, con motores lineales de inducción magnética (LIM). (**Figura .21**).

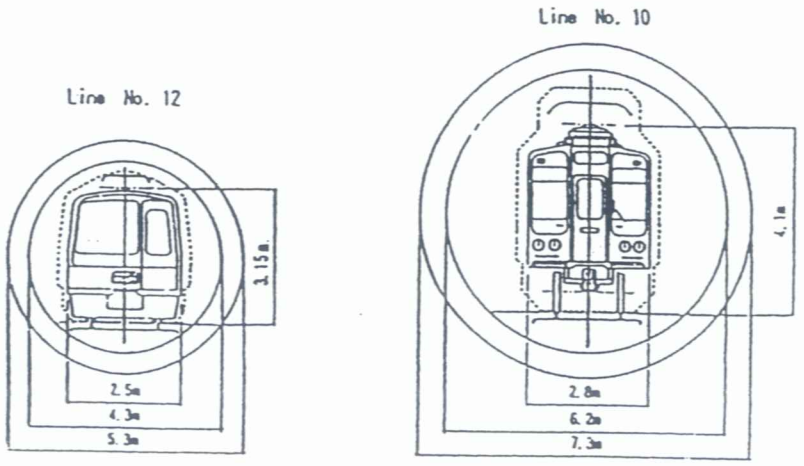


FIGURA 21.- COMPARACIÓN ENTRE SECCIONES

* **BRATISLAVA**

Bratislava, la capital de Eslovaquia que cuenta con una población de 400.000 habitantes, dispondrá de una red de ferrocarril suburbano automático VAL para 1997.
(**FOTO 6**).

FOTO .6 .- TREN AUTOMÁTICO SISTEMA VAL

El primer tramo de 7,2 km unirá el centro histórico con la ciudad satélite de Petrzalka (150.000 habitantes) situada en la margen derecha del río Danubio entre las fronteras austríaca y húngara.

La línea discurre en superficie sobre plataforma elevada en Petrzalka donde cuenta con cinco estaciones.

A partir de aquí discurre en subterráneo atravesando el Danubio y el centro histórico contando con tres estaciones más.

Se prevé la construcción de un segundo tramo de 3 km entre la estación principal y la de Filialka. La línea del suburbano facilitará la correspondencia con una amplia red de tranvías (12 líneas, 63 km, 214 ramales y 120 millones de viajeros al año), de trolebuses (8 líneas, 67 km, 147 vehículos y 21 millones de viajeros) y autobuses (59 líneas, 353 km, 703 vehículos y 206 millones de viajeros).

El tren VAL tendrá una capacidad para transportar unos 11.000 viajeros en horas punta, ampliables a 17.000.

La primera fase del proyecto exige una inversión de unos 470 M $.

La primera fase del proyecto exige una inversión de unos 470 M $.

4.1.1.- Innovaciones tecnológicas ferroviarias y tendencias actuales

La saturación de las redes de autopistas y del espacio aéreo europeo, esta revalorizando el ferrocarril y la tecnología ferroviaria está progresando considerablemente.

Las tendencias europeas en relación con los transportes se resumen en:

- La implantación de una red de alta velocidad (300 Km/h)
- Dar prioridad a los transportes públicos locales y regionales por un lado y, a los interurbanos e interurbanos por otro.
- Asegurar la complementariedad entre el transporte ferroviario y el transporte por carretera.
- El desarrollo e implantación de un nuevo medio de transporte complementario con los existentes, el Supermetro, que aporta gran capacidad, gran velocidad de transporte, 300 Km./h., y poca dependencia de la superficie.
- La consolidación de las conexiones interurbanas.
- La penetración en zonas menos pobladas.
- La protección del medio ambiente.
- La independencia energética.
- La movilidad geográfica.
- El mercado de trabajo.

La nueva red ferroviaria de transporte a muy alta velocidad que se implantará en Europa en el primer cuarto del siglo XXI, será muy rápida, muy segura y con una rentabilidad económica adecuada.

Los límites técnicos impuestos a los ferrocarriles clásicos por el rozamiento entre la rueda y el carril están siendo superados gracias a la nueva tecnología de suspensión magnética de los vehículos de transporte capaces de alcanzar velocidades operativas de 500 km/h lo que

permite abordar distancias de transporte de 800-900 km tanto para personas como para mercancías, poco rentables para el avión y demasiado largas para el automóvil. (**Foto 7**).

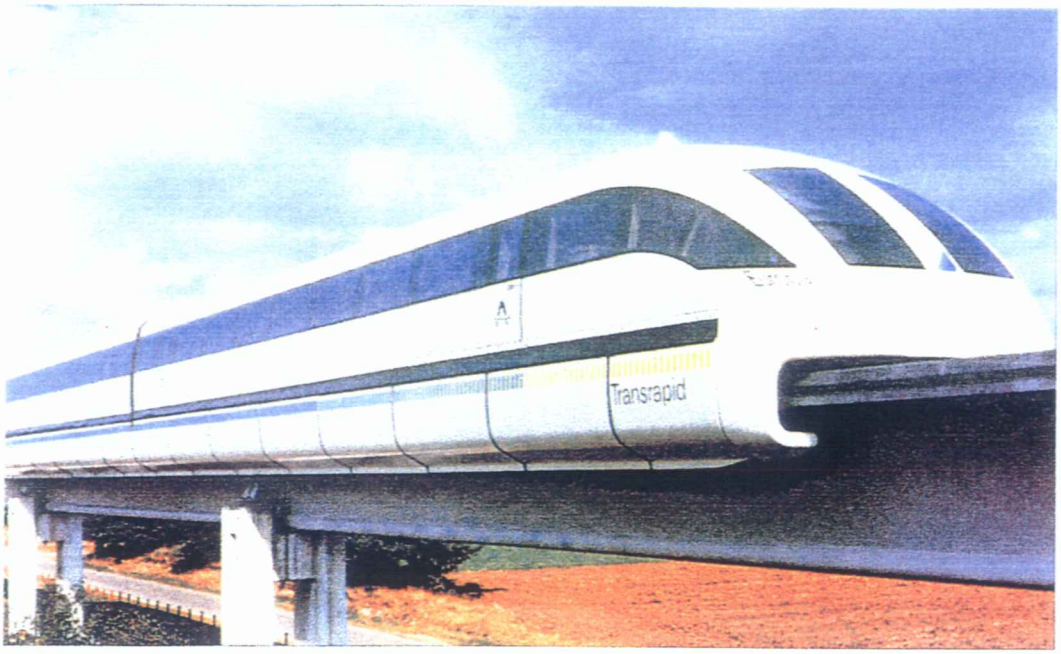


FOTO 7 .- TREN SUSPENSIÓN MAGNÉTICA

Las ventajas adicionales que aporta la suspensión magnética son:

- Circulación silenciosa y estable.
- No contamina.
- Sin vibraciones.
- Ahorro de energía.
- No descarrila.

Este sistema de suspensión magnética está en fase de investigación en Alemania desde 1988 por la sociedad Transrapid International. Los materiales utilizados son de aluminio fundido y la propulsión se realiza mediante motores lineales de estator largo.

Las velocidades que desarrolla permitirán en un futuro recorrer el trayecto Paris-Amsterdam en 114 min. en lugar de las 6 horas actuales.

Dos son los sistemas de suspensión magnética:

- El sistema alemán, tren Transrapid, mediante electroimanes de guiado y sustentación que generan dos campos magnéticos opuestos; **(Figura 22)**.

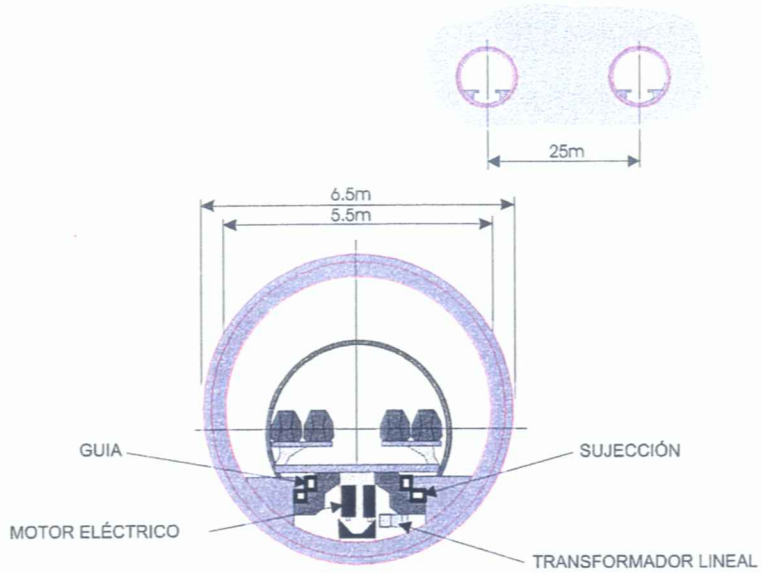


FIGURA 22.- SECCIÓN SWISSMETRO

- El sistema japonés, desarrollado por la Japanesse National Railways desde 1987, que se fundamenta en las fuerzas de repulsión generadas por dos metales con cargas eléctricas del mismo signo. **(Figura .23)**.

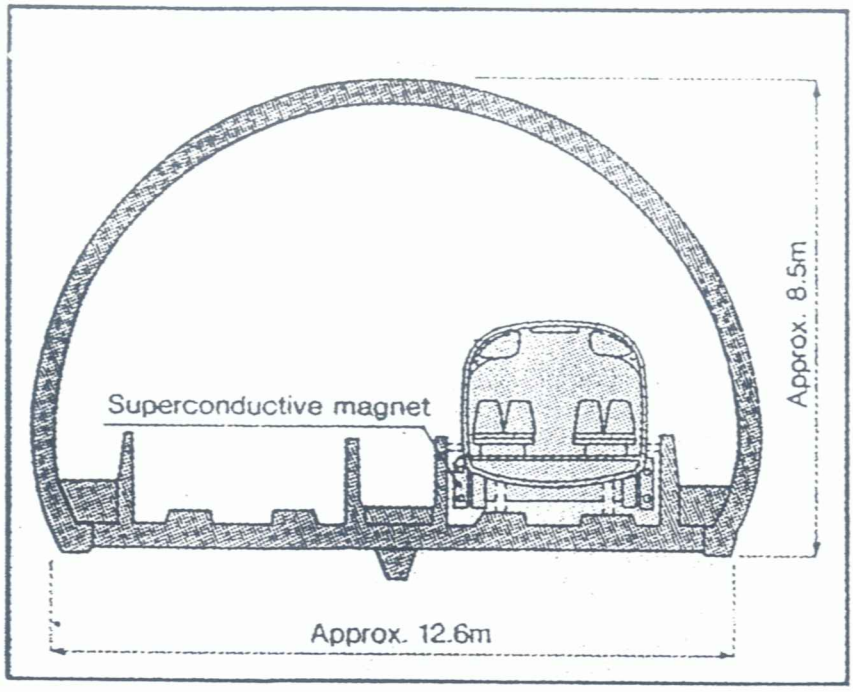


FIGURA 23.- SECCIÓN TIPO, TREN SUSPENSIÓN MAGNÉTICA

El sistema de propulsión se realiza mediante motores lineales de inducción magnética (MLI) que están colocados debajo de la vía, con lo que se reduce el peso en el material móvil y se suprimen las vibraciones molestas.

Como consecuencia de las velocidades alcanzadas (500 Km./h), para economizar la energía de propulsión de los vehículos, se realizará un vacío parcial dentro de los túneles que, a su vez, obligará a presurizar los vehículos de un modo similar al de los aviones.

Los problemas de seguridad que pueden plantearse con la utilización de esta nueva tecnología son delicados y aún no han sido resueltos de un modo totalmente satisfactorio.

Algunos de estos problemas son: la falta prolongada de la alimentación de los motores, pérdida importante ó rotura de las esclusas de aire, sabotajes, etc.

Será necesaria una alimentación de energía eléctrica al vehículo a través de catenaria para la alimentación de la instalación del aire comprimido, de los electroimanes de suspensión y guiado y de las instalaciones de iluminación y de seguridad.

La suspensión magnética se consigue mediante la interacción de campos magnéticos producidos por electroimanes.

4.1.2.- Nuevos Proyectos Interurbanos

*** SWISSMETRO**

Suiza está proyectando un doble eje transversal de Metro en forma de cruz que unirá Ginebra, Lausana, Berna, Lucerna, Zurich, St. Gall y circulará a velocidades entre 400 y 500 km/h (**Figura 24**).

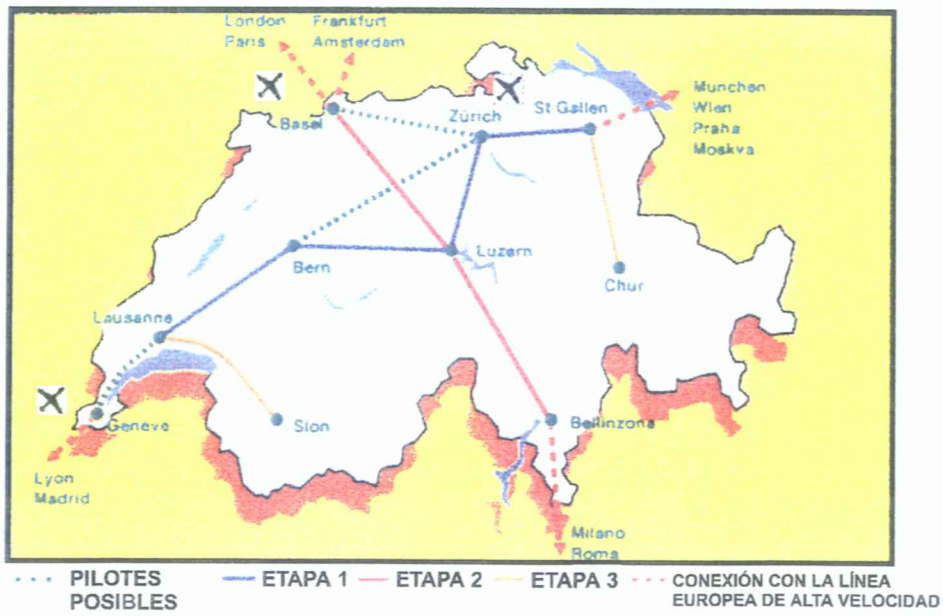


FIGURA 24.- RED DE SWISSMETRO

El Metro atravesará formaciones calizas a varias decenas de metros de profundidad, dentro de una sección circular de 5,50 m de diámetro interior; la separación entre tubos será de unos 25 m.(**Figura 22**). El tren tendrá una longitud de 200 m y una capacidad de 800 plazas y circulará suspendido magnéticamente sobre la vía; la duración prevista del recorrido entre estaciones es de 12 minutos.

La distancia media de aceleración y frenado es de 10 Km., con un tiempo de transición de 2 minutos.

El trazado se diseñará con radios mínimos de 5 Km., para la baja velocidad y de 15 Km. para la alta velocidad.

La sección transversal de los túneles se diseñará para coeficiente de bloques de

$$CB = \frac{\text{sección del vehículo}}{\text{sección del túnel}}, \text{ entre } 0{,}14 \text{ y } 0{,}17$$

El Presupuesto para el tramo Ginebra-St. Gall se ha estimado en 6 x 10^9 $ (1990) y el período de implantación de la línea será de 15 años.

La inversión estimada para el proyecto completo del doble eje transversal es de 14 M. de Francos Suizos (1990) y un tiempo de implantación de 25 años. Durante su ejecución, se construirán 1.360 Km. de túneles y 10 estaciones subterráneas.

En Marzo de 1993 se ha emitido un informe que ha demostrado la viabilidad técnica y la rentabilidad económica del proyecto.

* **TREN TRANSRAPID (Alemania)**

Existe el proyecto de iniciar la construcción para 1998 de una línea de alta velocidad, Transrapid que unirá las ciudades de Hamburgo y Berlín con un trayecto de 292 Kilómetros y que circulará a 450 Km./h. incorporando la tecnología avanzada de la suspensión magnética.

Dada la enorme inversión necesaria 9.800 M. de marcos, se trabaja en la formación de un Consorcio Internacional que garantice la inversión necesaria. Se prevé que el Tren Transrapid entre en funcionamiento en el año 2005.

* **CORREDORES PROYECTADOS EN ESTADOS UNIDOS**

En Estados Unidos se proyectan los corredores Las Vegas-Los Angeles a una velocidad de 370 km/h., Dallas-Houston, Chicago-Milwaukee, unión del aeropuerto de Orlando-Florida con Disneylandia.

4.2.- Autopistas subterráneas

Muchas grandes ciudades están diseñando nuevos sistemas de transporte en sus áreas urbanas que sean capaces de reinventar su modelo urbanístico.

Algunas de estas ciudades apuestan decididamente por la construcción de autopistas subterráneas.

* **MADRID**

En Madrid, un antecedente exitoso de las autopistas subterráneas ha sido la construcción de la "Red subterránea bajo el complejo AZCA" que consta de 4 km de calzada en dos niveles, 12.000 plazas de garaje, complejos de oficinas y centros comerciales.

La incidencia positiva de la red subterránea de Azca se traduce en:

- Menor congestión de la zona en superficie.
- Mayor velocidad de circulación.
- Posibilidad de aparcar cerca del lugar de trabajo o cerca de importantes centros comerciales.
- Mayor espacio disponible para zonas ajardinadas.

Recientemente se ha concluido el cierre del segundo cinturón de circunvalación de Madrid M-40, (**Figura 25),** con 61,1 Km. con un presupuesto de 84.000 M. de Ptas. en el que se han construido unos 3 Km. en túneles.

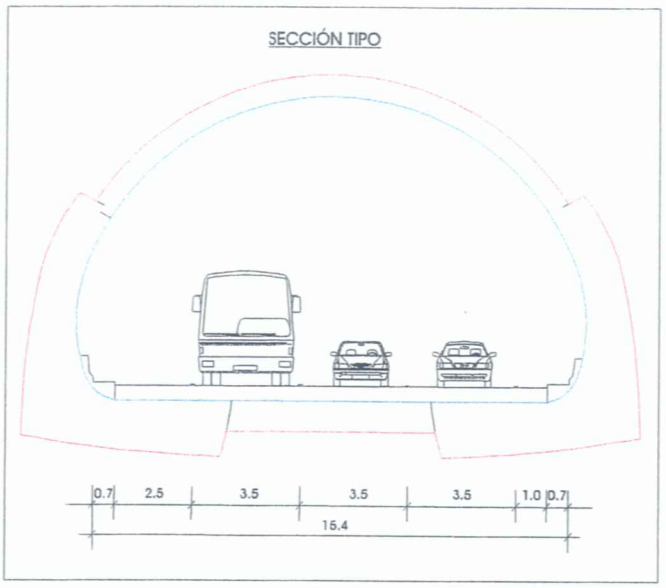


FIGURA 25.- SECCIÓN TIPO M-40

Por otra parte, el Ayuntamiento de Madrid lleva varios años impulsando la construcción de pasos subterráneos en los puntos más conflictivos del tráfico de superficie de la ciudad, habiéndose constatado una notable mejoría del tráfico de superficie en las zonas afectadas.

Finalmente, existen proyectos futuros que se llevarán a la práctica, cuando las necesidades de tráfico de Madrid así lo aconsejen, de construir autopistas subterráneas que permitan cruzar la ciudad en subterráneo y desviar el tráfico de los vehículos en tránsito.

Existe un primer estudio de construir dos autopistas subterráneas que atraviesen Madrid, siguiendo dos ejes principales Norte-Sur, Este-Oeste. (Ing. Sr. Paz Casañé).

* **PARÍS**

La ciudad de París ha sido la primera en diseñar una red de autopistas subterráneas como una de las medidas para eliminar la congestión circulatoria que se produce en su núcleo urbano, permitiendo que los vehículos en tránsito puedan atravesar en subterráneo la ciudad de París en unos 15 min., sin producir ninguna interferencia con el tráfico de superficie de la ciudad. (**Figura 26**).

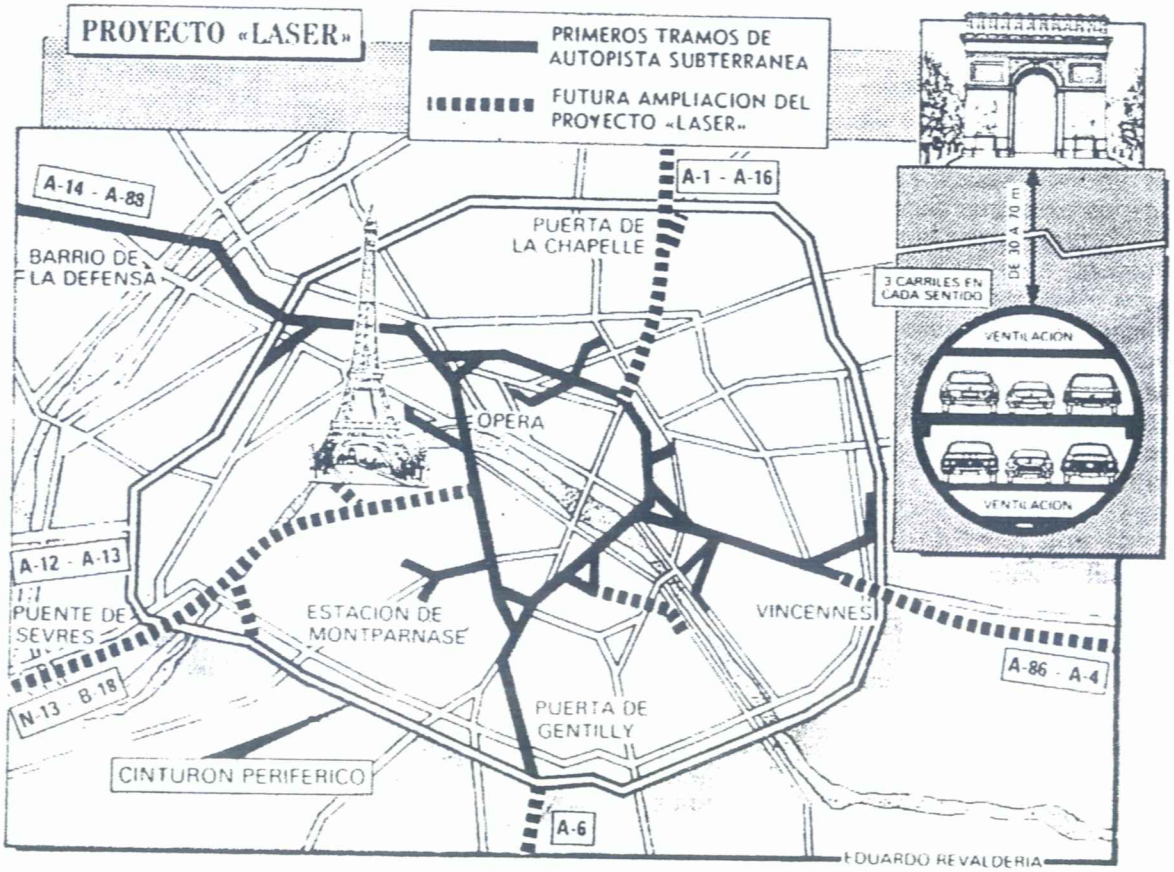


FIGURA 26.- PROYECTO LASER

Los túneles discurren a 30 m de profundidad y están proyectados con una sección transversal de dos pisos con tres carriles de circulación en cada sentido.

Los primeros tramos ya realizados, se construyeron en tres años con un costo de unos 2.220 (M.$).

Los grandes ejes viarios diseñados, se unen finalmente en la zona central de la ciudad, mediante una autopista subterránea circular.

* **GRENOBLE**

La ciudad de Grenoble confía para resolver radicalmente el tráfico de su ciudad, en la construcción de autopistas subterráneas y está proyectando un doble eje transversal (Norte-Sur, Este-Oeste) con un presupuesto estimado de ejecución de 357 (M.$) (1991). (**Figura 27**).

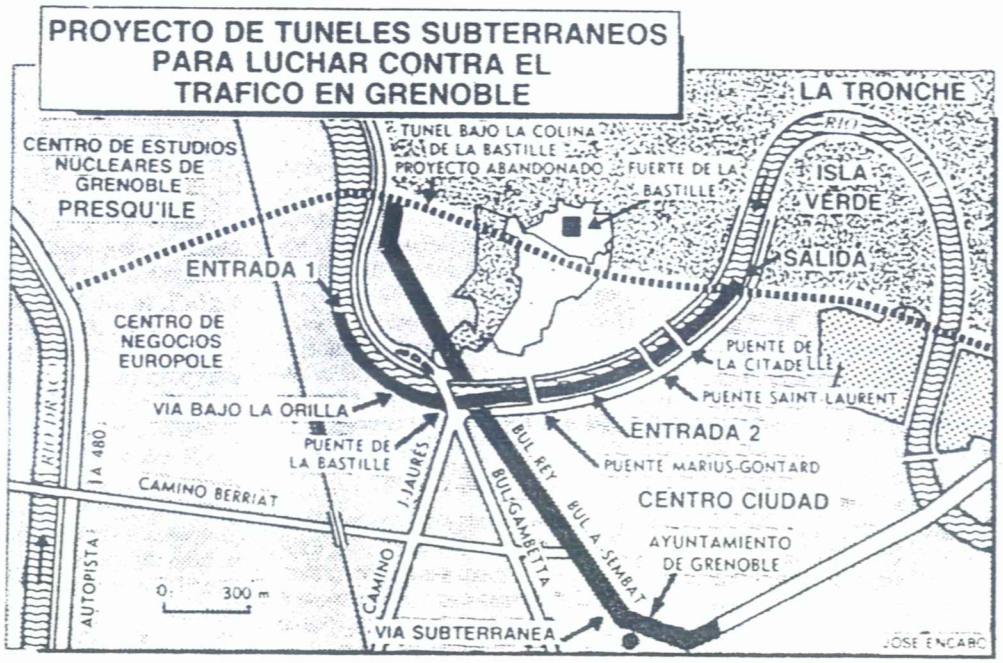


FIGURA 27.- PROYECTO TÚNELES SUBTERRÁNEOS EN GRENOBLE

Estos túneles subterráneos permitirán atravesar la ciudad en menos de 10 min. y reconquistar para la ciudad su propio espacio urbano devolviéndolo a los ciudadanos.

Como acción complementaria, se proyecta construir un gran número de aparcamientos subterráneos con salidas a puntos neurálgicos del casco urbano.

* SEATTLE-WASHINGTON

En la ciudad de Seattle, en una atractiva área residencial, se construyó entre 1983-1985 un túnel singular por su método de ejecución de 19,40 m de diámetro y 406 m de longitud para peatones y vehículos con un presupuesto de 33 (M.$) (**Figura 28**).

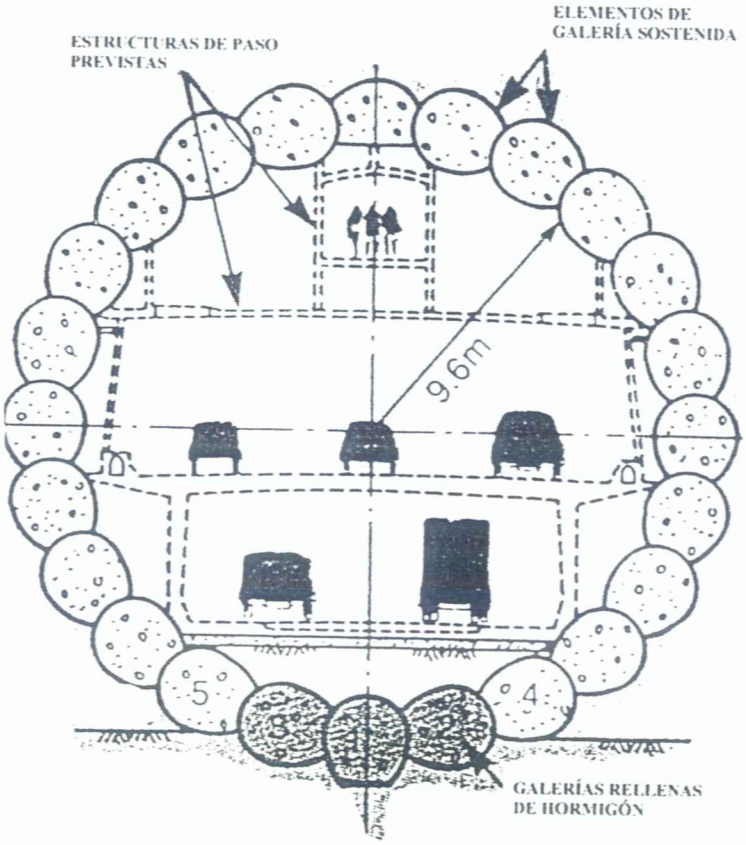


FIGURA 28.- TÚNEL URBANO DE MOUNT BAKER RIDGE

En un primer lugar, se excavaron con escudo unos túneles periféricos en forma de herradura que se rellenaron completamente de hormigón, formándose de este modo un

revestimiento previo. Finalmente se procedió a la excavación de los terrenos dentro del anillo creado.

* **PRAGA**

La ciudad de Praga, que no es una populosa ciudad, tiene importantes barreras naturales, colinas y masas rocosas en muchos sitios y el río da una curva justamente en el centro de la ciudad. Por otra parte, se quiere preservar la ciudad medieval.

Se ha proyectado la línea A del suburbano pero para solucionar los problemas de tráfico es necesario construir túneles.

El nuevo diseño del Basic Transport System (BTS) consiste en construir tres círculos y once carreteras radiales con una longitud total de 240 km de los cuales 10 km corresponden a túneles carreteros.

BIBLIOGRAFIA

Construction of ring subway line in Tokyo
S. Yoshida, T. HIRADE; TOWARDS NEW WORLDS IN TUNNELLING. Acapulco. Mayo 1992.

Selection of the Shield Tunnelling Method for the New Transportation System in Hiroshima.
Shinichi Ishikawa, Miya Kiyoshi; TOWARDS NEW WORLDS IN TUNNELLING. Acapulco. Mayo 1992.

Tunnelling Operations and equipment. Edited by D.D. Brennan ASCE. Octubre 1985
Curso sobre túneles urbanos y subterráneos. CEDEX 1992.

Safly Concept and Supervision during the Building. The Tannerberg-Fäsensternb Urban Tunnel.
Tunnel, official journal of the STUVA. Agosto 1990.

Concept and construction of the Mount Baker Ridge Tunnel. Dr. Hasverg W. Parker.
Tunnel and Tunnelling. March 1990.

Japan Innovations; Mike Smith, Editor World Tunnelling. World Tunnelling. Agosto 1990.

SWISSMETRO SITUATION. Mayo 1992.

Cost - Benefits in underground urban public Transportation Frieldheln Blennemann.
II Austrian Tunnelling Conference. Volumen 1. Marzo 1987.