17) LAUREANO CORNEJO ÁLVAREZ

Revista Obras Públicas Nº 3.336. Año 141.Octubre 1994.

Publicación:

"Las obras subterráneas y el transporte urbano (I)".

LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS Y EL TRANSPORTE URBANO (I)

Laureano Cornejo Alvarez*
Ingeniero de Minas

La incidencia que el tráfico urbano tiene en el desenvolvimiento diario de las grandes ciudades, es una realidad constatada y padecida por los ciudadanos.
La saturación del tráfico urbano en superficie, se agrava por la escasez de espacios disponibles y el impacto negativo que provoca en el medio ambiente urbano (contaminación, ruidos, vibraciones, ataques a monumentos y edificios nobles).
Con frecuencia, la problemática es de tal magnitud que es necesario adoptar medidas contundentes, capaces de reinventar un nuevo modelo urbanístico que permita un desarrollo armónico de las urbes.
Estas medidas contundentes obligan con frecuencia a pensar en utilizar el subsuelo de las grandes ciudades para proyectar y construir redes de tráfico.
En el presente trabajo se enumeran los distintos sistemas de transporte urbano que pueden utilizarse, cuya elección dependerá de la problemática concreta de cada ciudad.
Con frecuencia la solución al problema del tráfico urbano exige diseñar una serie de acciones conjuntas y complementarias para que ésta sea eficaz. Se hace referencia a las distintas soluciones adoptadas en importantes ciudades del mundo: Paris, Madrid, Tokyo, etc.
Se incluye también una referencia a recientes innovaciones tecnológicas como la tecnología de suspensión magnética que en un futuro próximo permitirá utilizar velocidades operativas superiores a los 500 Km./h.

The role which urban traffic plays on everyday life within the large cities is clearly endured by the citizens.
Urban traffic saturation on the surface is aggravated due to a lack of available space and the negative impact on the urban environment (pollution, noise, vibrations, deterioration of monuments and noble buildings).
The problem is often such that strict measures must be taken in order to redesign a new urban model which may allow for a harmonic development of the large cities.
These strict measures often force us to use the underground of large cities in order to project and build new traffic networks.
This paper deals with different urban transport systems which may be used. Their selection depends on the specific problems within each city.
Many times, solutions to urban traffic demand for the designing of a series of complementary and joint measures in order for them to be efficient. Different solutions adapted to large cities throughout the world are referred to: Paris, Madrid, Tokyo, etc.
You will also find a section related to recent technological innovations such as magnetic suspension which will allow for traveling speeds which exceed 500 Km/h in the near future.

1.- Necesidad de la Construcción de las Obras Subterráneas en Zonas Urbanas

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).

*Director de GEOCONSULT
Recibido en ROP: febrero 1994

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 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.

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 Alemania más del 65 % de los túneles urbanos se construyen con técnicas subterráneas.

2. Infraestructura Subterránea para el tráfico 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 tráfico, 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.

Una solución radical de los problemas de tráfico exige diseñar y realizar proyectos capaces ejercer un gran impacto en el medio urbano 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.

TABLA 1. SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

TRANSPORTE		SITUACION CON SUPERFICIE	SISTEMA DE TRANSPORTE	MODALIDAD DE TRANSPORTE	EJEMPLOS
TERRESTRE	CALZADA	SUPERFICIE	Vehículos Automóviles/Trolebuses		
		PLATAFORMA ELEVADA	Vehículos Automóviles/Trolebuses		
		SUBTERRANEO	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 cincurvalación, Paris. Proyecto láser. * Red subterránea bajo el Complejo de Azca. Madrid. * Basic Transport System (BTS). Praga.
	VIA FERREA	SUPERFICIE	Tranvía		
		PLATAFORMA ELEVADA	Metro Ligero		
		SUBTERRANEO	Metro Pesado	Sobre rail	* Metros 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 Magnética	* 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 Magnética	–
		SUBTERRANEO-SUPERFICIE (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 Caracas. * Metro Santiago de Chile.
				Suspensión magnética	–
			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 magnética	* Sistema alemán y japonés.
		SUPERFICIE-SUBTERRANEO (TRENES DE CERCANIAS) (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 magnética	–
MARITIMO/ FLUVIAL			TRANSBORDADOR	–	–
AEREO			HELICOPTERO	–	–

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

En Alemania, los costos de los transportes urbanos por ferrocarril 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 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.

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

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 para el 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.Transportes Ferroviarios Urbanos

En el ámbito de los transportes ferroviarios urbanos, algunos de los proyectos más signiticativos en curso son:

● 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 0,2 x 10^{12} Ptas. (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.
- La afluencia de viajeros al sistema LRT es mediante autobuses regionales.

● HIROSHIMA (JAPON)

En la ciudad de Hiroshima se está diseñando y construyendo desde 1986, un sistema de transporte 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 es del tipo de transporte sobre vía más 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 analizarán distintas posibilidades: una sección con dos círculos secantes (Overlapping double circular section) que fue la sección adoptada por resultar la más económica (Fig.-1.1.), túnel único de doble vía, (Fig.- 1.2.) y por último dos túneles paralelos de vía única. (Fig.- 1.3.).

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

La construcción del proyecto se inició en noviembre de 1991 y su terminación estaba prevista

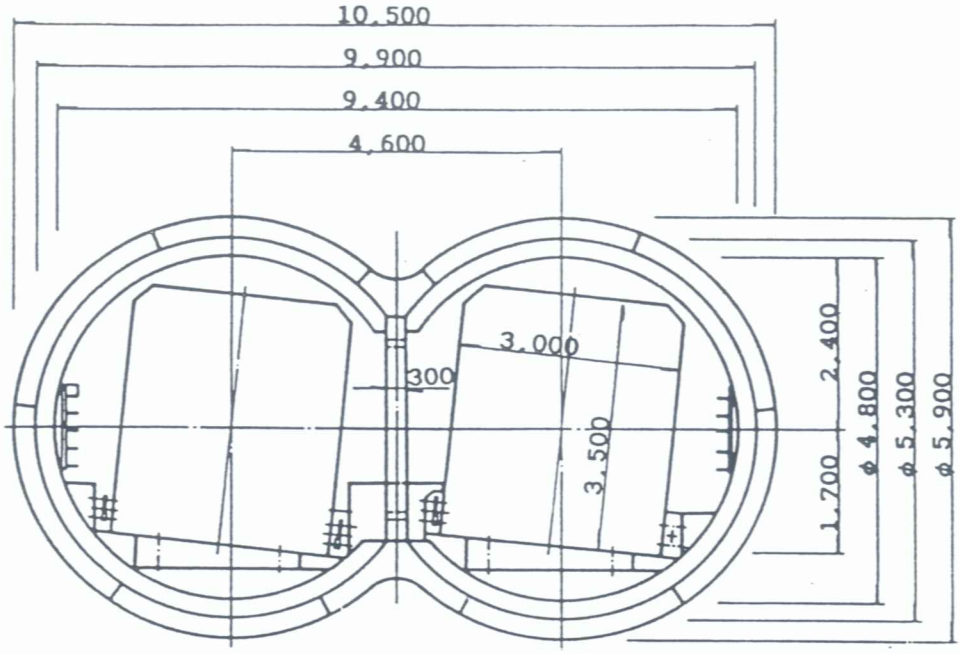


Figura 1-1.
Túnel de secciones circulares secantes.

para julio de 1992. No hemos podido confirmar si la obra está ya concluida.

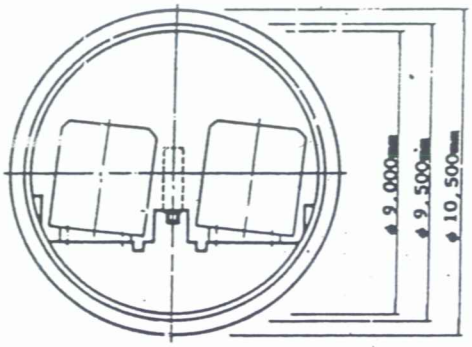
● **TOKYO (JAPON)**

Se está construyendo un anillo suburbano que en algunas zonas subterráneas circula a una profundidad de 40 m (FIG.- 2). La iniciación de las obras está prevista para 1997 y la inversión prevista para la construcción del anillo, línea nº 12 es ə 0,826 x 10^{12} Ptas., con una inversión total de ı,146 x 10^{8}. (Tabla 2).

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 de inducción lineal (LIM). (Fig.- 3).

Figura 1-2. Túnel único sección circular.
A la derecha, figura 1-3. Dos túneles circulares contiguos.



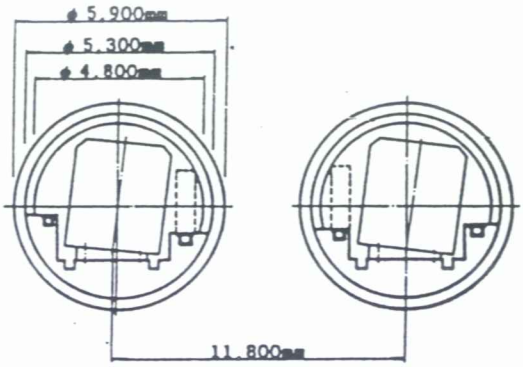


TABLA 2.- COSTOS ESTIMADOS DE CONSTRUCCIÓN

OBRA		Fecha comienzo	Coste Total (Pts)	Longit. (km)	Coste por km
RADIAL	1ª Fase	Dic.-1991	0,138 x 1012	4.8	0,028 x 1012
	2ª Fase	Mar.-1995	0,180 x 1012	9.1	0,019 x 1012
ANILLO		Mar.-1997	0,826 x 1012	28.8	0,028 x 1012
TOTAL		-	**1,146 x 1012**	**42.7**	**0,026 x 1012**

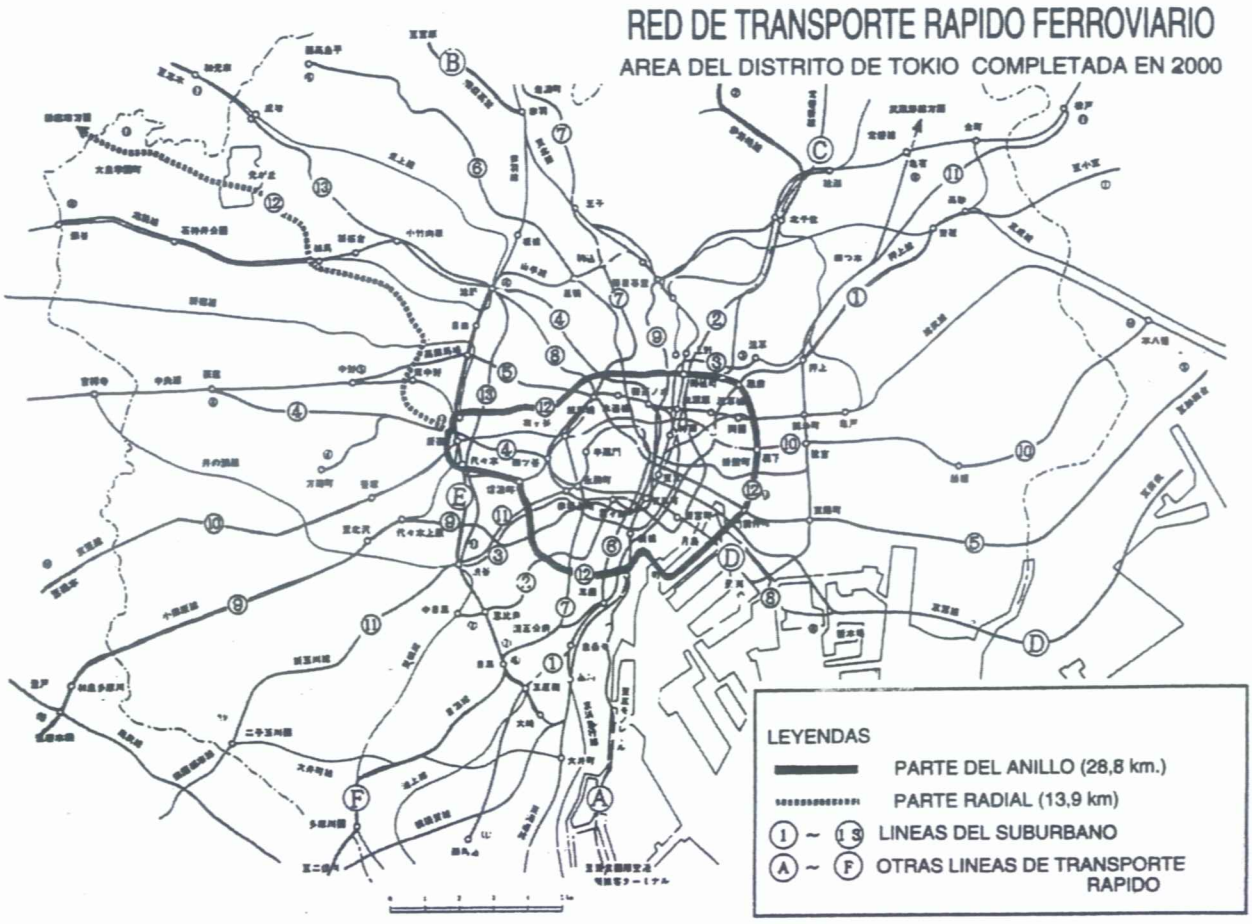
● **SWISSMETRO**

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 (Fig.- 4).

El Metro atravesará formaciones calizas a varias decenas de metros de profundidad, dentro de una sección circular de 3,40 m de diámetro (FIG.- 5); el tren tendrá una longitud de 200 m y una capacidad de 800 plazas y circulará suspendido magnéticamente sobre la vía; la duración prev del recorrido entre estaciones es de 12 minuto

El Presupuesto para el tramo Ginebra-St. Gall se ha estimado en 1 x 10^{12} Pts (1990) y el período de implantación de la línea será de 15 años.

Figura 2.
Anillo suburbano en Tokyo.



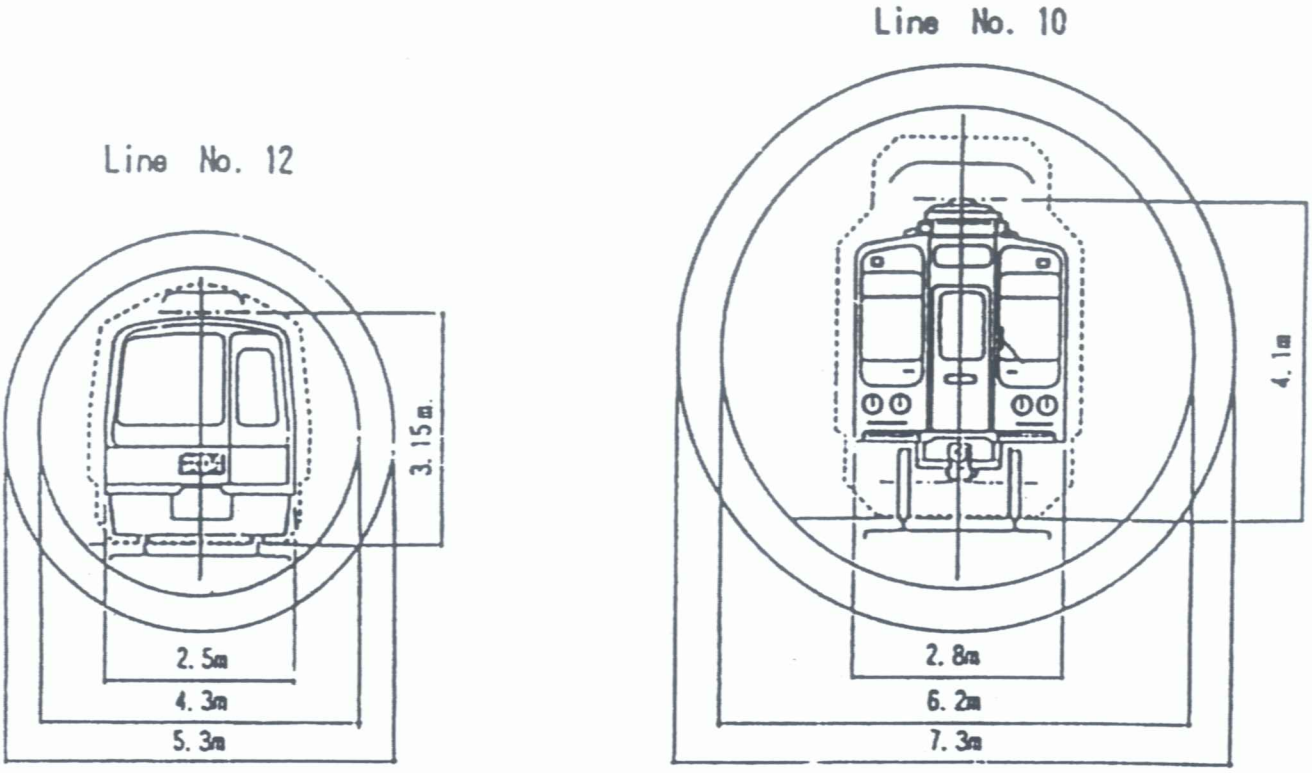
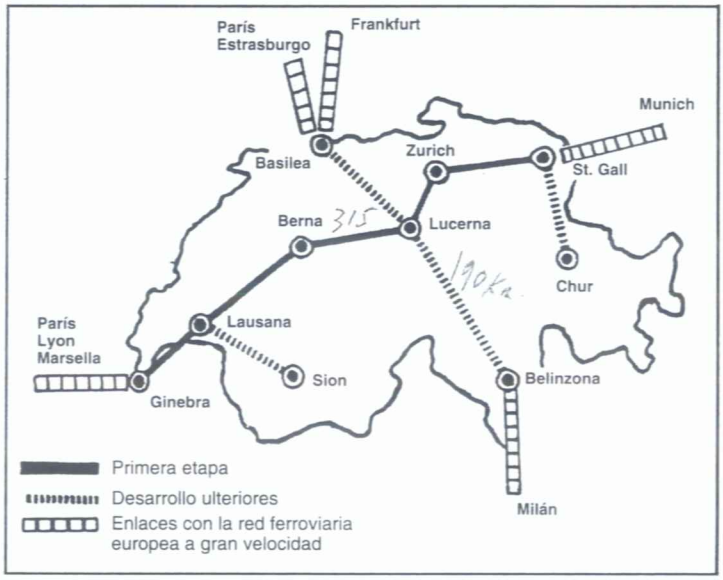


Figura 3. Comparaciói entre sectores.



TRAMOS	LONGITUDES	VOLUMENES DE EXCAVACION
Ginebra-St. Gall	315 km.	20 x 10^6 m^3
Basilea-Belinzona	190 km.	12 x 10^6 m^3
St. Gall-Chur y Lausana-Belinzona	170 km.	11 x 10^6 m^3
TOTALES	675 km.	43 x 10^6 m^3

Figura 4.
Red prevista del Swissmetro.

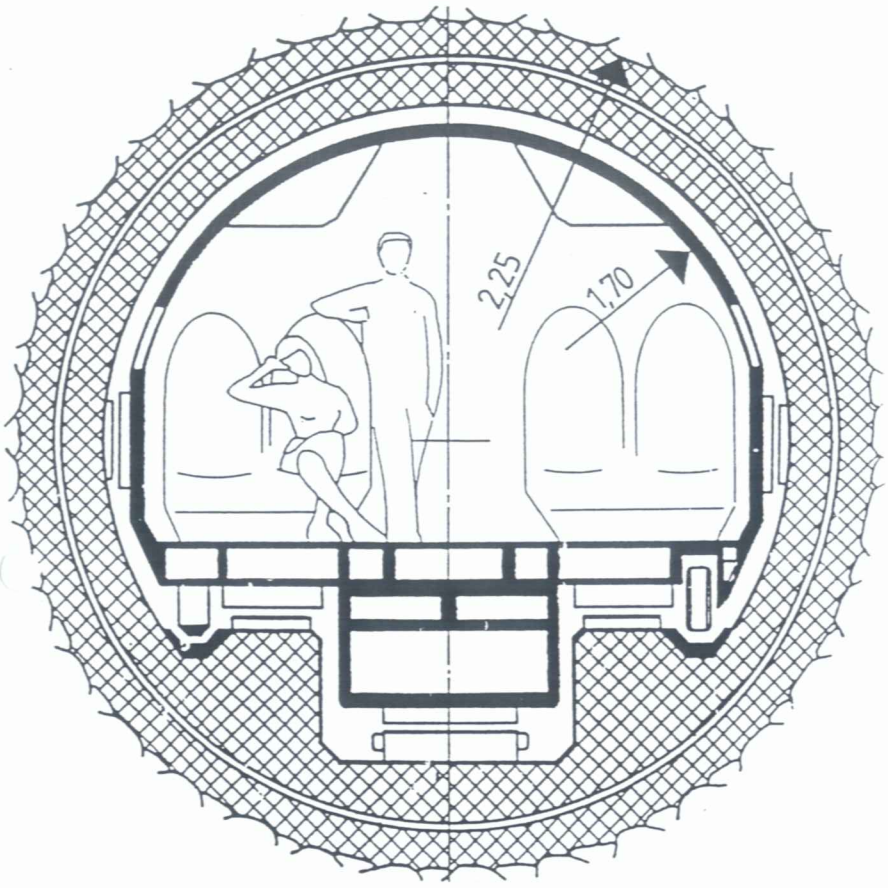
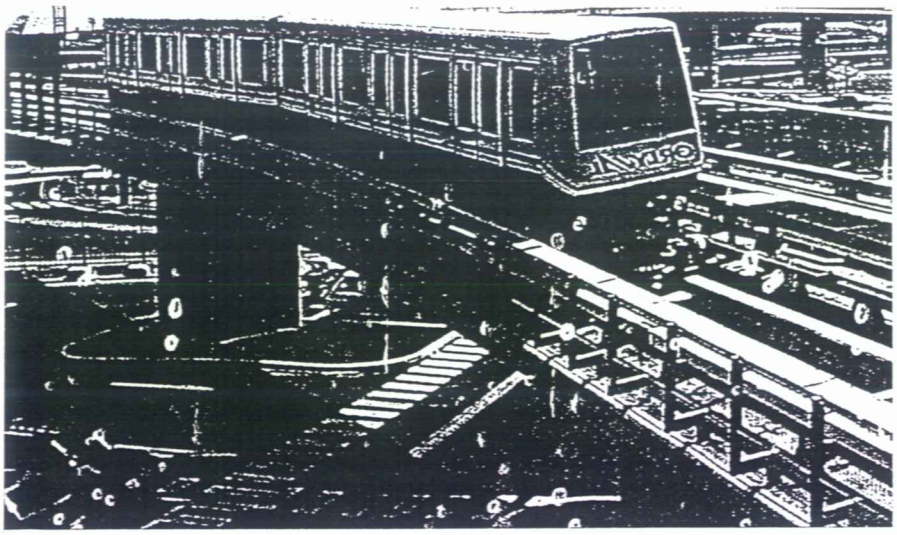


Figura 5.
Sección transversal
Swissmetro.

La inversión estimada para el proyecto completo del doble eje transversal es de 2,3 x 10^{12} Pts (1990) y un tiempo de implantación de 25 años.

Foto 1.- Tren Automático
Sistema Val.



● 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 1).

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 austriaca 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 conta 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 60.000 millones de pesetas.

● MADRID

Es sobradamente conocido por todos, los problemas de tráfico urbano que tiene el casco urbano 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 están diseñando distintos planes de actuación como:

- Ampliación de la red de Metro. (Fig.- 6).
- Línea de suburbano ligero que conecte Madrid y las poblaciones vecinas de Alcobendas

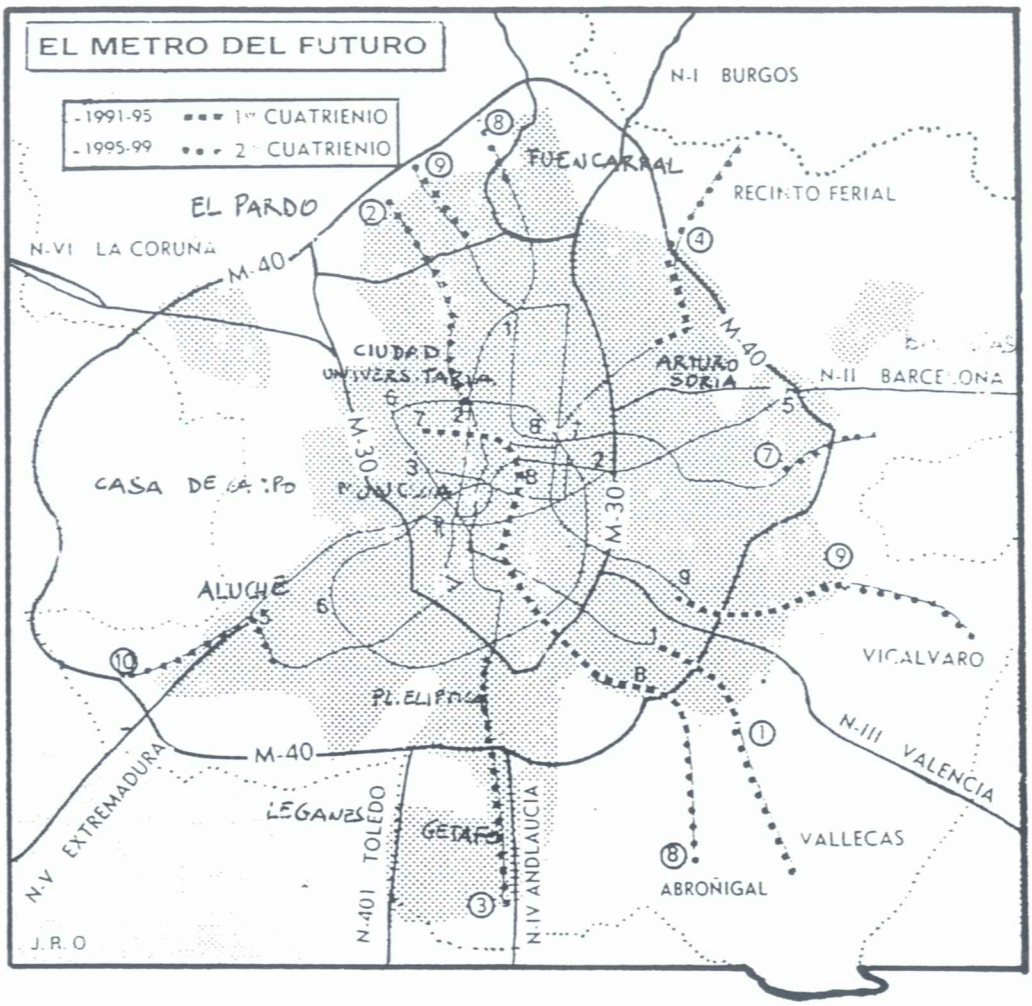


Figura 6. Ampliación de la red del metro de Madrid.

y San Sebastián de los Reyes con una inversión estimada de 7.000 millones Pts gestionada por un Consorcio (MOPT, CAM, Ayuntamiento de Madrid).

- Plan Intermodal de Transportes de Madrid con una inversión prevista de 70.000 millones Pts durante el período de 1993-2007. (Fig.- 7).
- 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 con una longitud de 8 km, un presupuesto de 10.721 millones de pesetas, un plazo de ejecución de las obras de 19 meses y será gestionado por un consorcio Ayuntamiento de Madrid-RENFE.

● BARCELONA

En Barcelona, además de planes de ampliación de la red del Metro, 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 km2. y una población de un millón de habitantes, se está construyendo 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

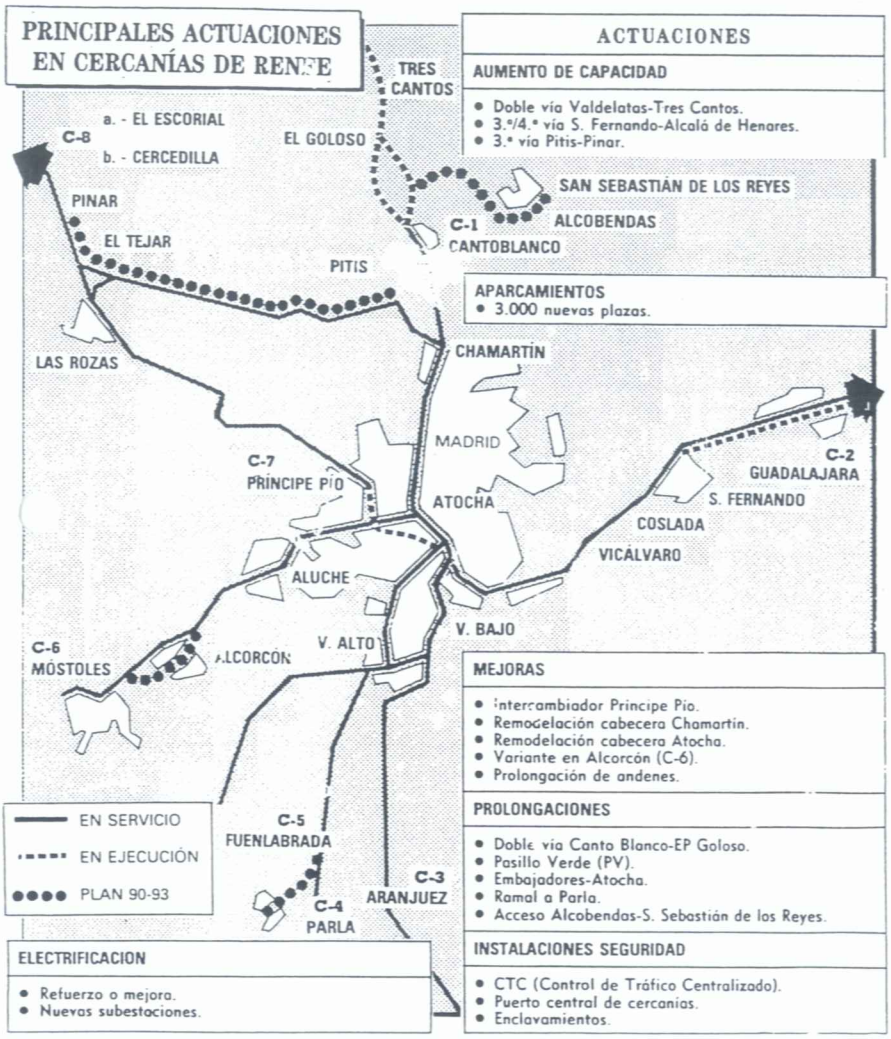


Figura 7.
Plan Intermodal de transportes de Madrid.

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. (Fig.- 8).

Se prevé que en 1996 con la fase I 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.

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 Area 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 está prevista la terminación de la fase actual, con el Metro en servicio, para finales de 1996, con una inversión total estimada de 77.500 millones de Pts (19[illegible] de los que la infraestructura se lleva unos 50.0[illegible] millones de Pts (1990).

Las cavernas tienen una longitud aproximada de 90 m y una sección útil de 154 m^2. (Fig.- 9), y están situadas a una profundidad variable en 10 y 32 m.

El túnel de línea tiene forma de herradura con dimensiones exteriores aproximadas de anchura 10 m, altura 7,50 m (FIG.- 10); la sección de paso bajo la Ría en Olabeaga es de cajones flotantes. (Fig.- 11).

Recientemente se ha creado la Sociedad Metro-Bilbao como sociedad anónima constituida por el Consorcio de Transportes, integrado por re-

presentantes 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 (Fig.- 12). 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.

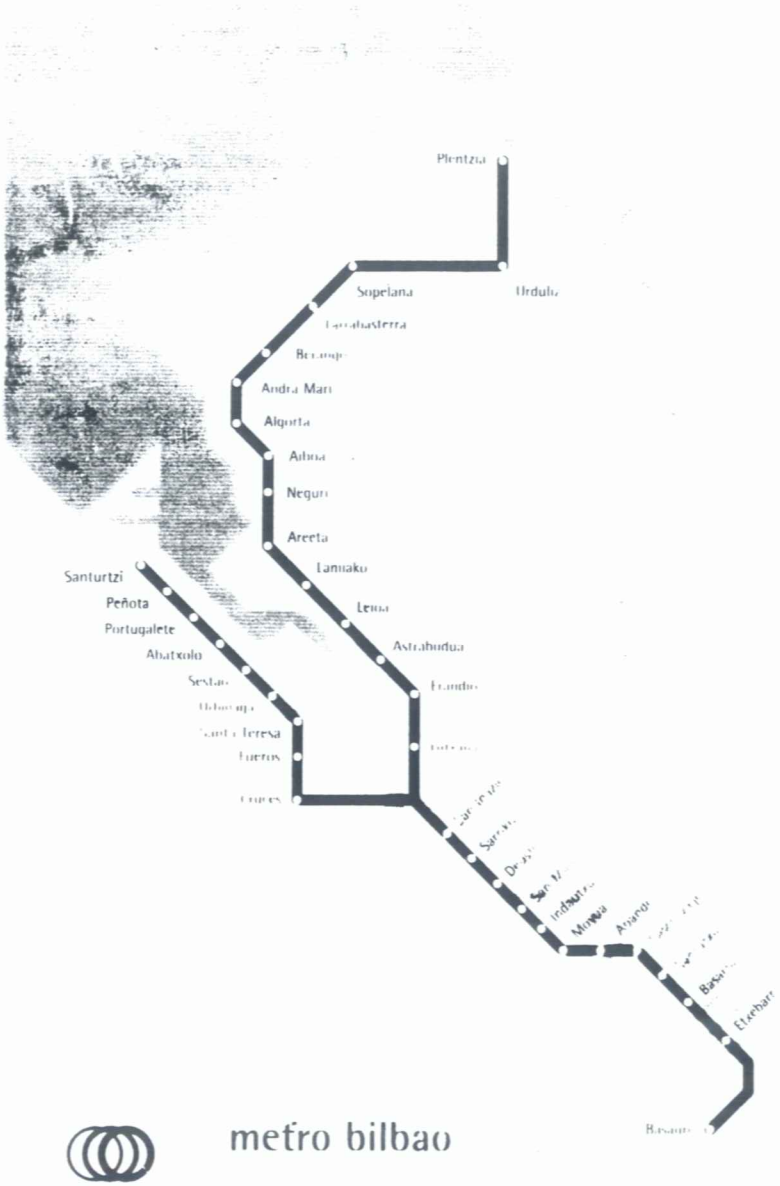


Figura 8. Metro de Bilbao. Esquema de situación de las lineas 1 y 2.

En el momento presente se está a la espera de una decisión de reanudar los trabajos interrumpidos.

● 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 caracter informativo dependiente del MOPT que elaboró el informe "Red Ferroviaria Metropolitana del Estu-

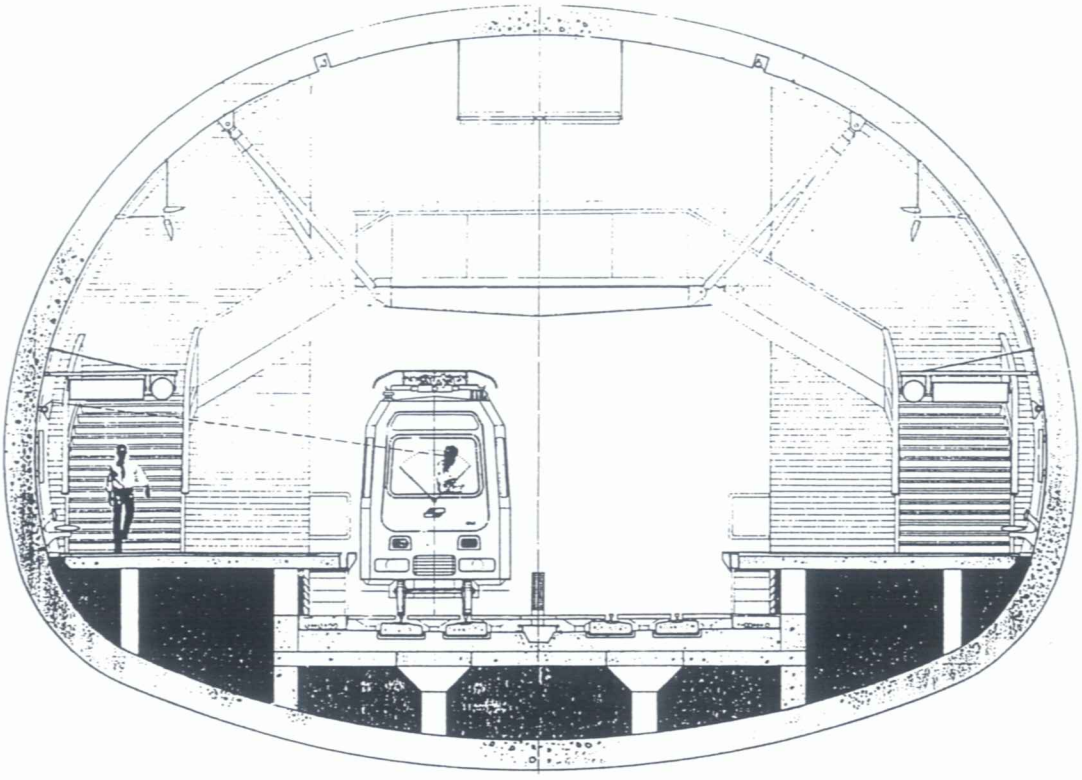


Figura 9. Metro de Bilbao. Sección de estaciones.

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 p blemas existentes.

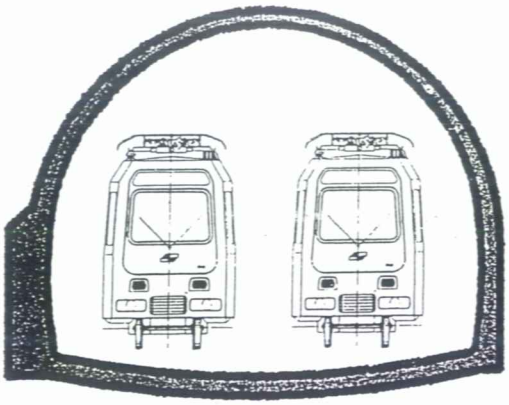
La línea 3 sería de nueva creación en todo su trazado y enlazaría Manises con el Puerto y el barrio del Cabañal mediante un tramo en superficie hasta atravesar el cauce del Turia y un tramo subterráneo.

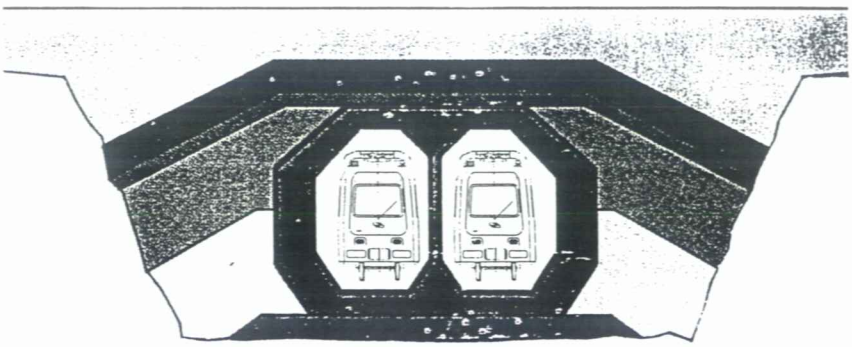
dio Integral de los trabajos del Area de Valencia" concluído en 1979.

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.

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.

Figura 10. Metro de Bilbao. sección de tunel de linea.
A la derecha, figura 11. Sección de paso bajo la en Olabeag.





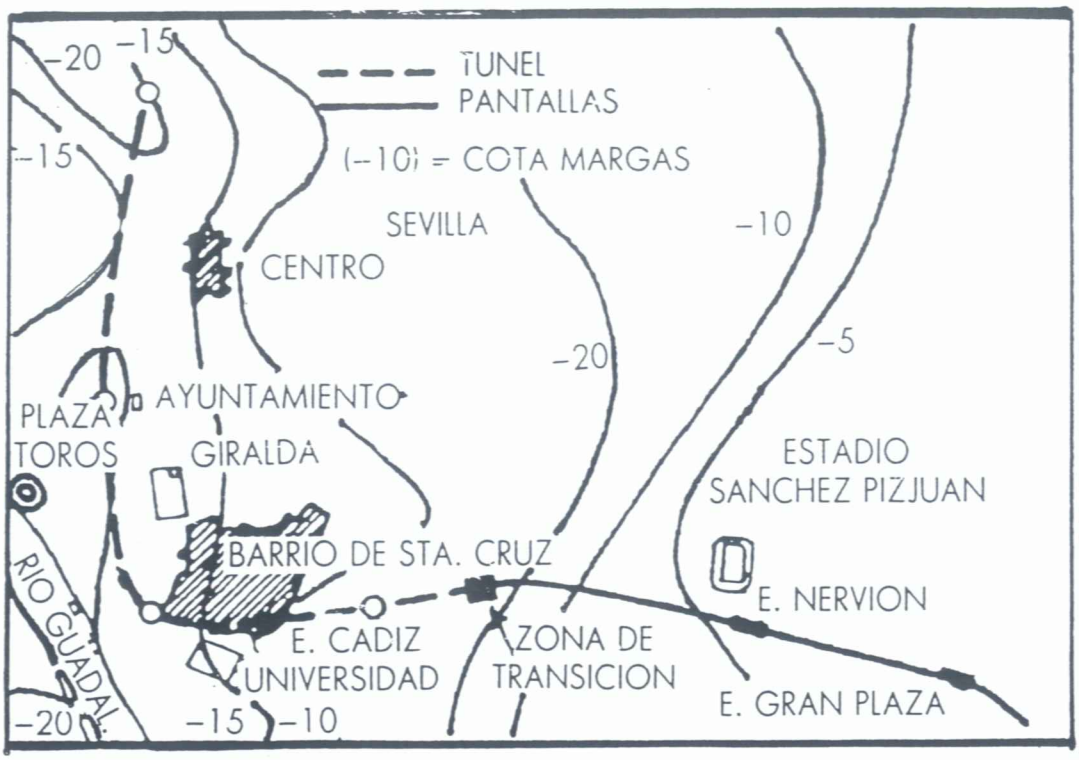


Figura 12. Metro de Sevilla. Planta de la ciudad y situació de la linea 1 del metro.

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. (Fig.- 13).

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.

4.1.1.- Innovaciones tecnológicas y tendencias actuales

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.

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. (Fig.- 14).

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

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

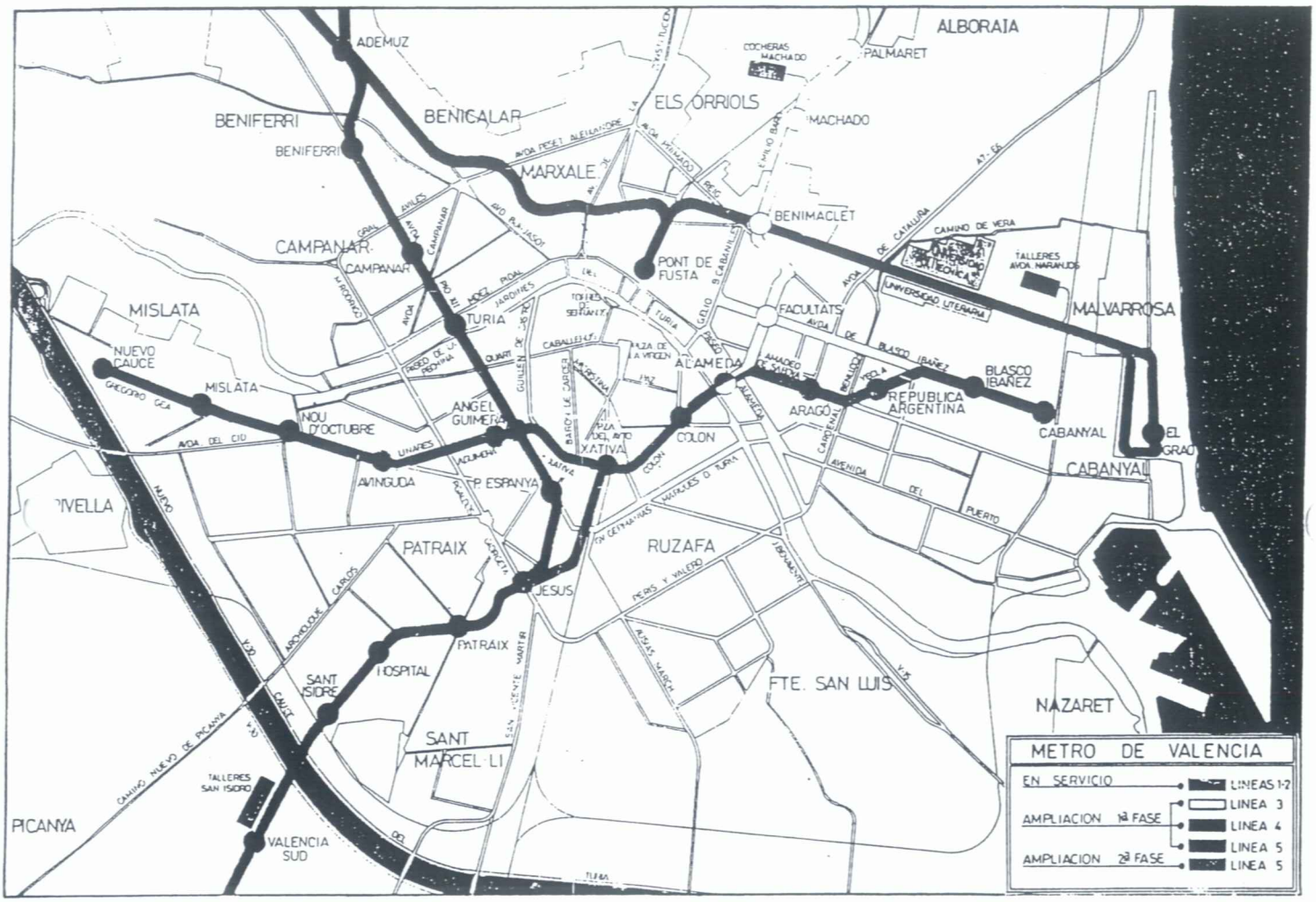
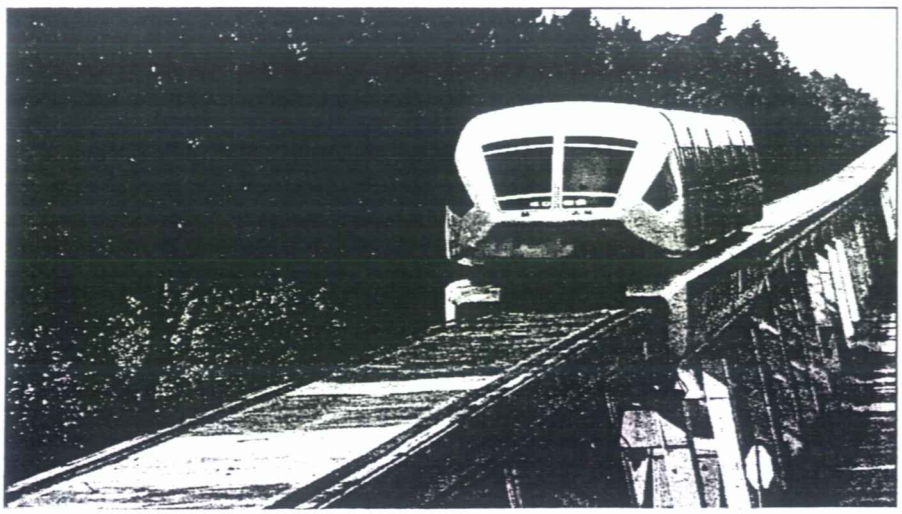


Figura 13. Metro de Valencia.

Los electroimanes de suspensión colocados debajo de la vía, atraen el vehículo hacia ella y los electroimanes de guiado colocados en los lados lo mantienen próximo a la vía a una distancia fija de 10 mm.

Figura 14. Prototipo de tren magnético



Los elementos propulsores están colocados en la vía con lo que se reduce el peso en el material móvil y se suprimen las vibraciones.

Existen varios proyectos pensados para utilizar esta tecnología.

En Alemania se proyecta unir los aeropuertos de Düsseldorf y Bonn antes de 1995.

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.

En Japón se está desarrollando también esta misma tecnología con otra modalidad de aplicación. En el caso japonés la suspensión magnética se funda en el rechazo de dos metales de cargas iguales. La Japanesse National Railways está desarrollando esta tecnología desde 1987, que se

prevé de gran importancia en el siglo XXI como un nuevo sistema básico de transporte. (FIG.- 15).

Está en construcción una pista de pruebas que consiste en un túnel de 40 km con pendientes variables. El proyecto prevé una inversión de 0,4 x 10^{12} Pts con una finalización para 1997.

■ 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.

● PARIS

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. (Fig.- 16).

Los túneles discurrirían 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 a realizar tienen un presupuesto estimado de unos 304.000 millones de pesetas con un período de ejecución de 3 años.

Los grandes ejes viarios diseñados, se unirán 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 proyectan-

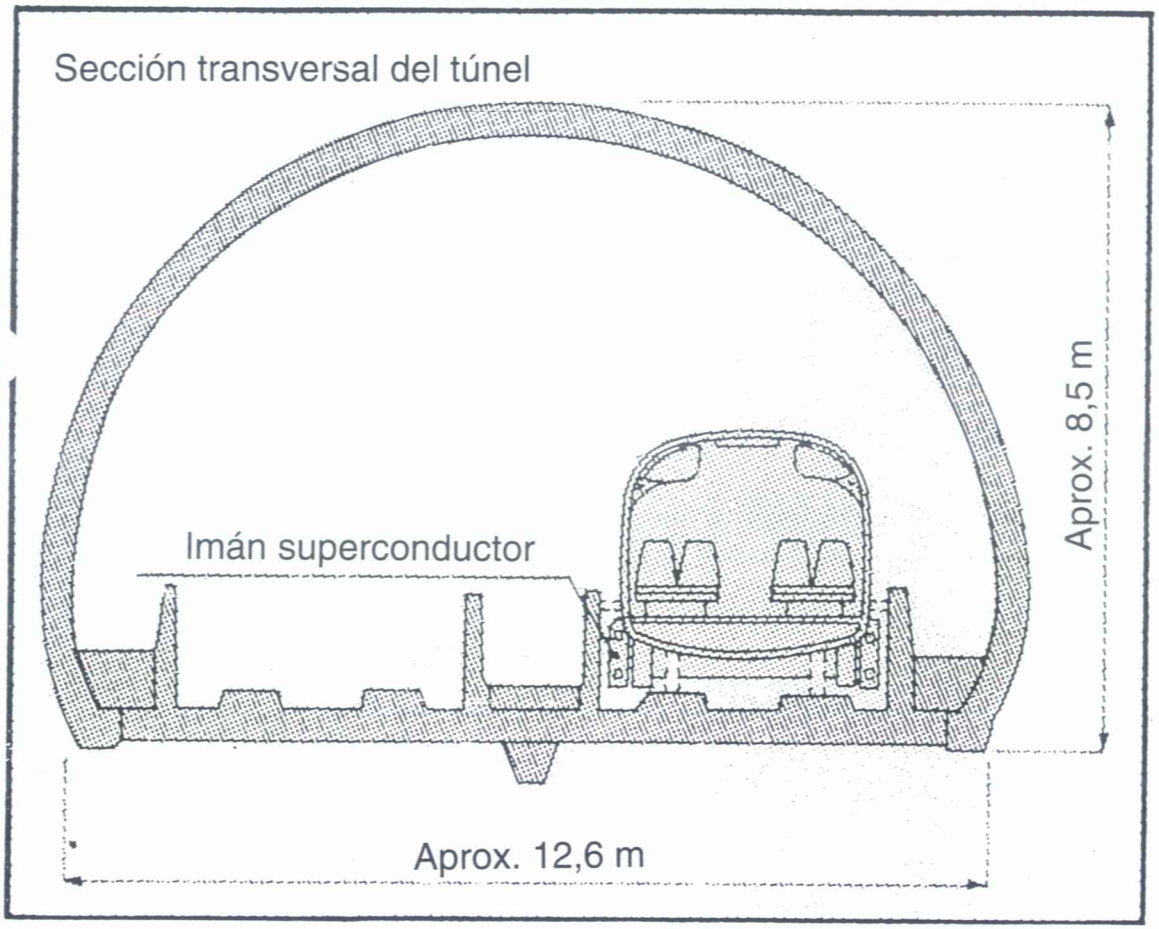
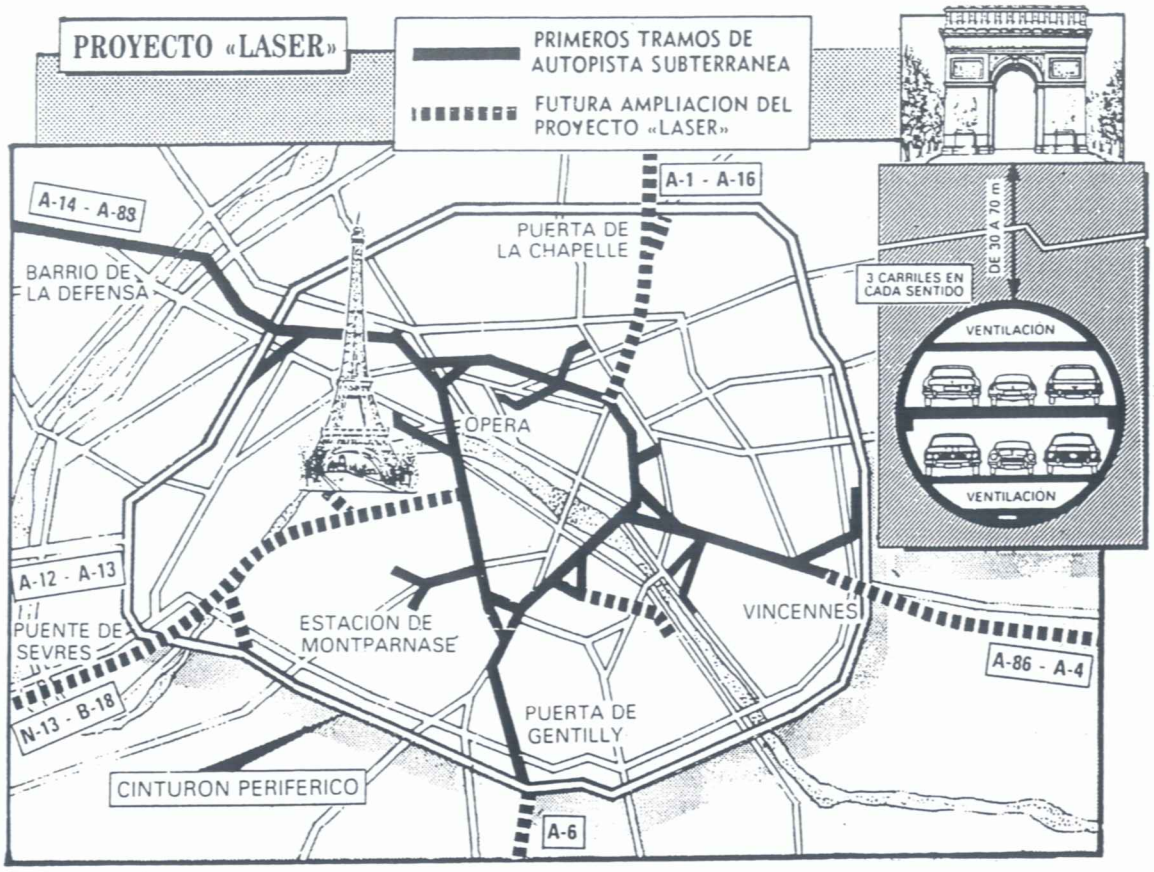


Figura 15. Sección tipo, tren suspensión magnética.

Figura 16. Proyecto Laser.



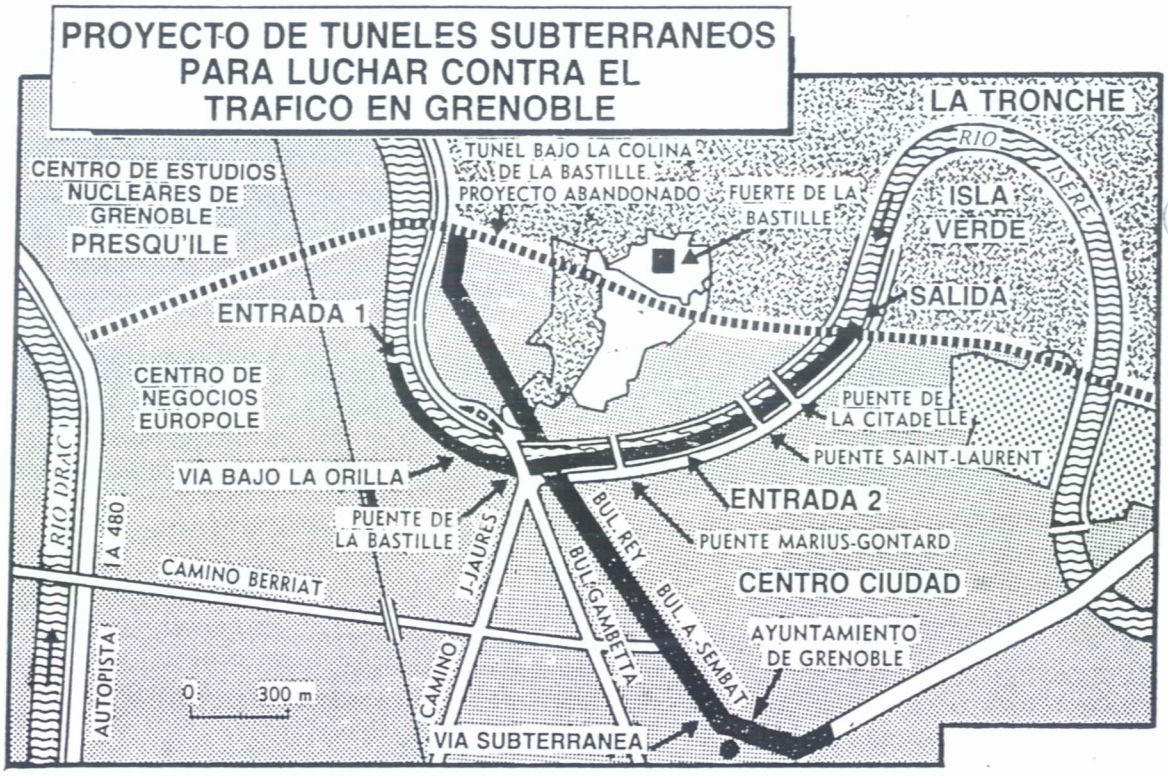


Figura 17. Proyecto túneles subterraneos en Grenoble.

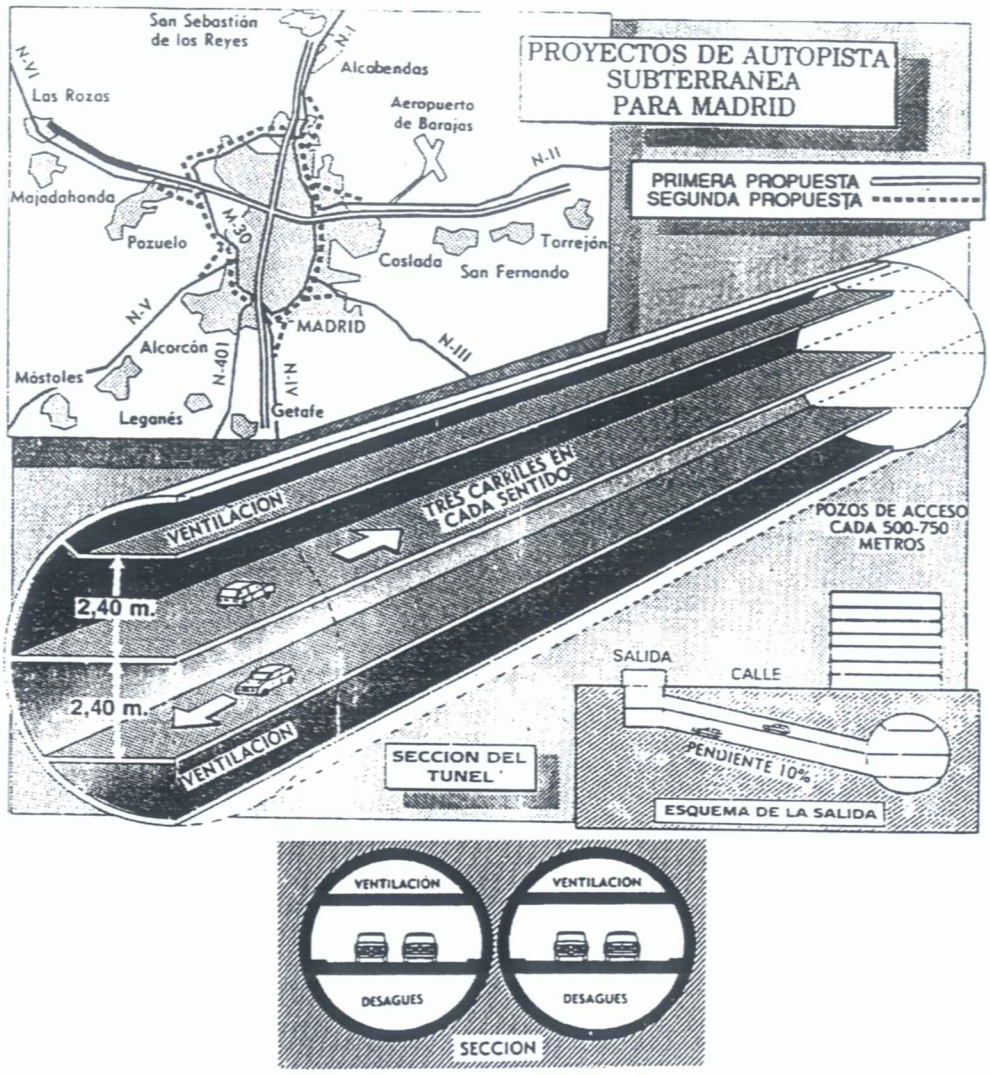


Figura 18. Proyecto autopistas subterraneas para Madrid (Paz Casañé).

do un doble eje transversal (Norte-Sur, Este-Oeste) con un presupuesto estimado de ejecución de 47.500 millones de pesetas (1991). (Fig.- 17).

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.

● 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 garage, 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.

Por otra parte, el Ingeniero Sr. Paz Casañé, ha diseñado dos autopistas subterráneas en cruz que atravesarían Madrid de Norte a Sur y de Este

a Oeste con un presupuesto estimado superior a los 150.000 millones de pesetas (1990). (FIG.- 18).

● **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 4596 x 10^6 Pts (Fig.- 19).

● **TUNEL TANNERBERG-FÄSENSTAUB**

En Alemania se ha construido un túnel urbano que atraviesa las colinas de Tannerberg y Fäsenstaub, cuya longitud es de 1,5 km y un diámetro de 11,40 m. Dicho túnel pasa bajo carreteras, edificios y líneas ferroviarias. (Fig.- 20).

● **PRAGA**

La ciudad de Praga, aunque no es una populosa ciudad, tiene importantes barreras naturales,

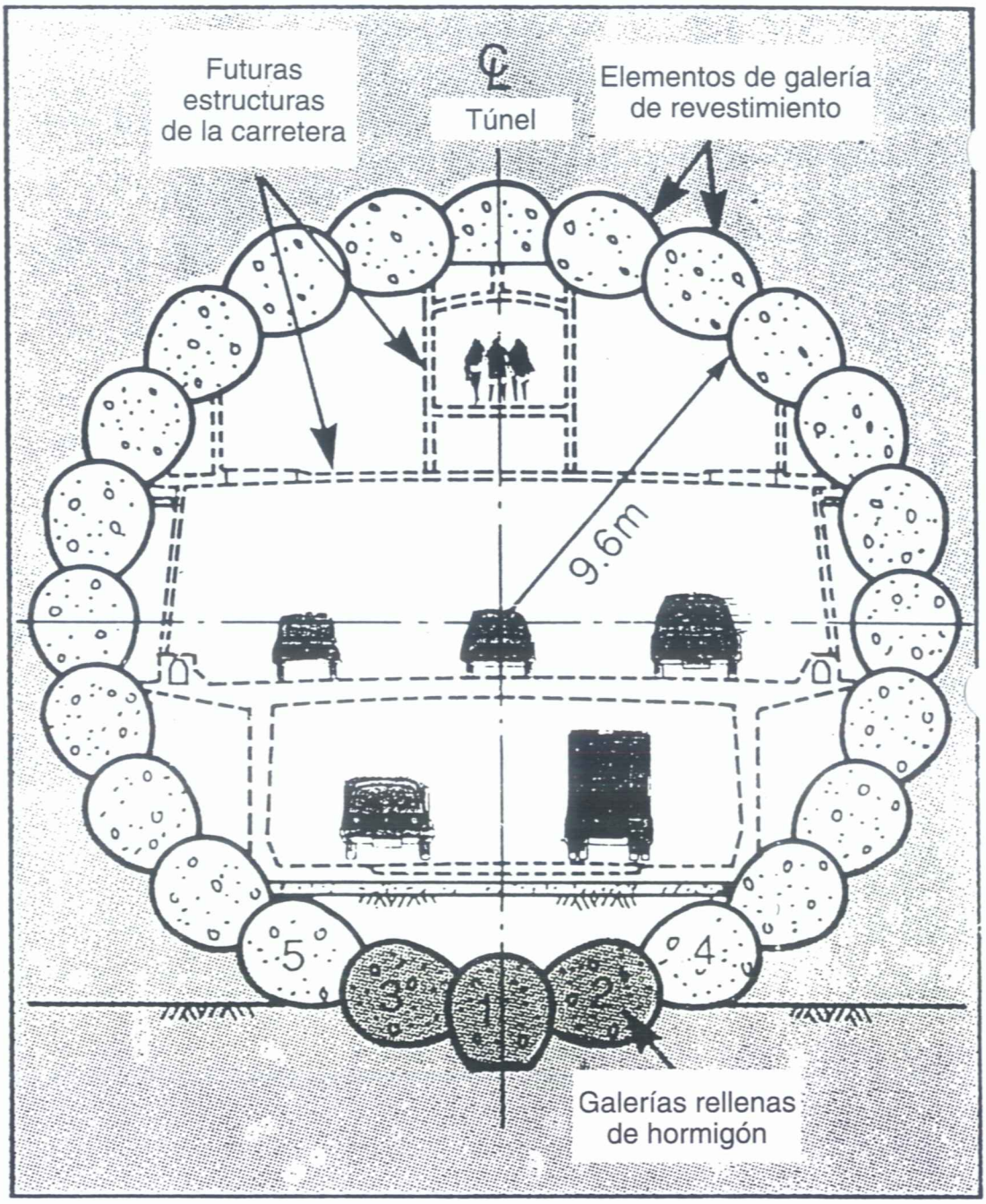


Figura 19. Túnel urbano de Mount Baker Ridge.

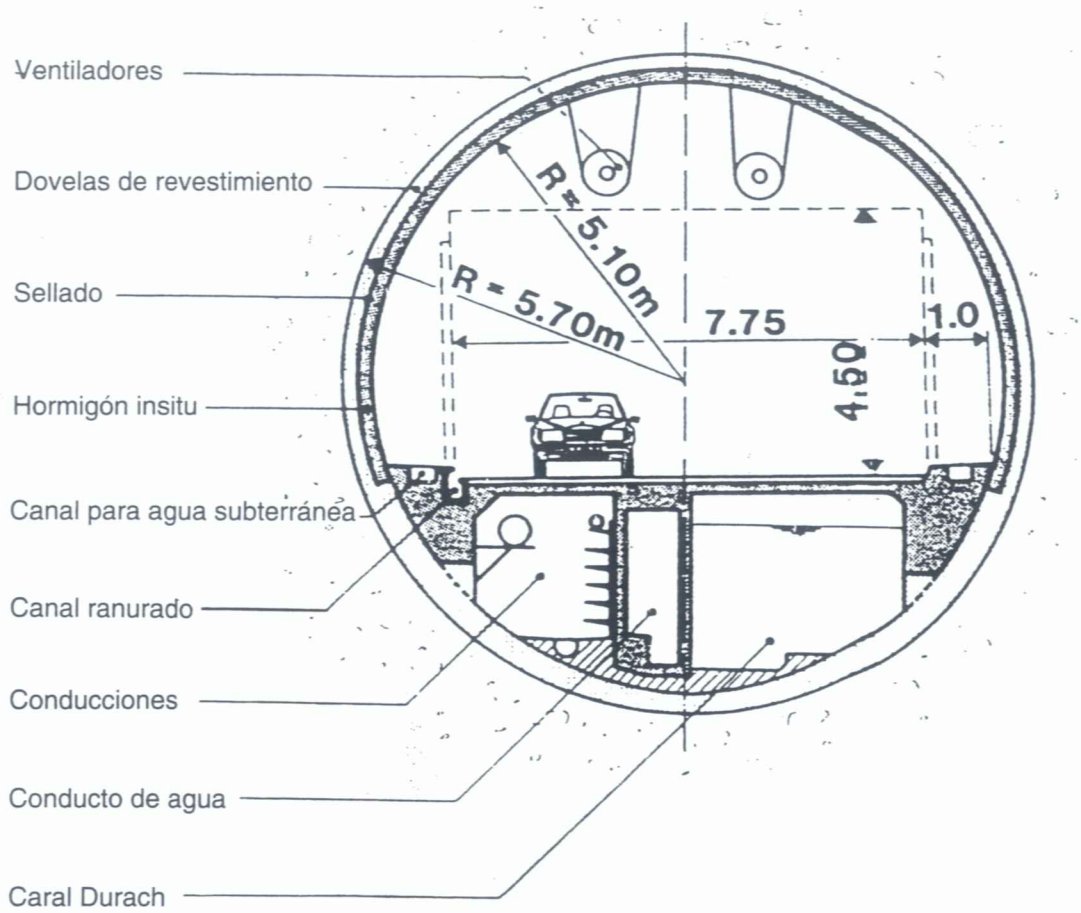


Figura 20. Sección tipo túnel de Fäsenstaub.

linas y masas rocosas en muchos sitios y el río a 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.

Bibliografía

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

election 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. ■