

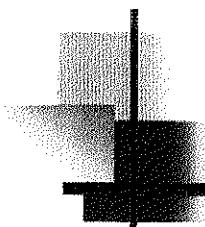
# Máster Universitario en Túneles y Obras Subterráneas

## ÁREA: PRELIMINARES

**TÚNELES URBANOS. METRO DE MADRID.**

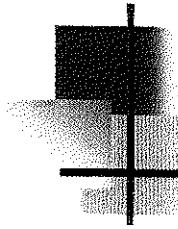
**Ponente:** C. Oteo  
**Día:** 11/01/07  
**Hora:** 18: 15 a 19:15

II MASTER UNIVERSITARIO EN TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS  
AETOS – C.I.C.C. Y P. - U.P.M.



# TÚNELES URBANOS: EL METRO DE MADRID

CARLOS OTEO MAZO  
CATEDRÁTICO DE ING. DEL TERRENO  
UNIV. DA CORUÑA



# METROS:

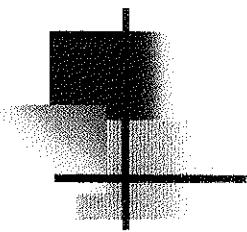
PAG. 1

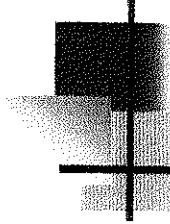
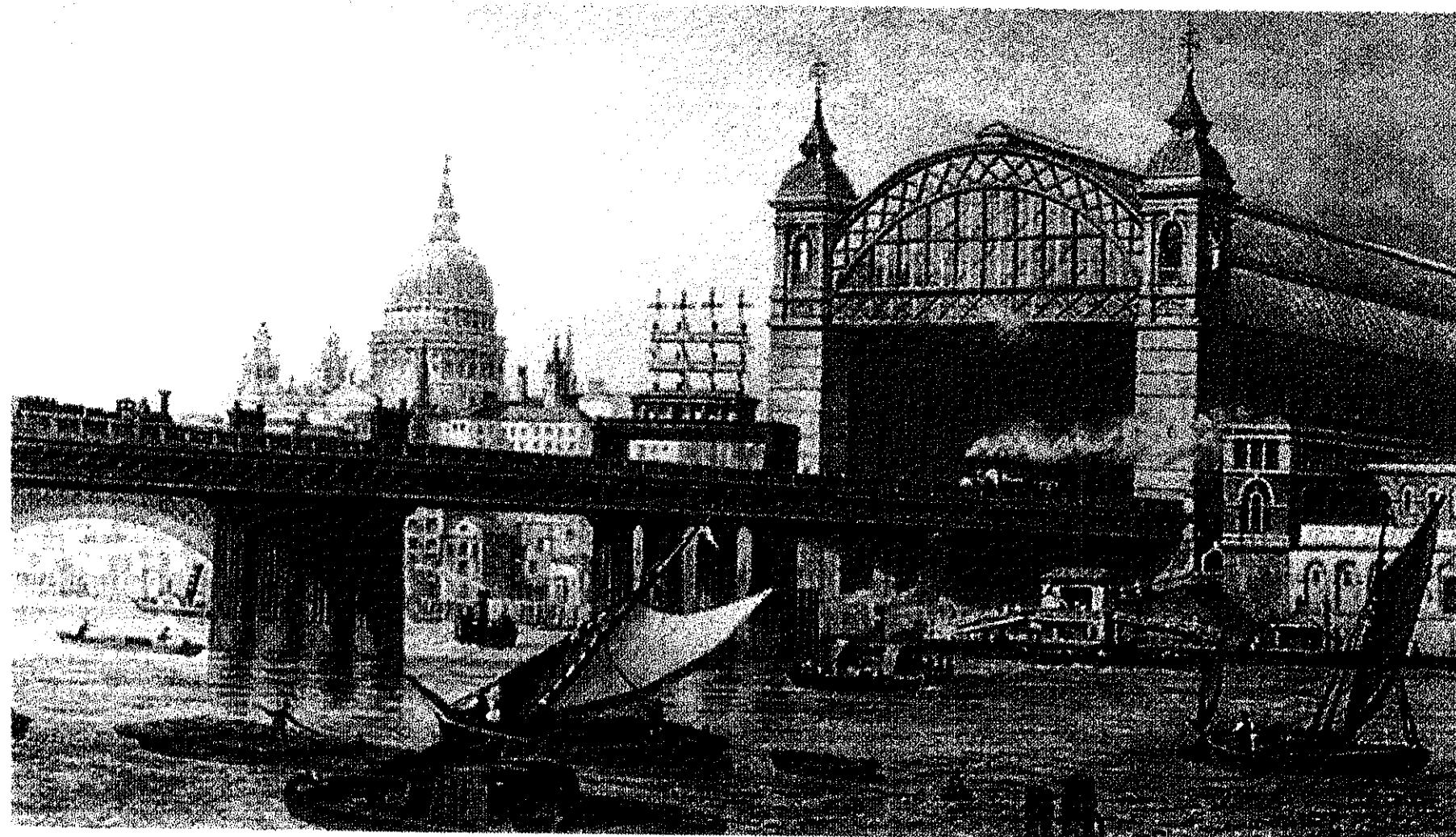
## LONDRES:

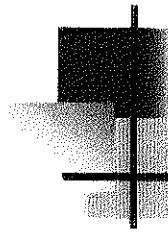
- 1859-63 "METROPOLITAN RAILWAY" (TÚNEL CIELO ABIERTO DESDE PADDINGTON).
- 1871 "METROPOLITAN DISTRICT RAILWAY" (IDEM, POR EL SUR).
- 1884 FUSIÓN METROPOLITAN-DISTRICT (ANILLO-CENTRAL LINE).
- 1890 "TUBE" BAJO EL TAMESIS (ESCUDO).
- 1853 UNIÓN 10 COMPAÑIAS: "N.Y. CENTRAL RAILROAD".

## NUEVA YORK:

- 1900 UNIÓN DE LOS 5 BARRIOS PERIFÉRICOS (BROOKLYN, BRONX, ...).
- POCA PROFUNDIDAD Y ELEVADOS.







# METROS:

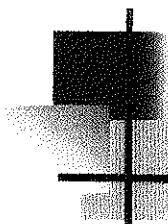
PAG. 2

## PARIS:

- 1837-1849 IMPLANTACIÓN LÍNEAS FERROCARRIL.
- 1897 AYUNT. FINANCIAR Y UNA COMPAÑÍA PRIVADA CONSTRUYE (CO. DU CHEMIN DE FER METRO DE PARIS).
- 1971 INAUGURACIÓN DE R.E.R.

## BERLÍN

- 1838 PRIMERA LÍNEA FERROVIARIA.
- 1877 ANILLO PERIMETRAL COMPLETO.
- 1891 SISTEMA TARIFARIO POR ZONAS.
- 1903 ELECTRIFICACIÓN.
- 1930 RED CON 230Km ELECTRIFICADOS.



# METROS:

PAG. 3

## ■ METRO DE MADRID

### ■ AMBITO URBANO

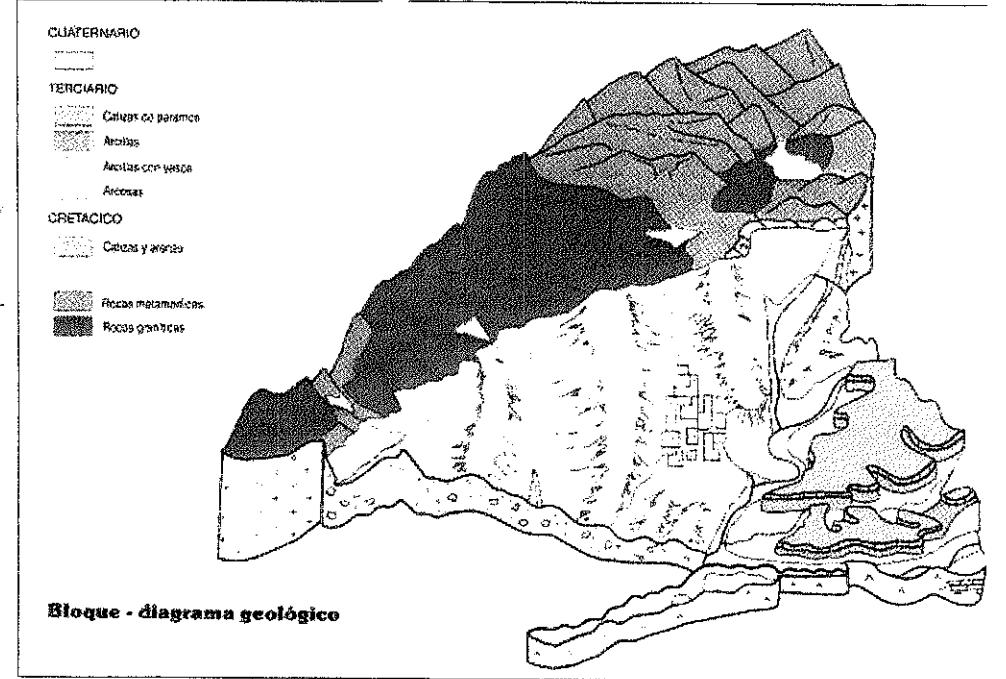
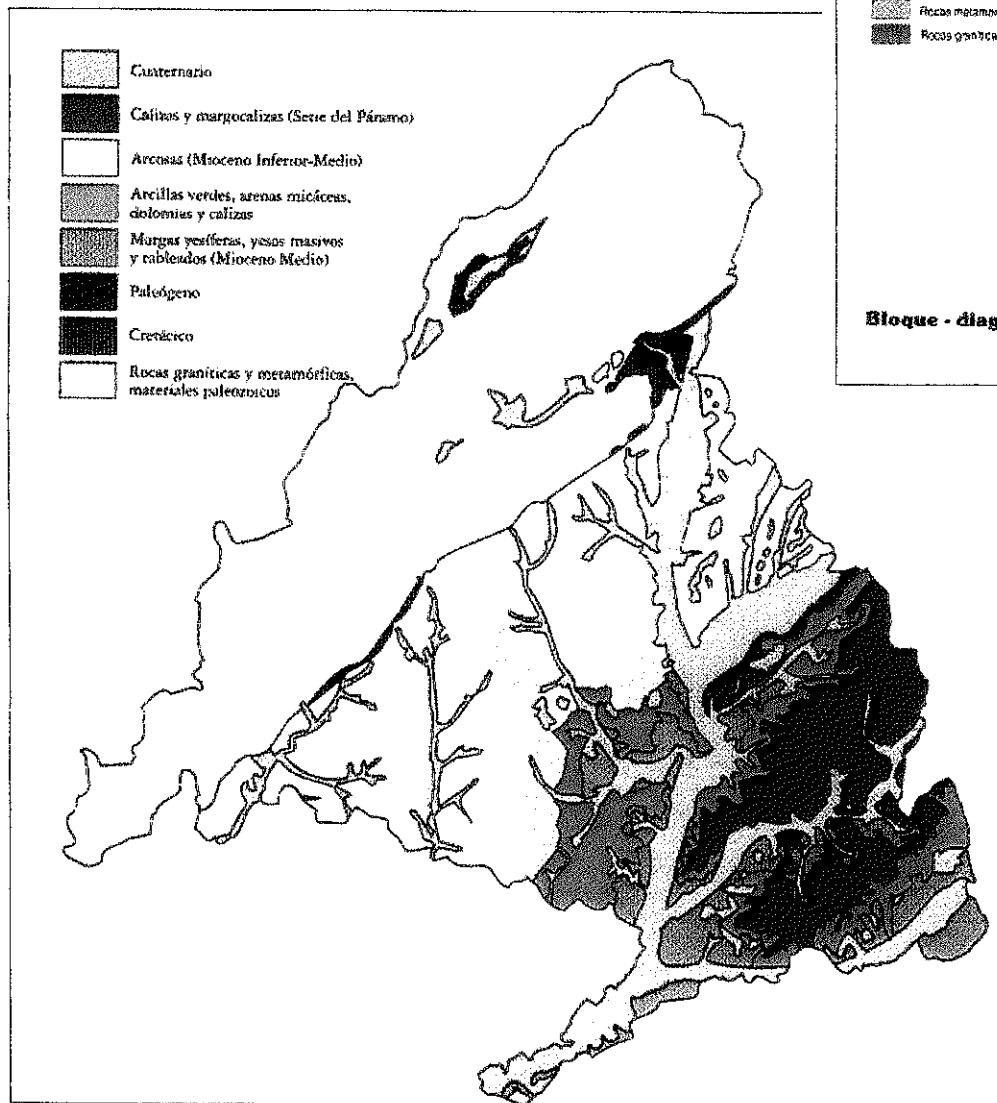
- POCA PROFUNDIDAD CLAVE (3-40m).
- VAGUADAS.
- EDIFICIOS PRÓXIMOS
- COLECTORES Y OTROS TÚNELES.

### ■ TÚNEL DE LÍNEA: 8 – 10m

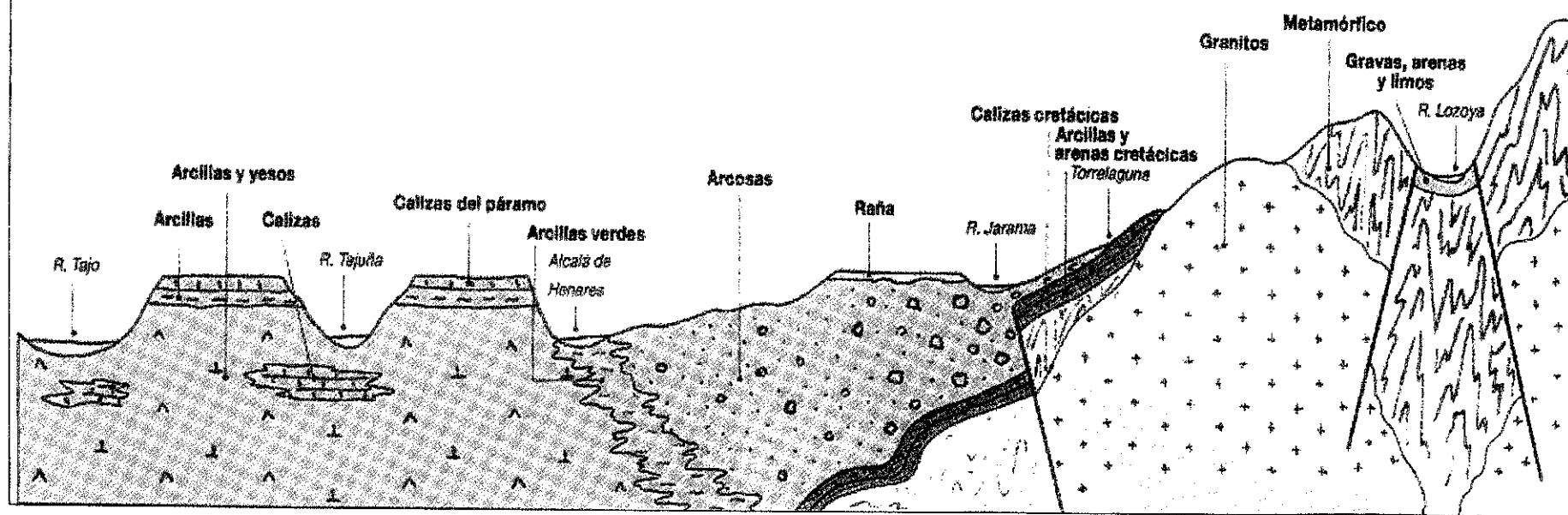
### ■ ESTACIONES: 18 – 30m

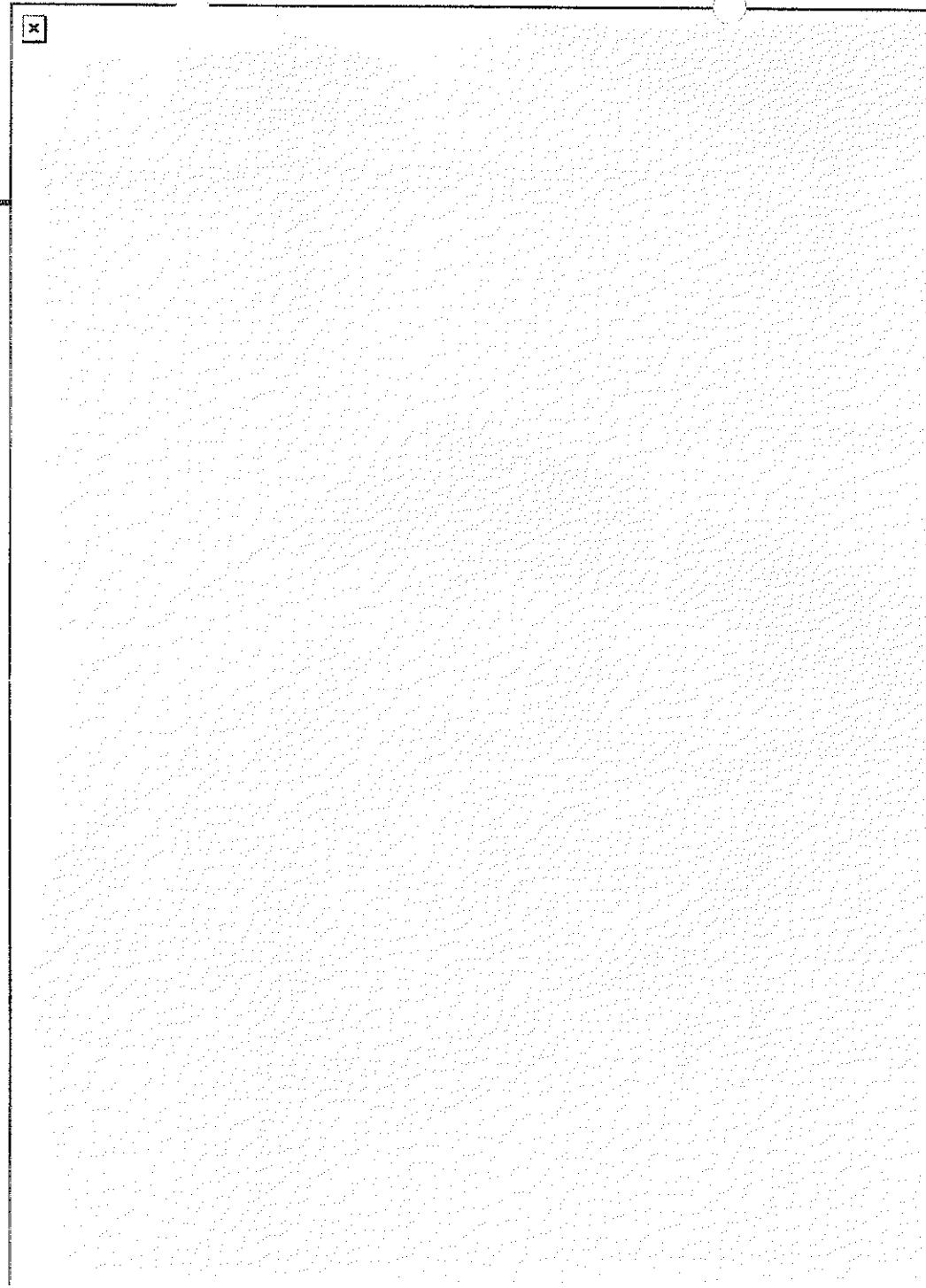
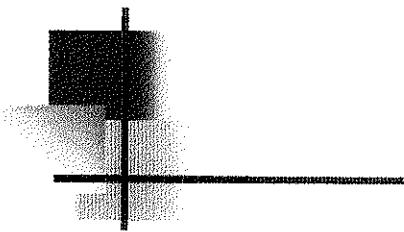
### ■ ASPECTOS GEOTÉCNICOS

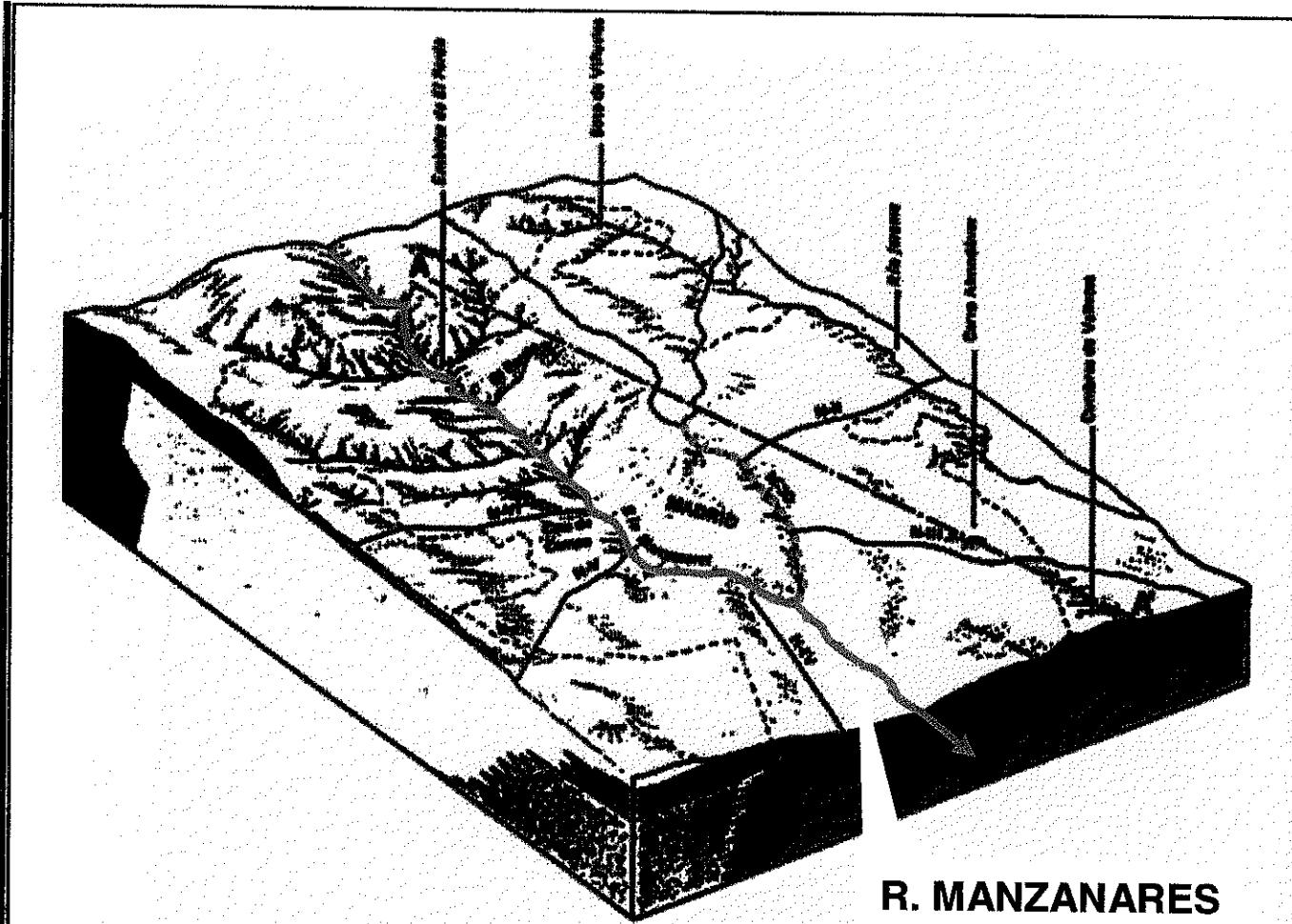
- CUATERNARIOS Y RELLENOS FLOJOS.
- SUELOS PLIOCÉNICOS.
- SUELOS MIOCÉNICOS Y YESOS.



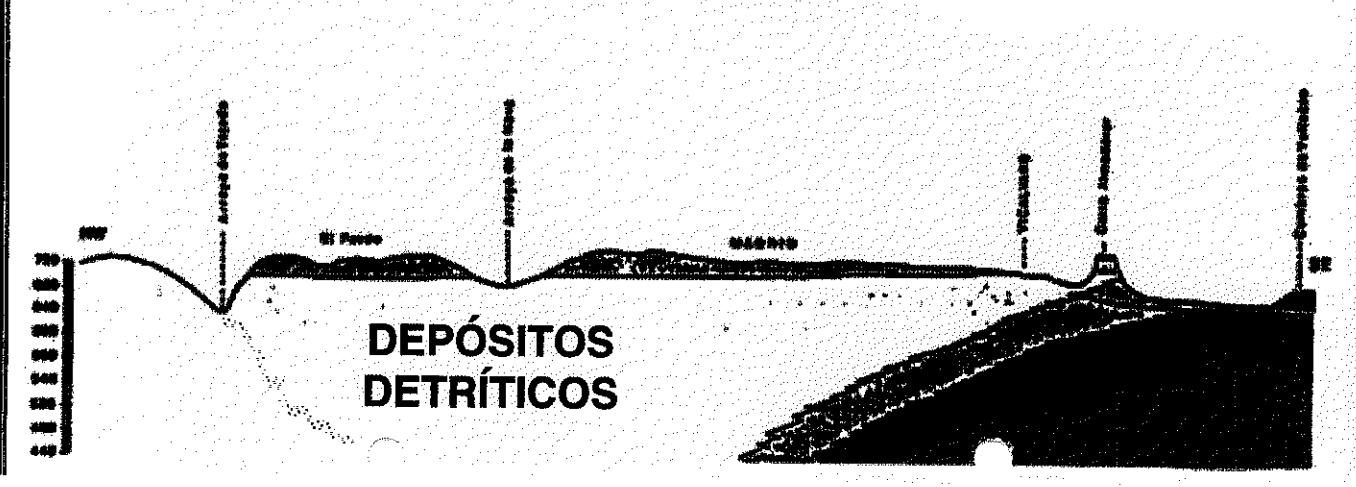
## Corte geológico esquemático

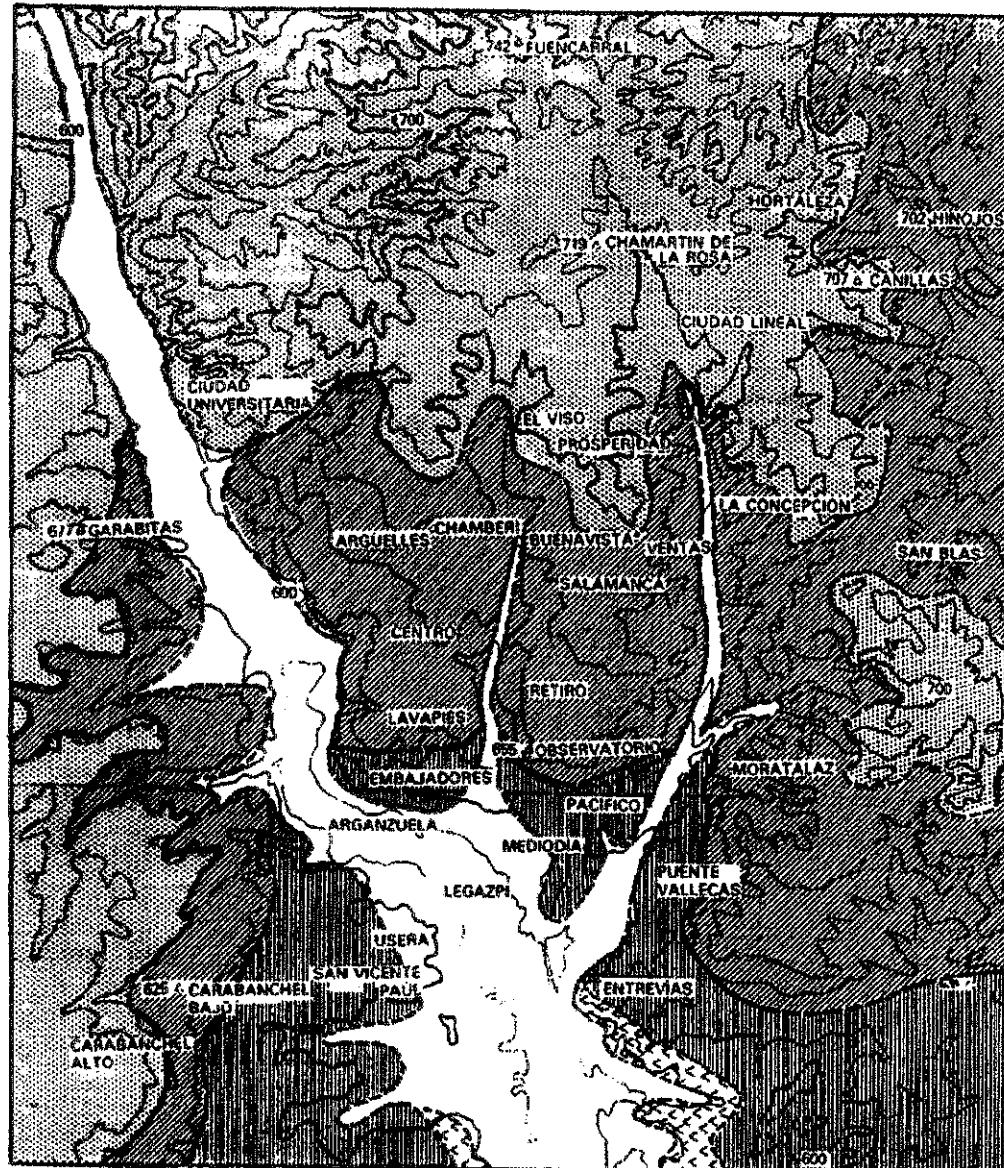






R. MANZANARES





CONTACTO ENTRE LUGARES

ÁREA DE SÍGMA

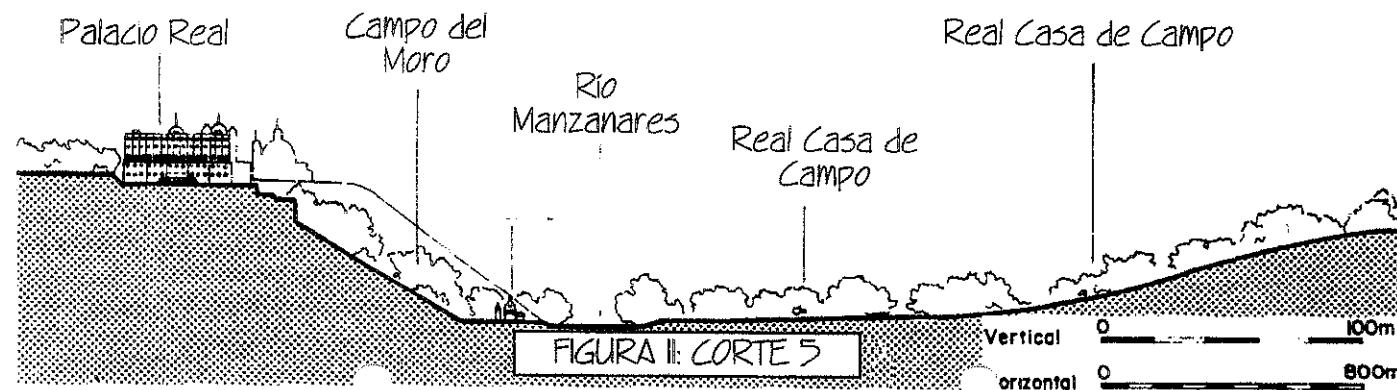
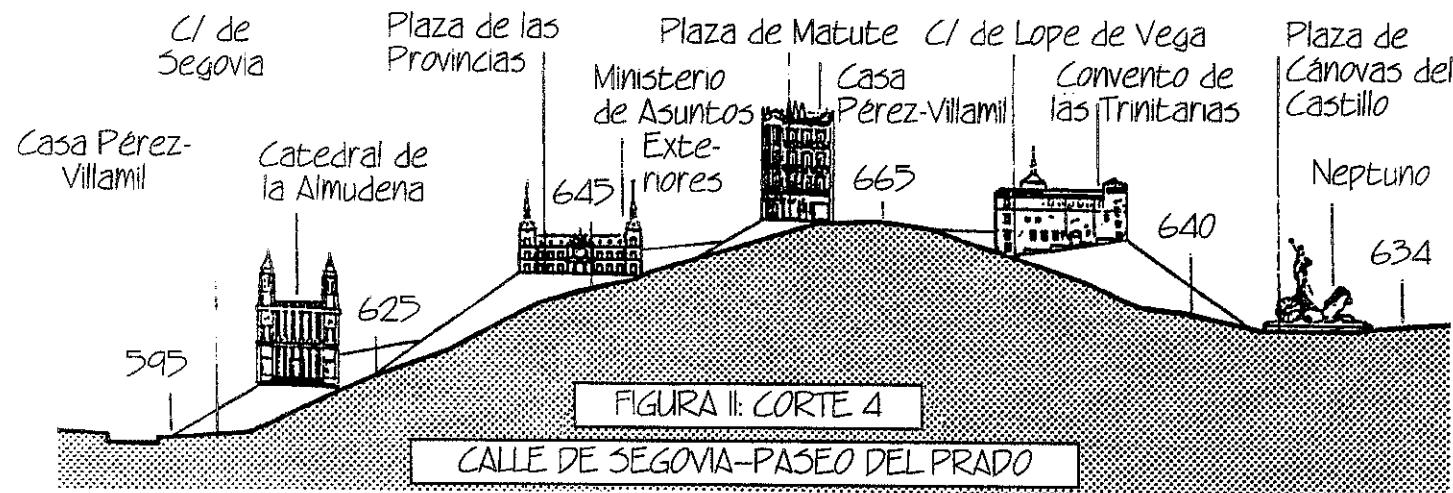
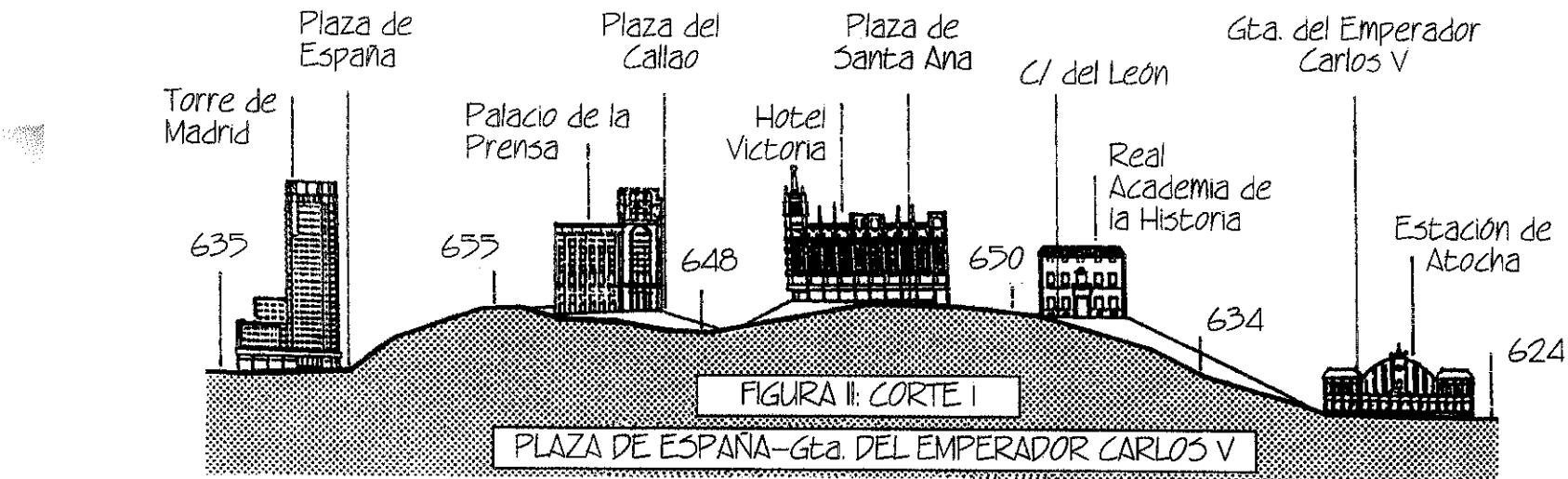
MATERIALES TOSONADOS

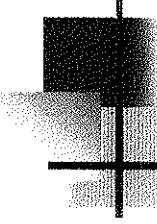
MARGAS FUSHERAS Y YESOS MAGNÍFICOS

FASES DE TRANSICIÓN

AREAS GRISAS Y MARGOS ARROLLOSAS  
ACACIAS VERDES  
CALZAS BLANCAS  
MUELTOS DE SILEX Y SIMILITUDS INTERCALADOS

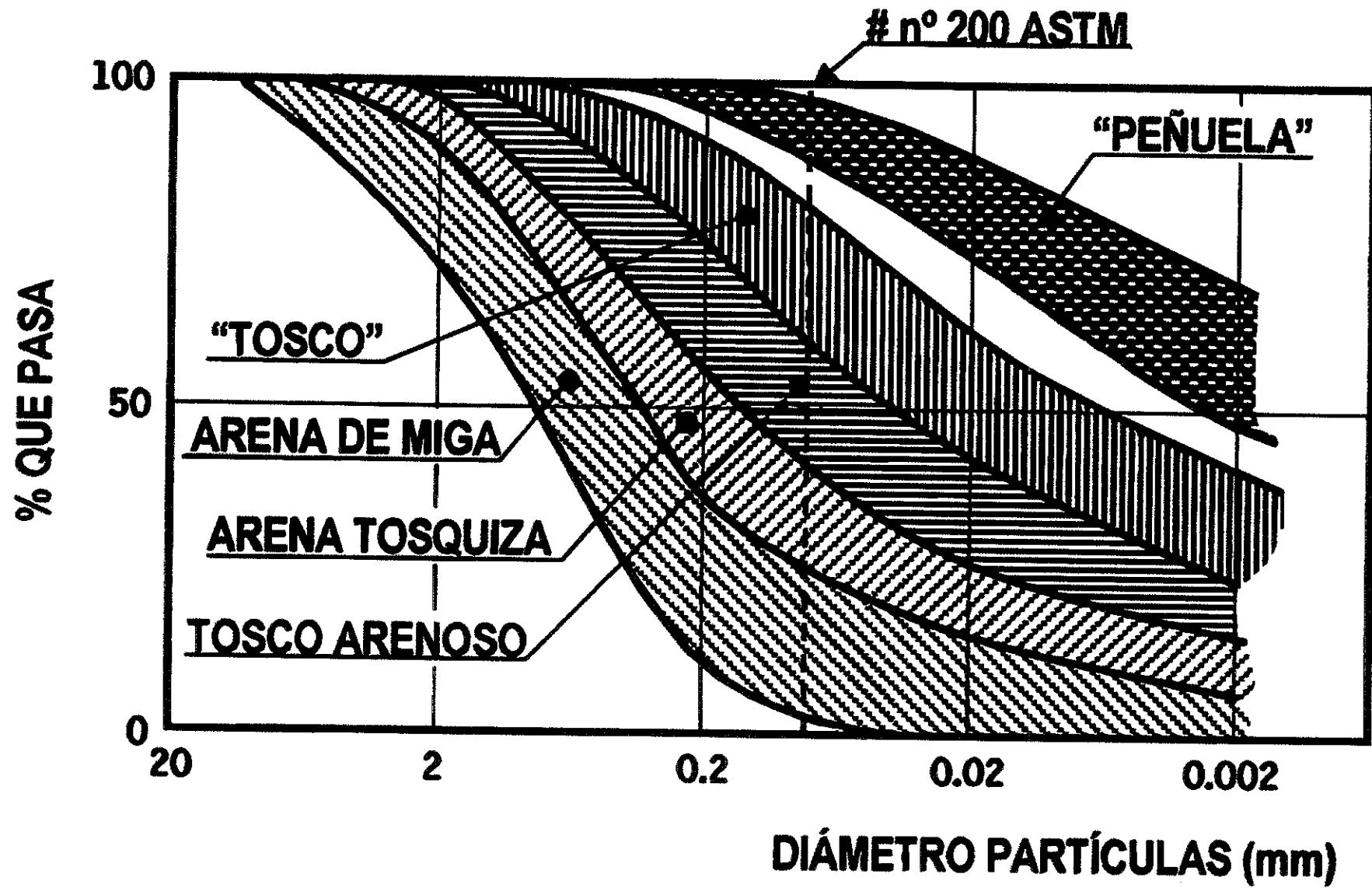
CUATERNARIO

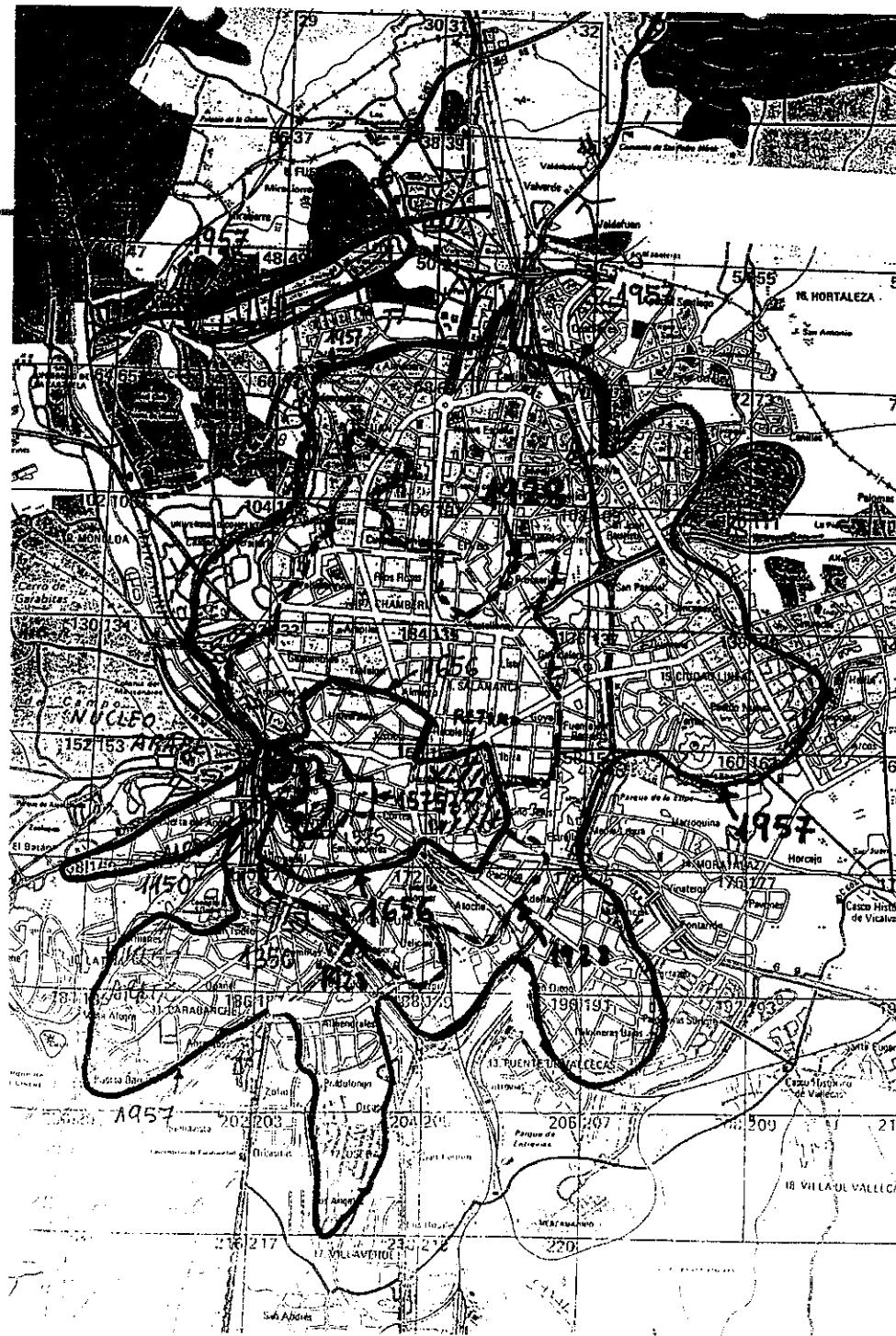




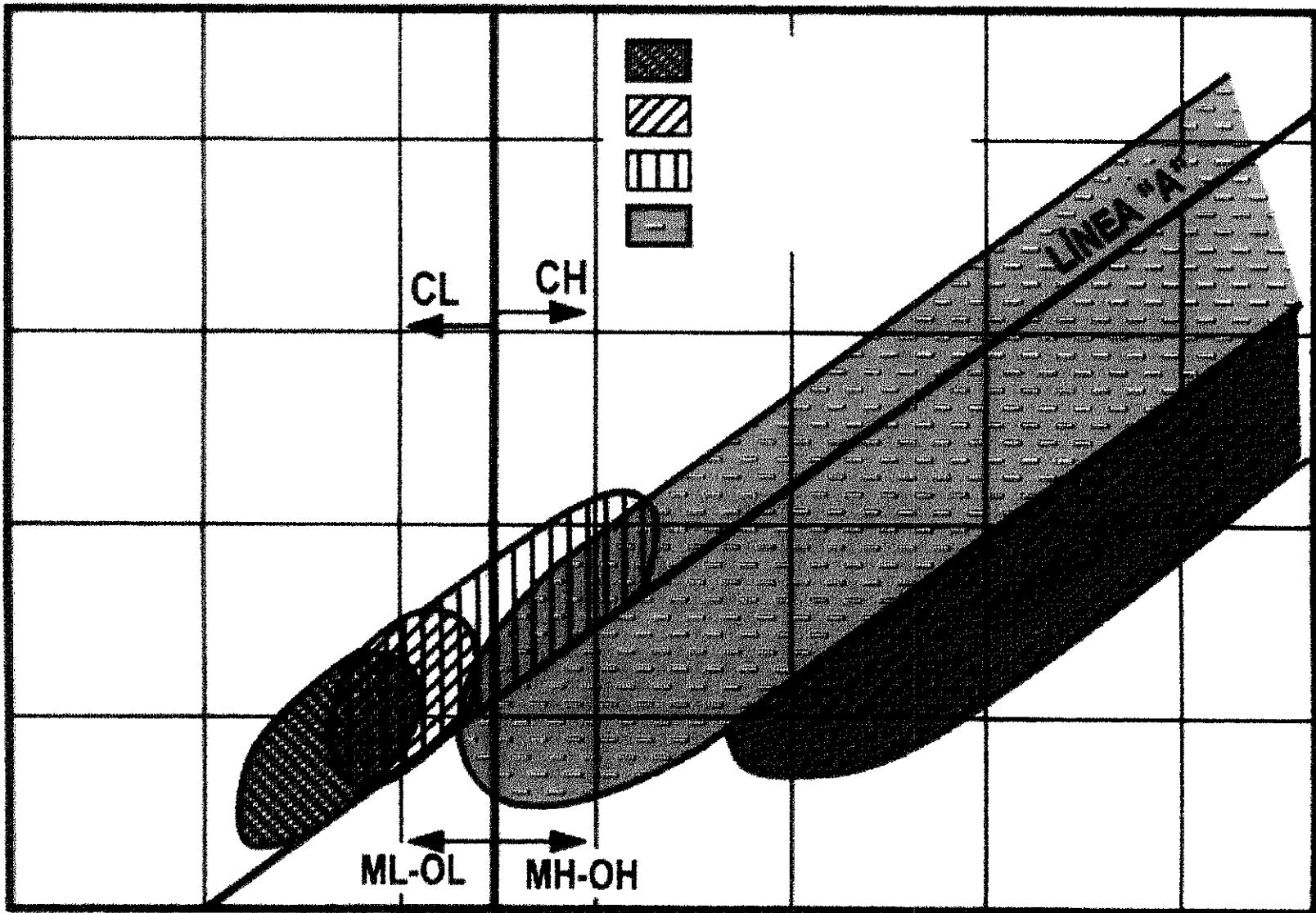
# SUELOS DE MADRID

	UNIDAD	$q_u$ (Kp/cm <sup>2</sup> )	C (T/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (º)	E(T/m <sup>2</sup> )
	RELEÑOS	0.2	0	28	800
	ARENAS DE MIGA Y TOSQUIZA	0.3-3	1-2	32-34	6000-12000
	TOSCO	6-12	3-4	28-30	15000-20000
	PEÑUELAS	8-20	3-5	28-29	15000-30000
	YESOS	>40	8-10	28	25000-50000

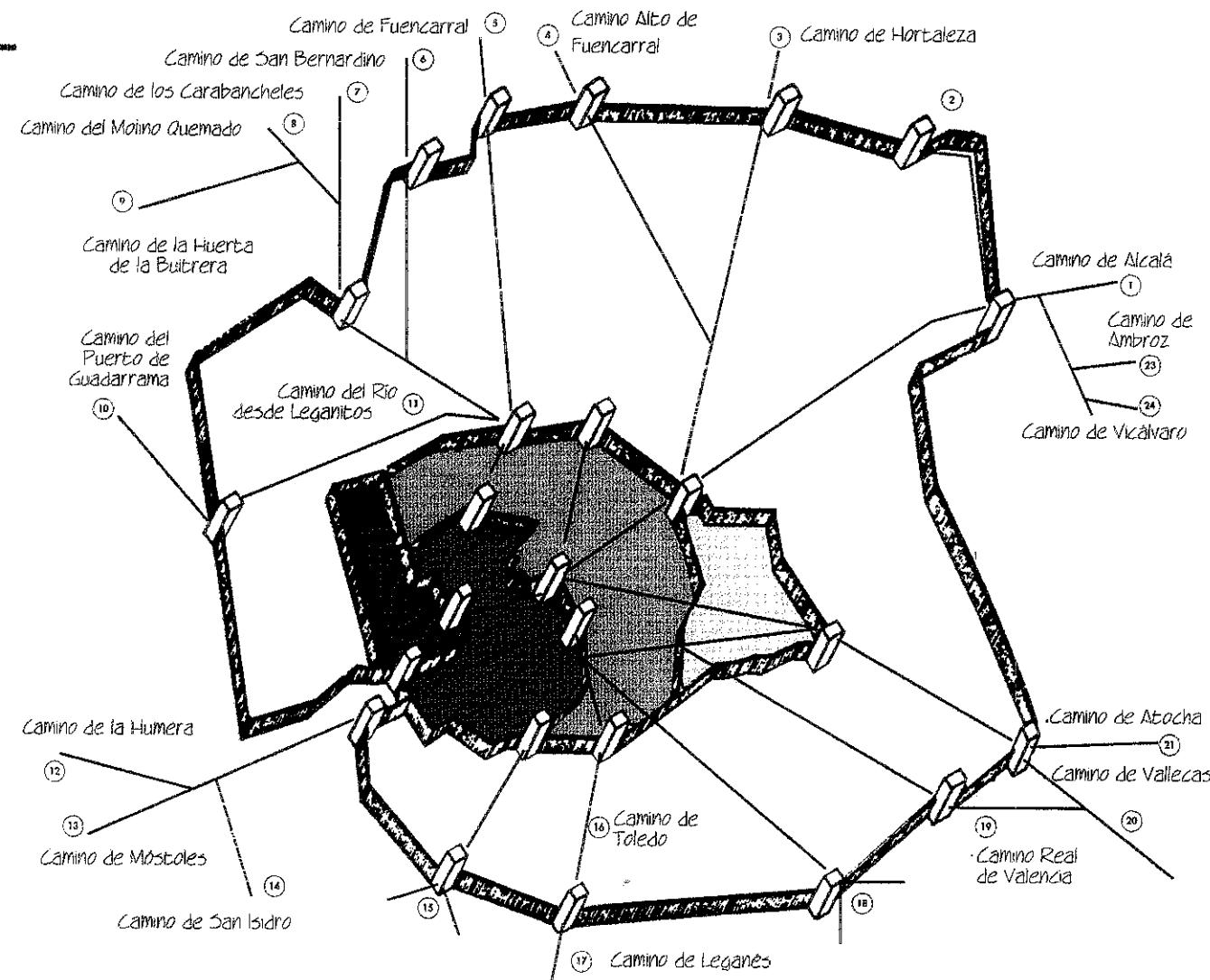


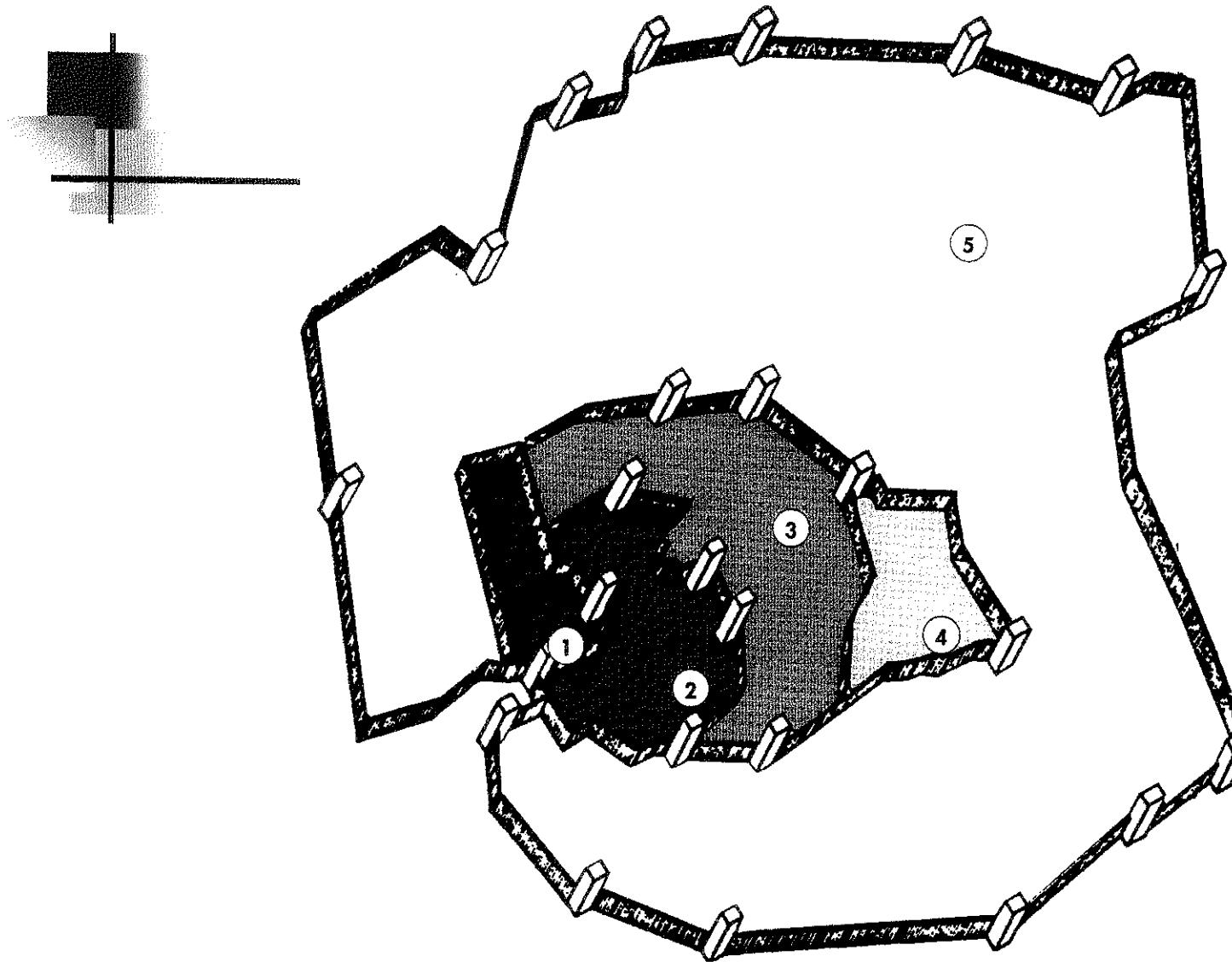


ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)



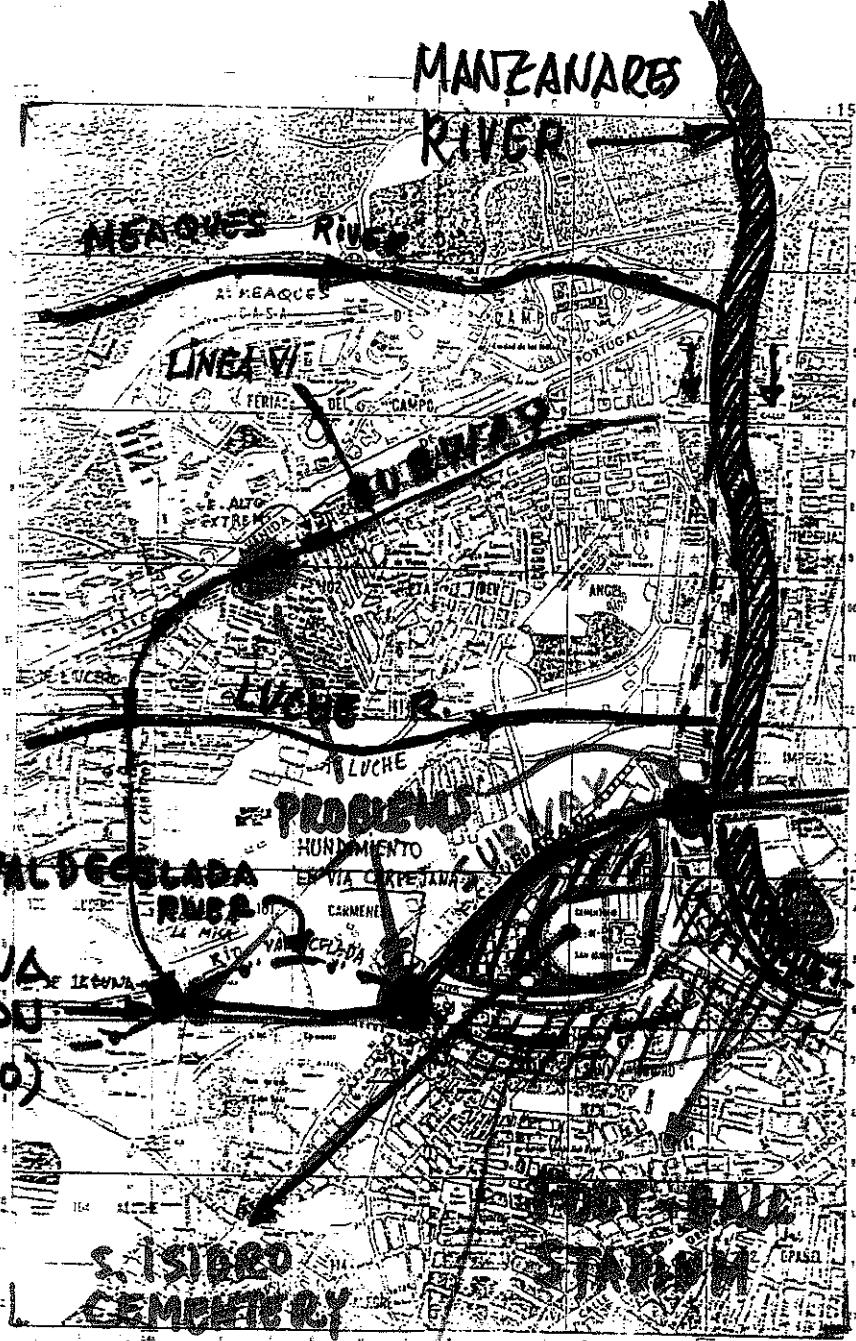
LÍMITE LÍQUIDO (%)



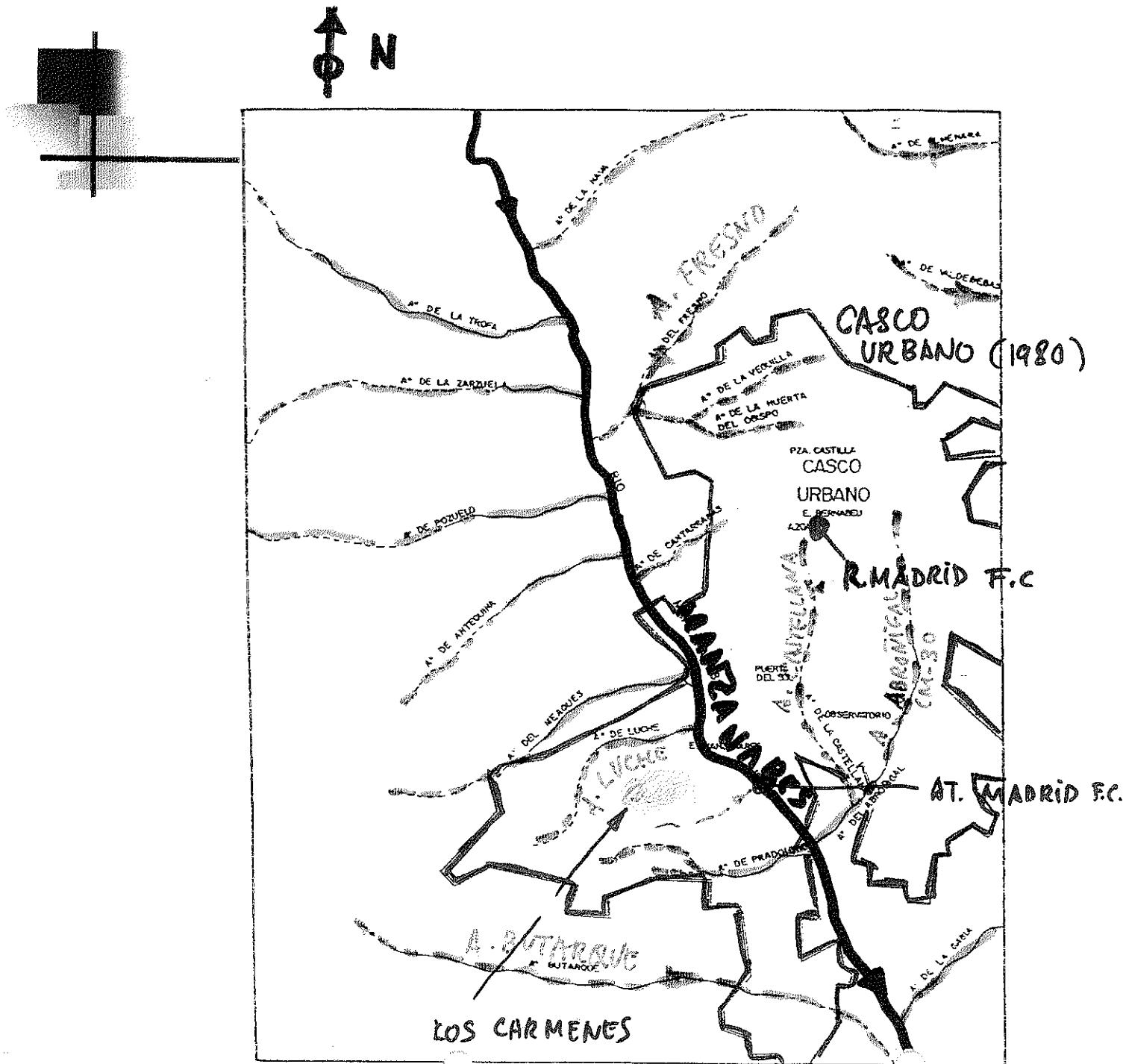


1 Primera cerca de Mantua  
2 Muralla de Alfonso VI (1083)  
3 Cerca de Felipe II (1567)

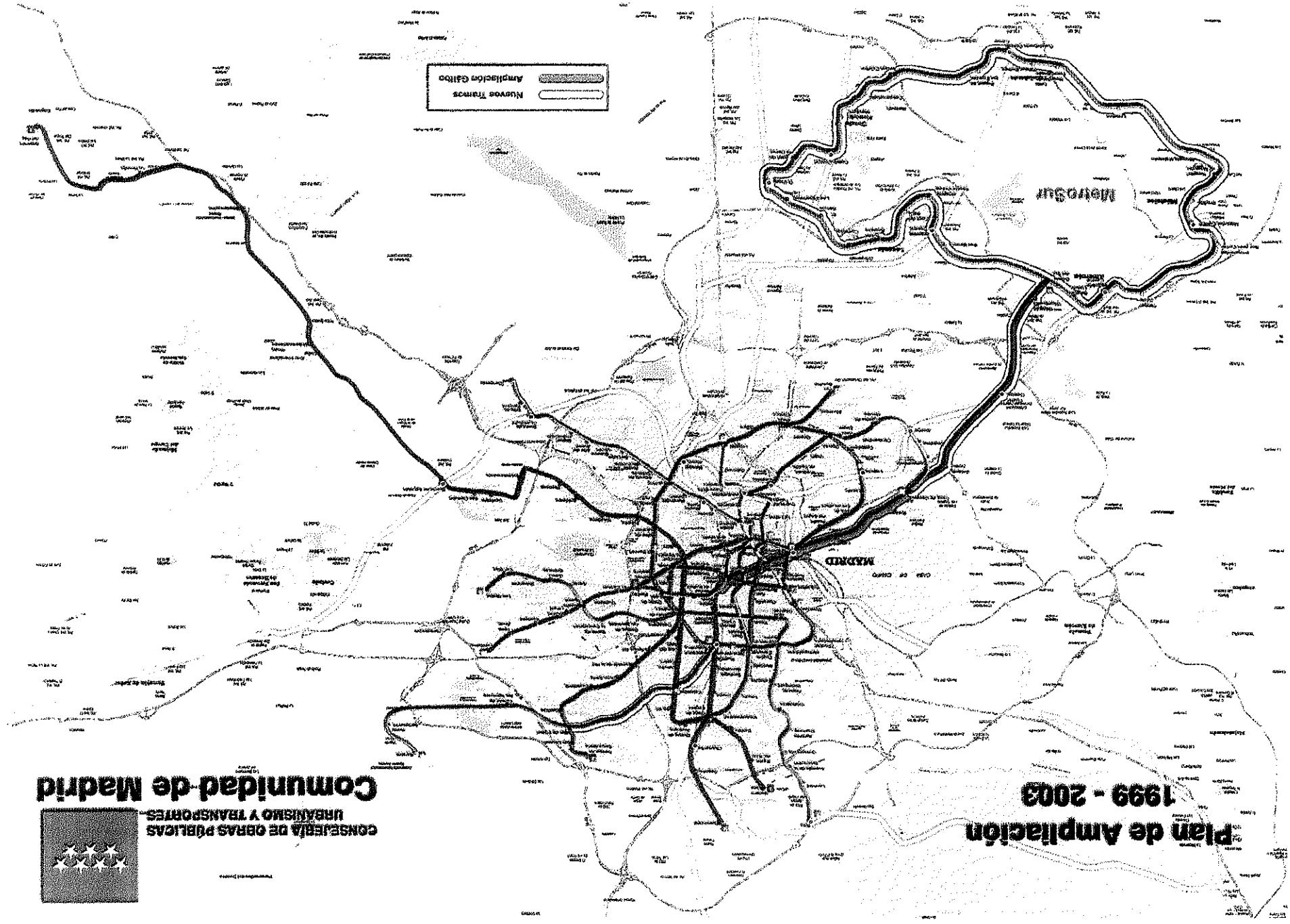
4 Extensión  
5 Cerca de Felipe IV (1625)  
Regulación de su trazado (1783)



S. ISIDRO  
GARDEN

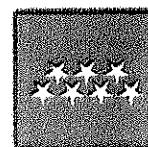






Comunidad de Madrid

INVESTIGACIONES Y TRANSPORTES



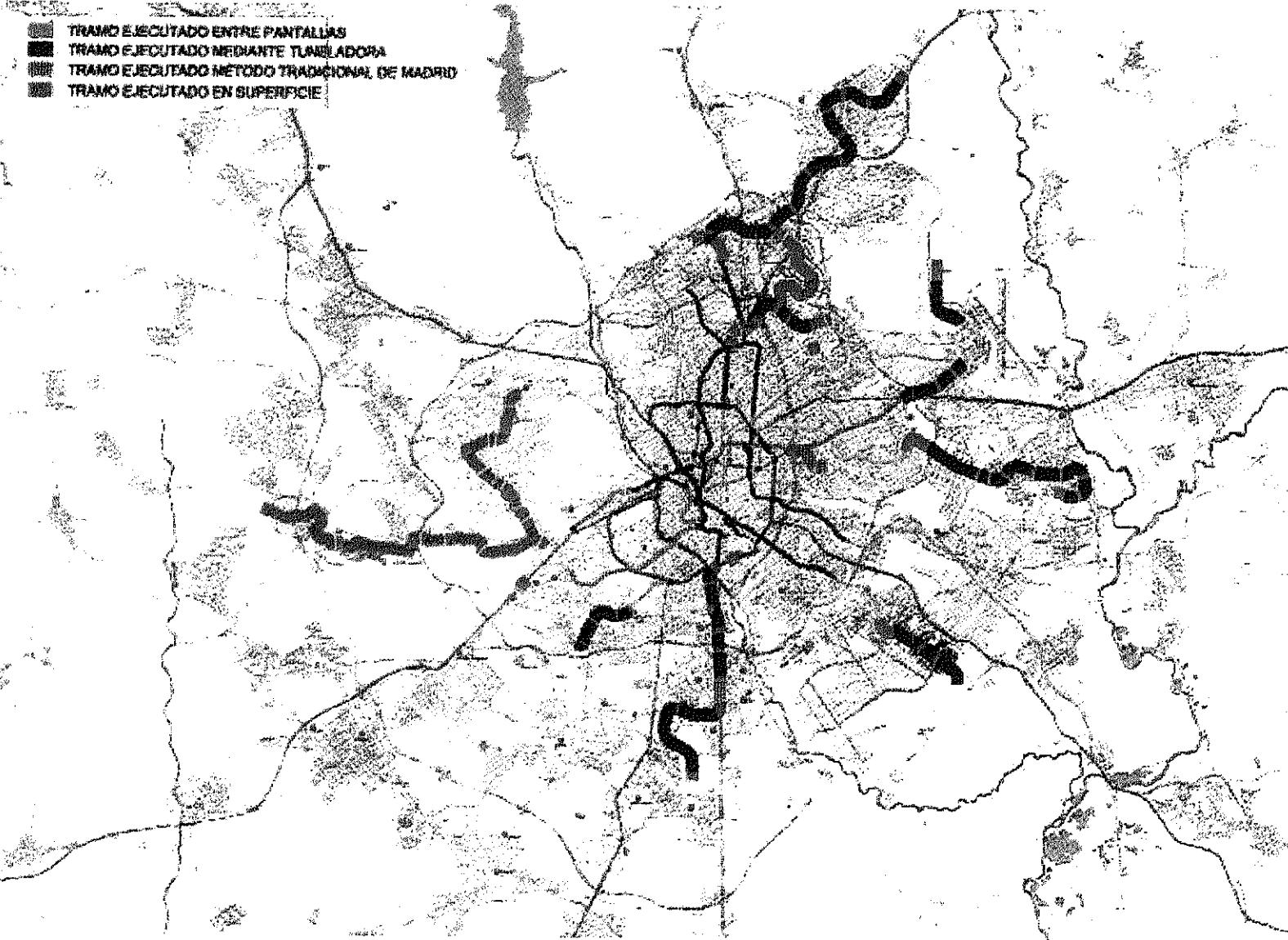
CONSELLERÍA DE OBRAS PÚBLICAS

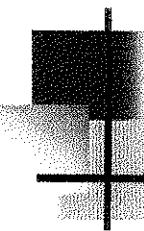
1999 - 2003

Plan de Ampliación

MAPA DE LA RED DE TRENES EN ESPAÑA

- TRAMO EJECUTADO ENTRE PANTALLAS
- TRAMO EJECUTADO MEDIANTE TUNELADORA
- TRAMO EJECUTADO MÉTODO TRADICIONAL DE MADRID
- TRAMO EJECUTADO EN SUPERFICIE





250 Kilómetros

233

200

176

150

111 126

100

50

71

17

31

45

1919

1923

1931

1935

1939

1943

1947

1951

1955

1959

1963

1967

1971

1975

1979

1983

1987

1991

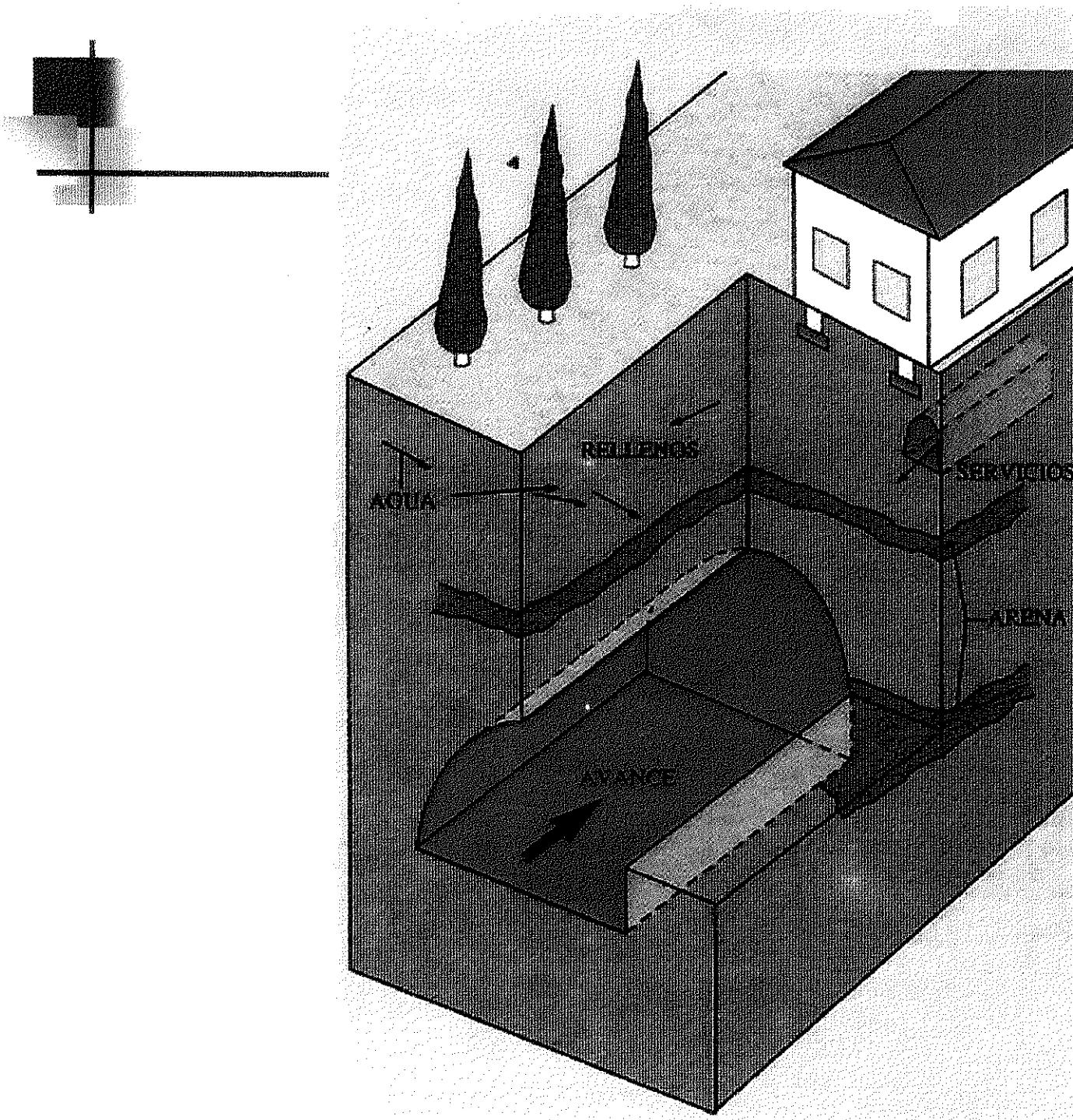
1995

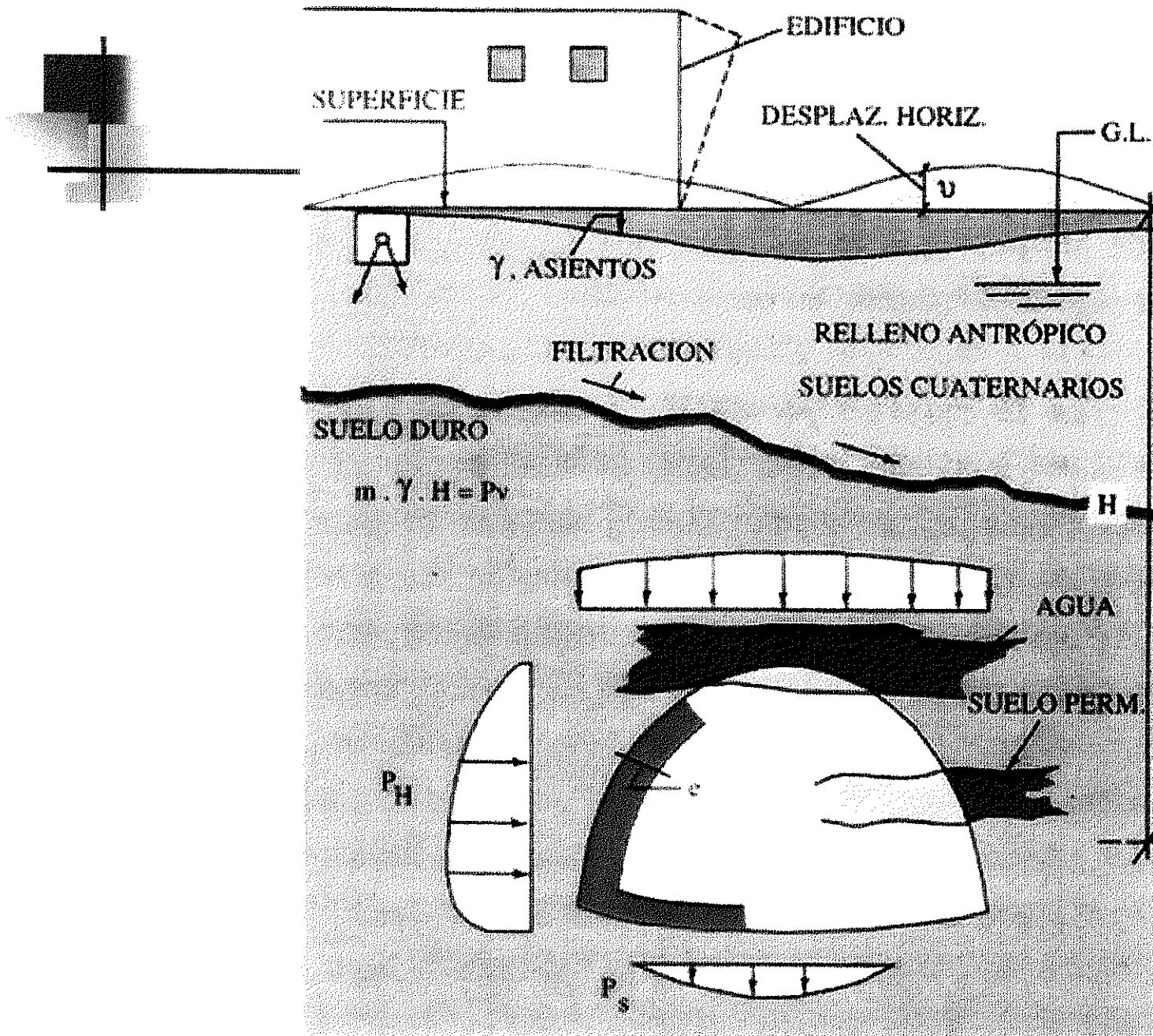
1999

1995 - 1999

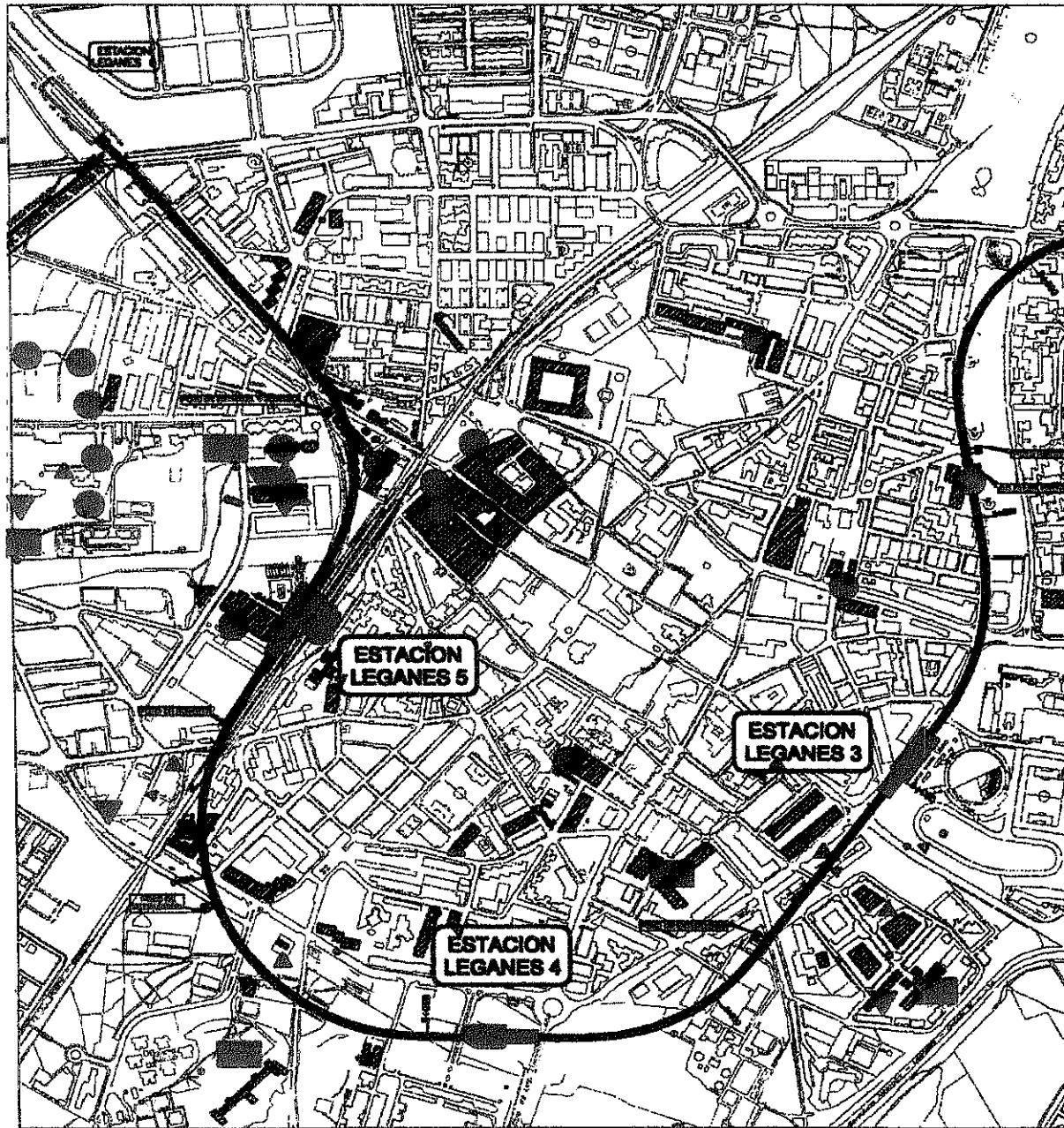
1999 - 2003

2003

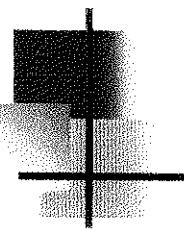
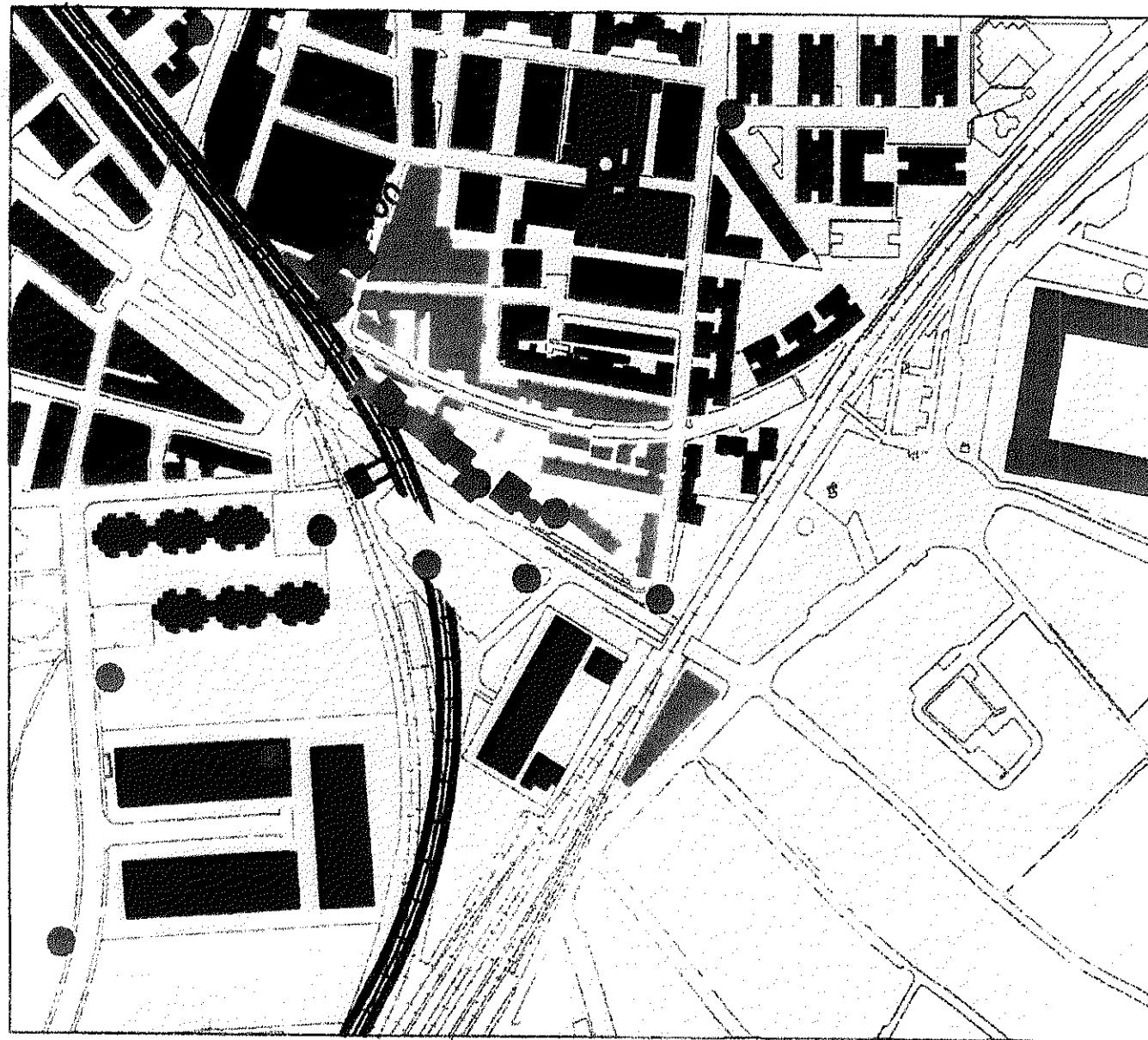




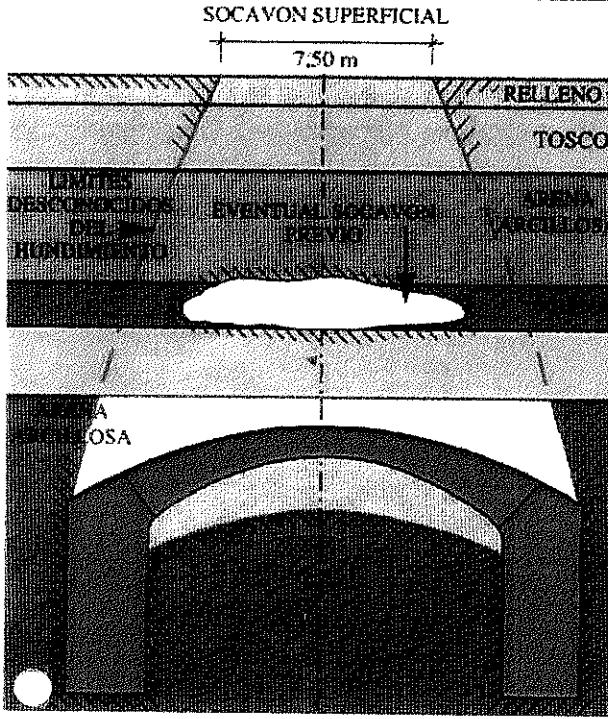
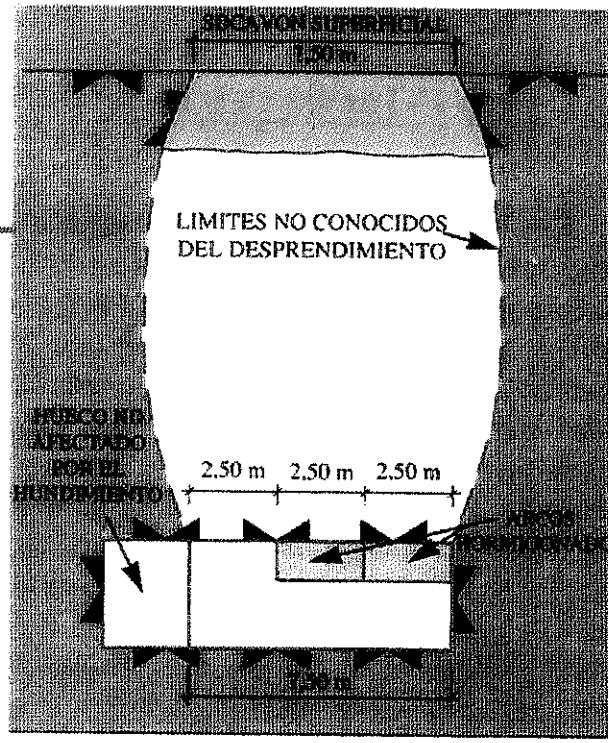
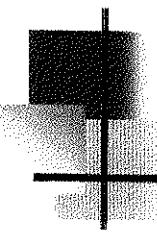
$$e = f(P_v, P_H, \gamma, v, \text{MÉTODO CONSTR})$$

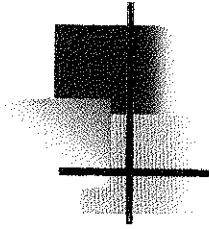


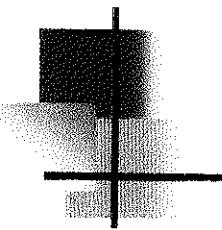
**EDIFICIOS SOBRE ZONAS DE POZOS, LEGANÉS**

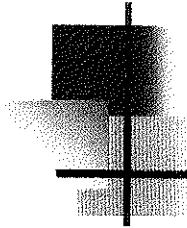


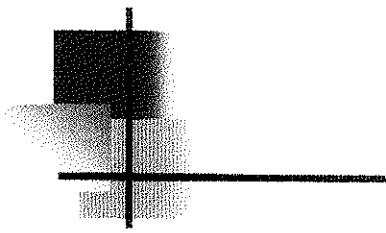


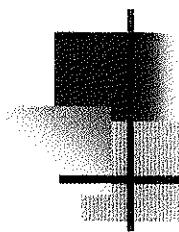
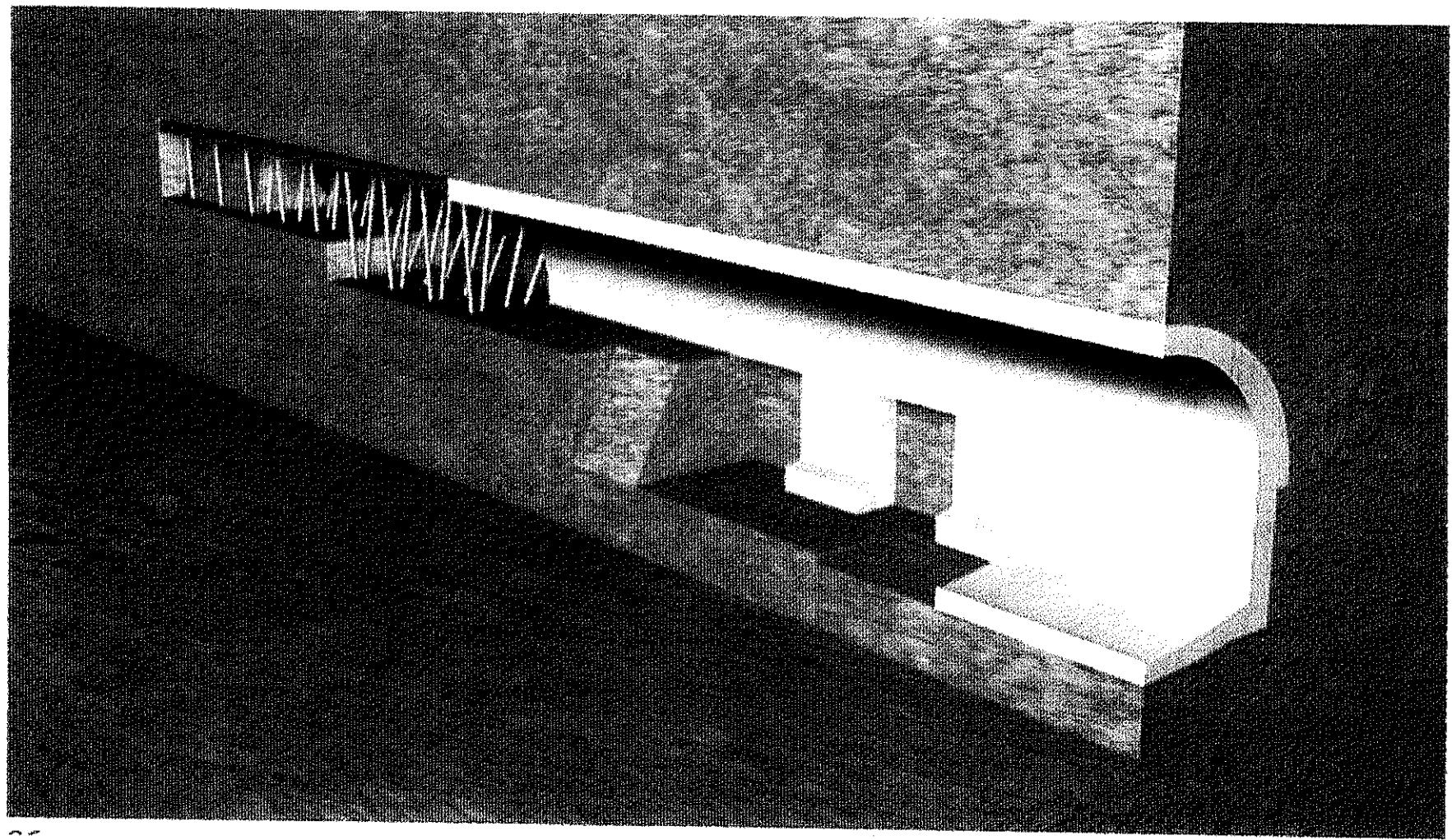




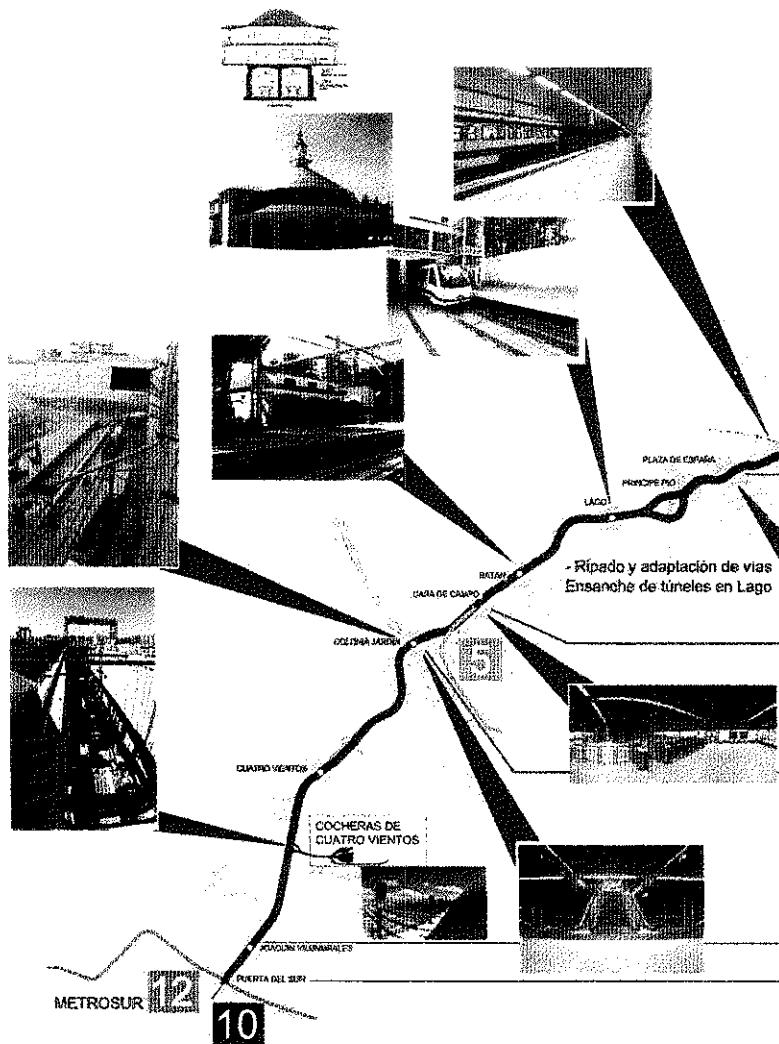




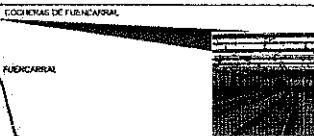




# ADECUACIÓN Y PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 10 DEL METRO DE MADRID



10



COCHERAS DE FUENCARRAL  
Trabajos de adecuación de Línea 10 para los nuevos trenes 7000:

- Transformación de las cocheras de Fuencarral
- Cambio de tensión de 600 a 1500 Vcc
- Creación de nuevas Subestaciones
- Cambio de los Sistemas de Señalización
- Adaptación de andenes para trenes 7000
- Conexión para correspondencia de Material Móvil en Nuevos Ministerios.



ALONSO MARTÍNEZ - Prolongación de las estaciones subterráneas de Alonso Martínez, Tribunal y Plaza de España

- Prolongación de las estaciones en superficie de Lago y Batán, ensanche de andenes y supresión de los andenes centrales, adaptación para personas de movilidad reducida



CASA DE CAMPO - Construcción del nuevo Intercambiador de Casa de Campo y la estación de Colonia Jardín.  
- Construcción del túnel de línea por el método Tradicional y entre Pantallas

COQUERA DE CUATRO VIENTOS - Construcción de las nuevas estaciones de Cuatro Vientos y Joaquín Vilumbrales y Puerta del Sur

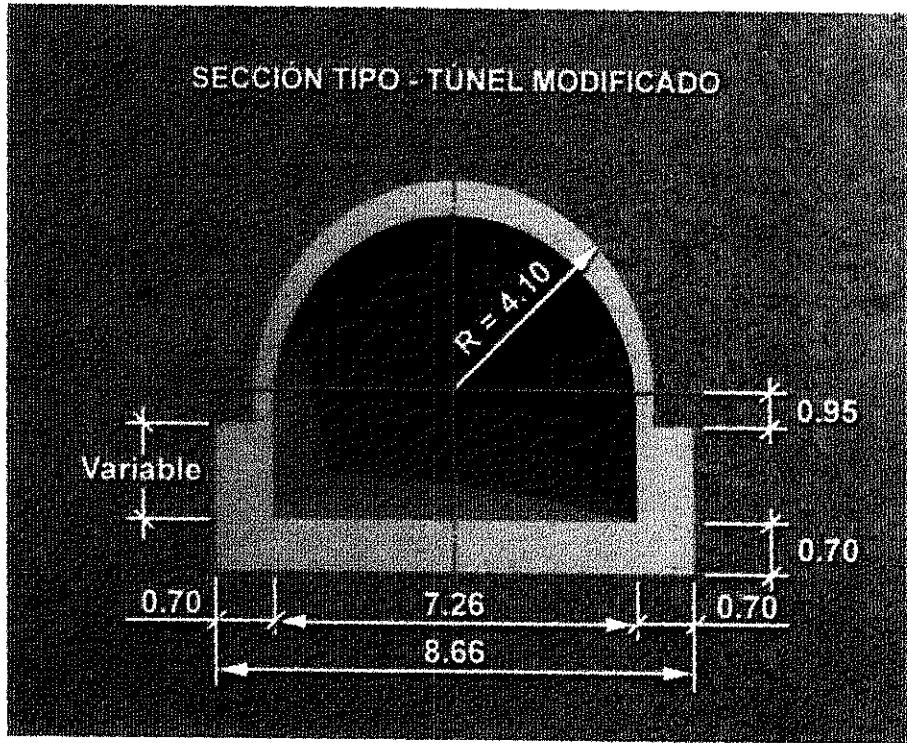
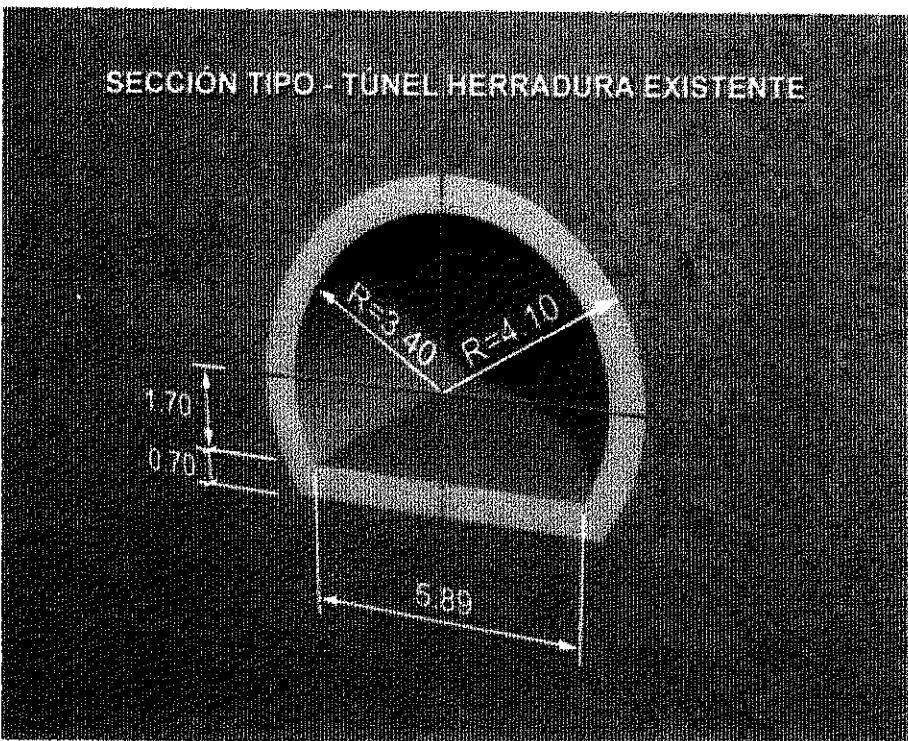
- Construcción del túnel de línea por medio de dos Tuneladoras

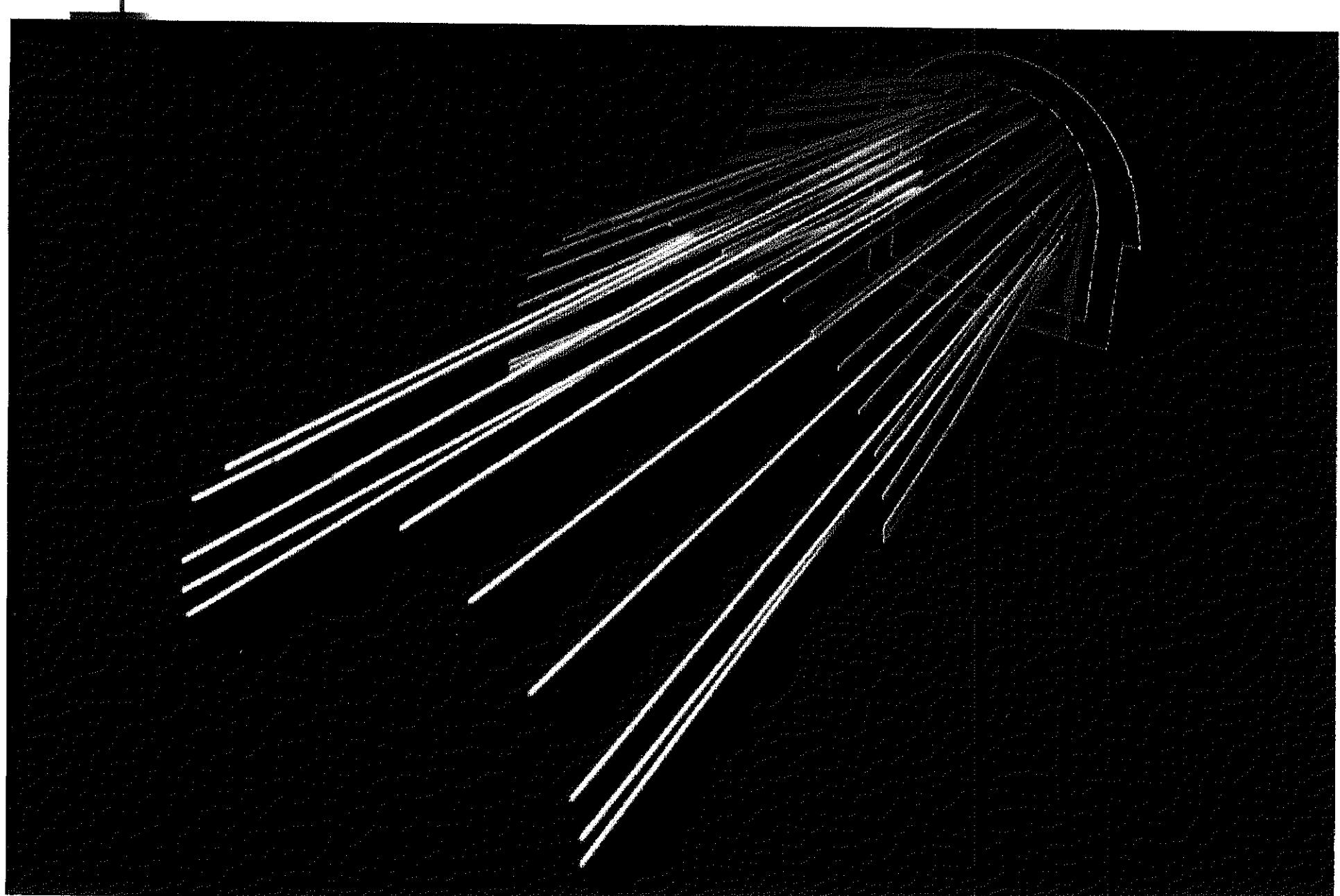
- Construcción de las Cocheras de Cuatro Vientos

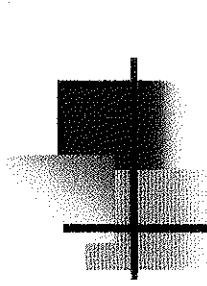
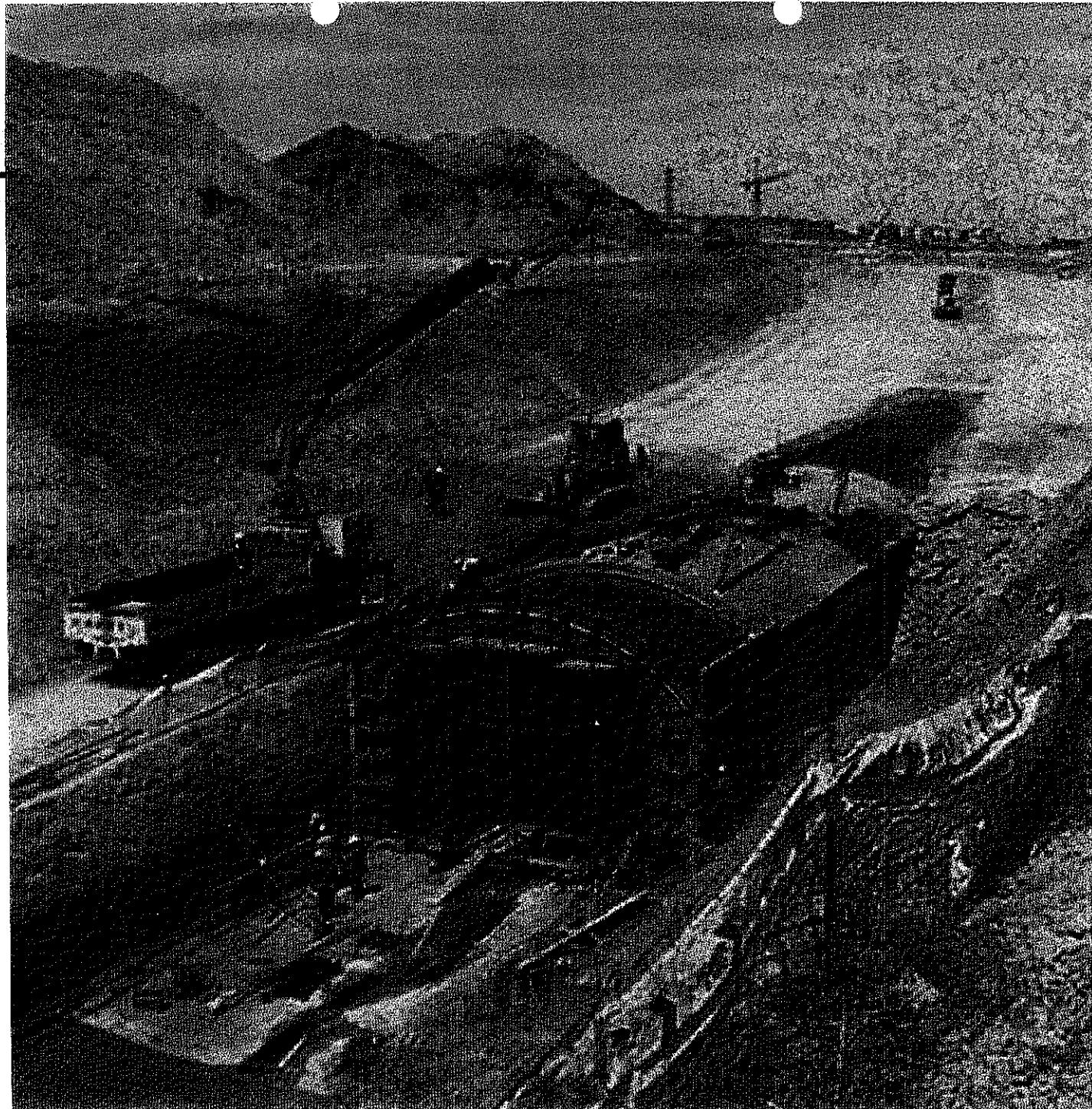
- Construcción de la nueva estación de Puerta del Sur  
- Construcción del túnel de línea entre pantallas

METROSUR 12

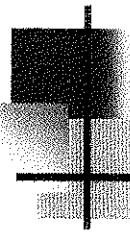
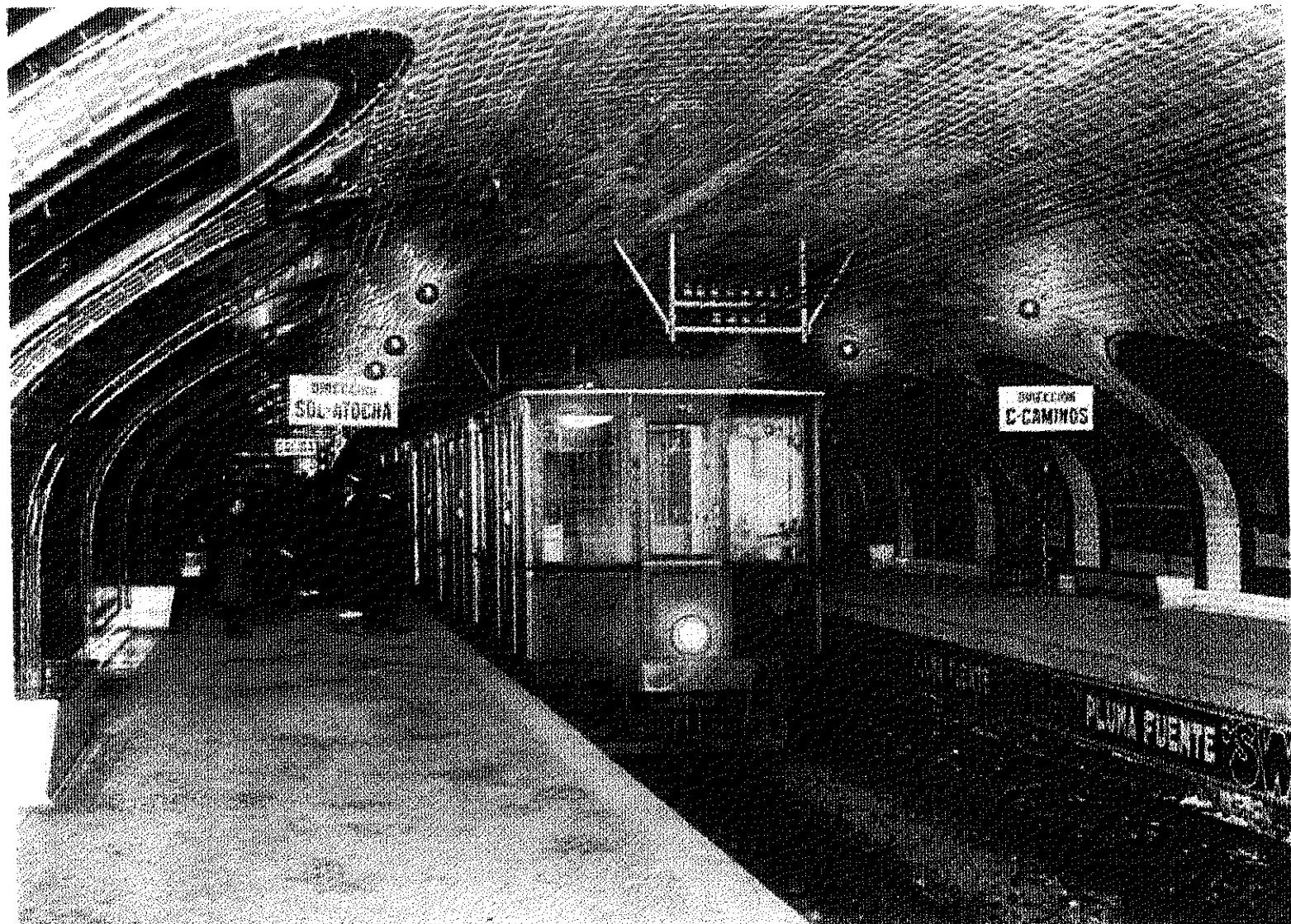
10





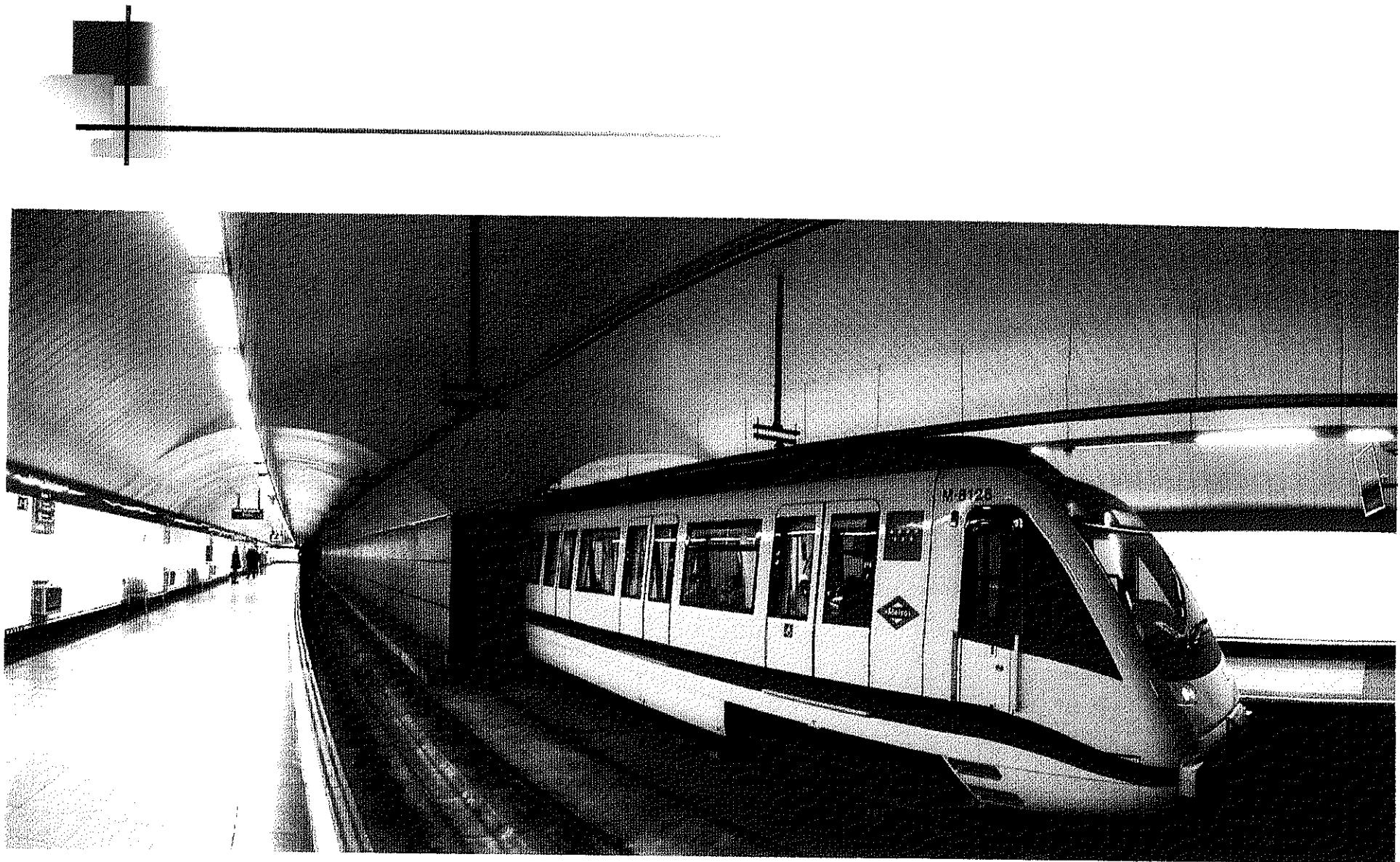




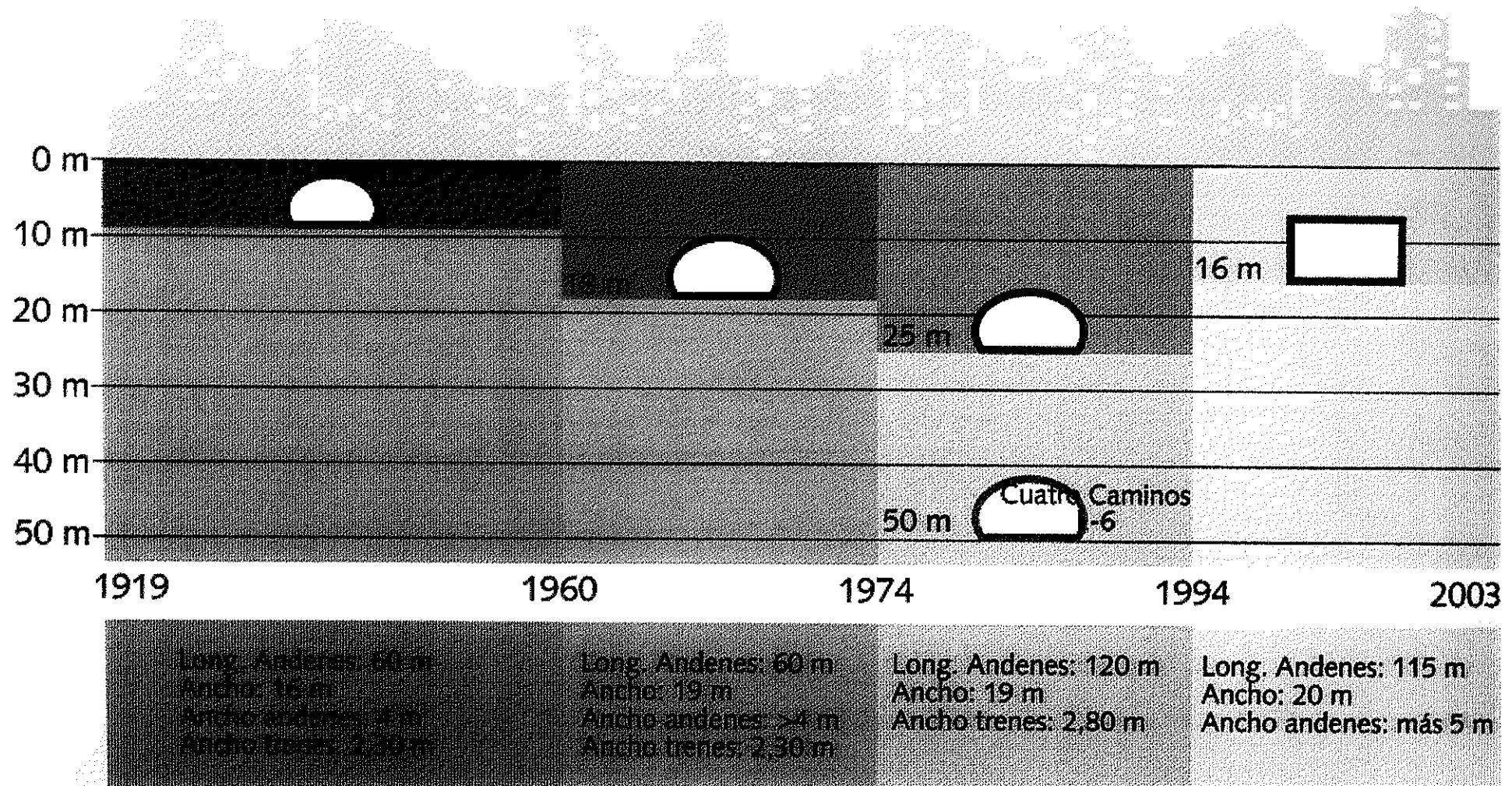






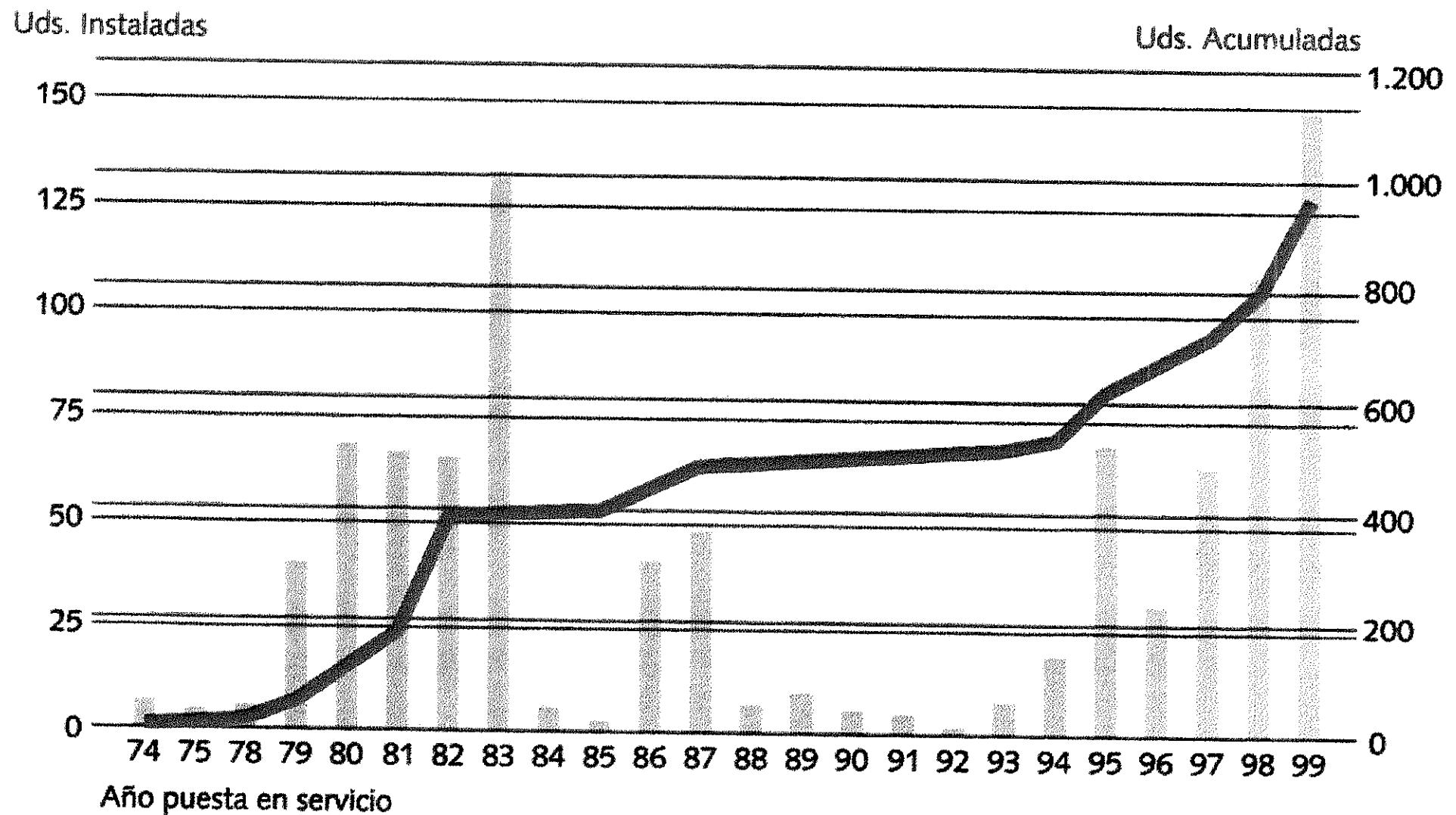


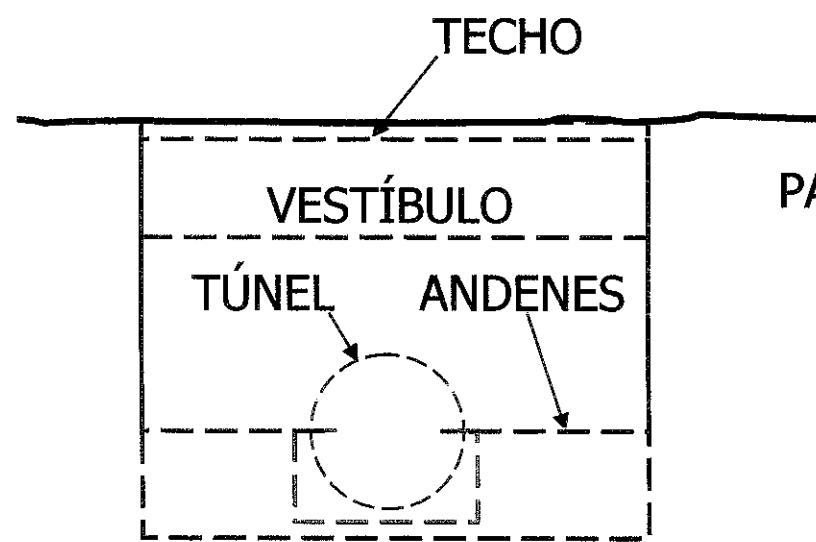
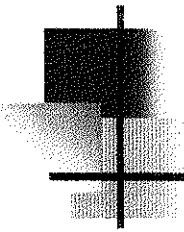
## Evolución de la profundidad de las estaciones (1919-2003)



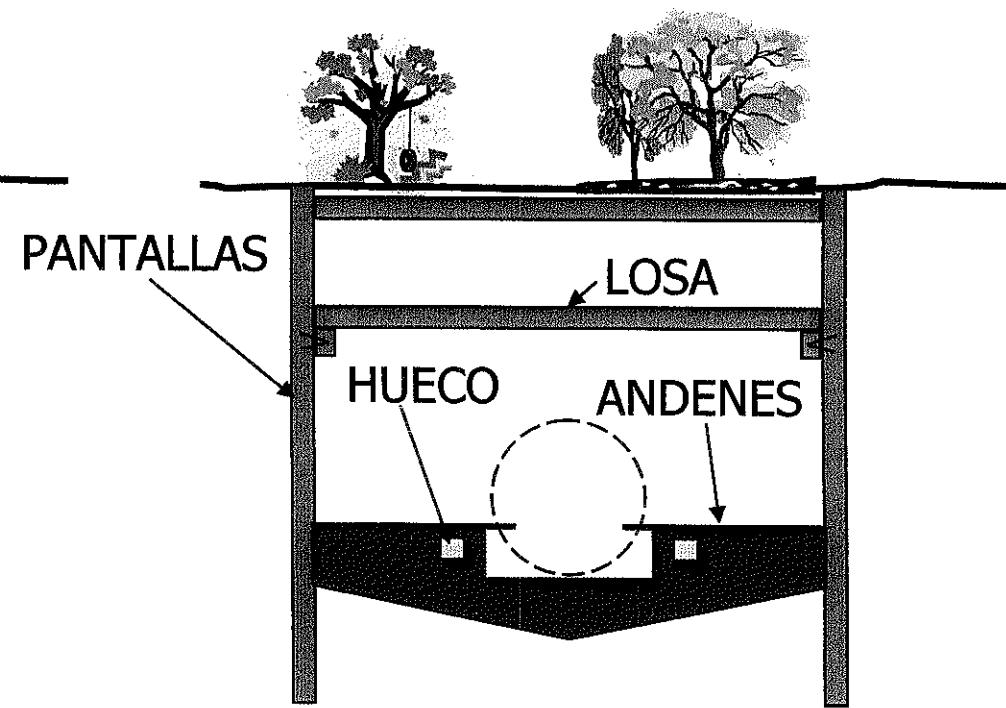
## Incremento de escaleras instaladas (histórico)

Actualizado al 31-12-99

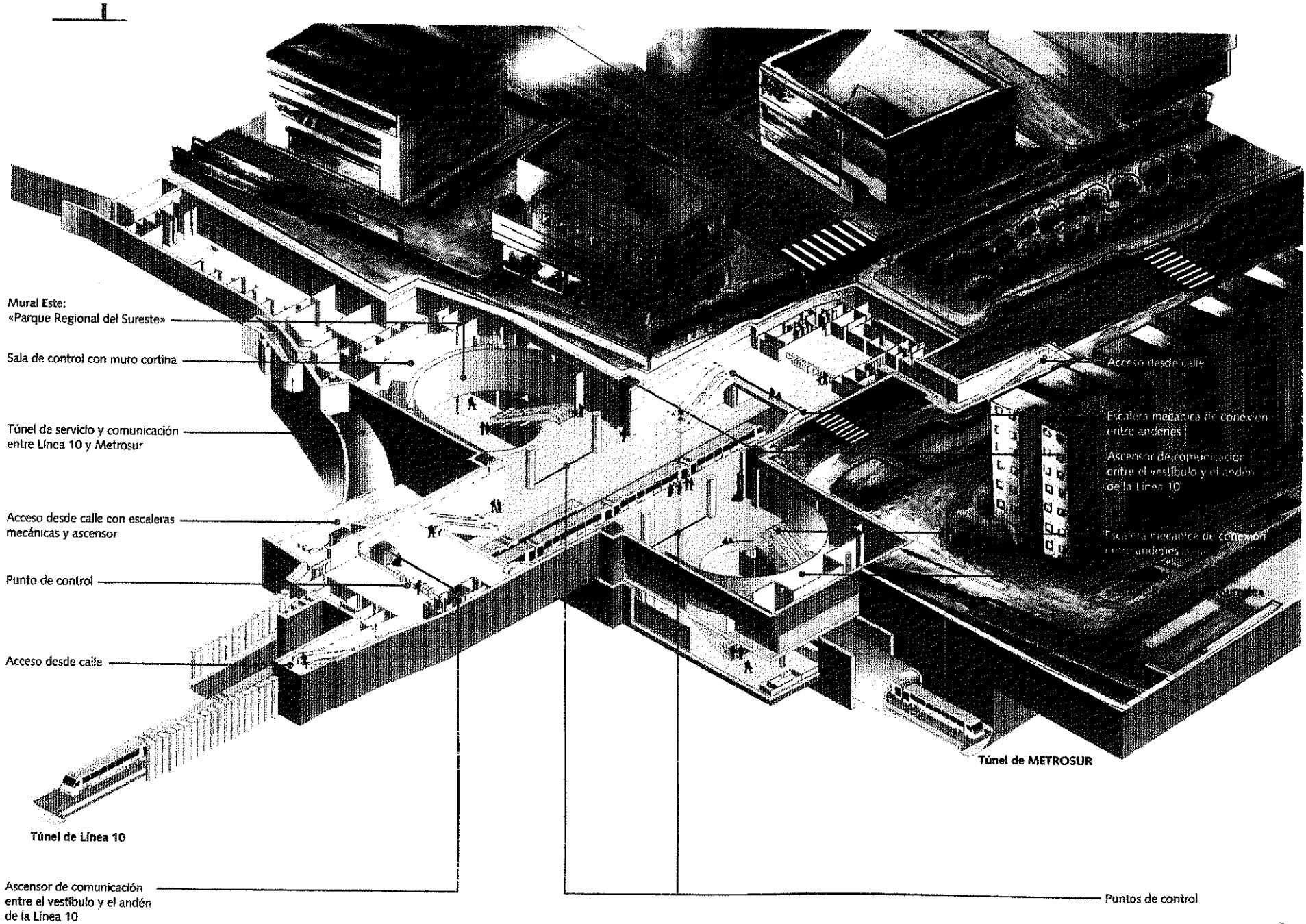




ESQUEMA ESTACIÓN

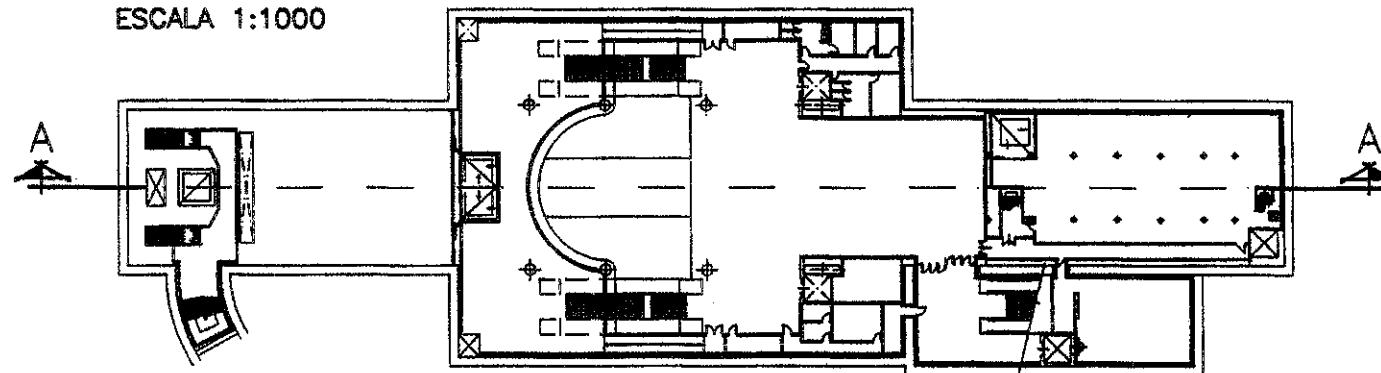


ESTRUCTURA ESTACIÓN



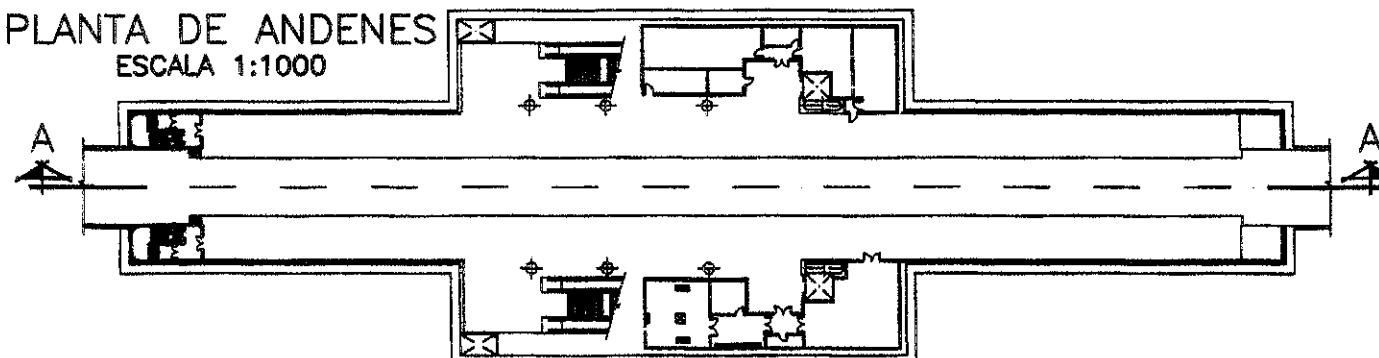
**PLANTA DE VESTIBULO**

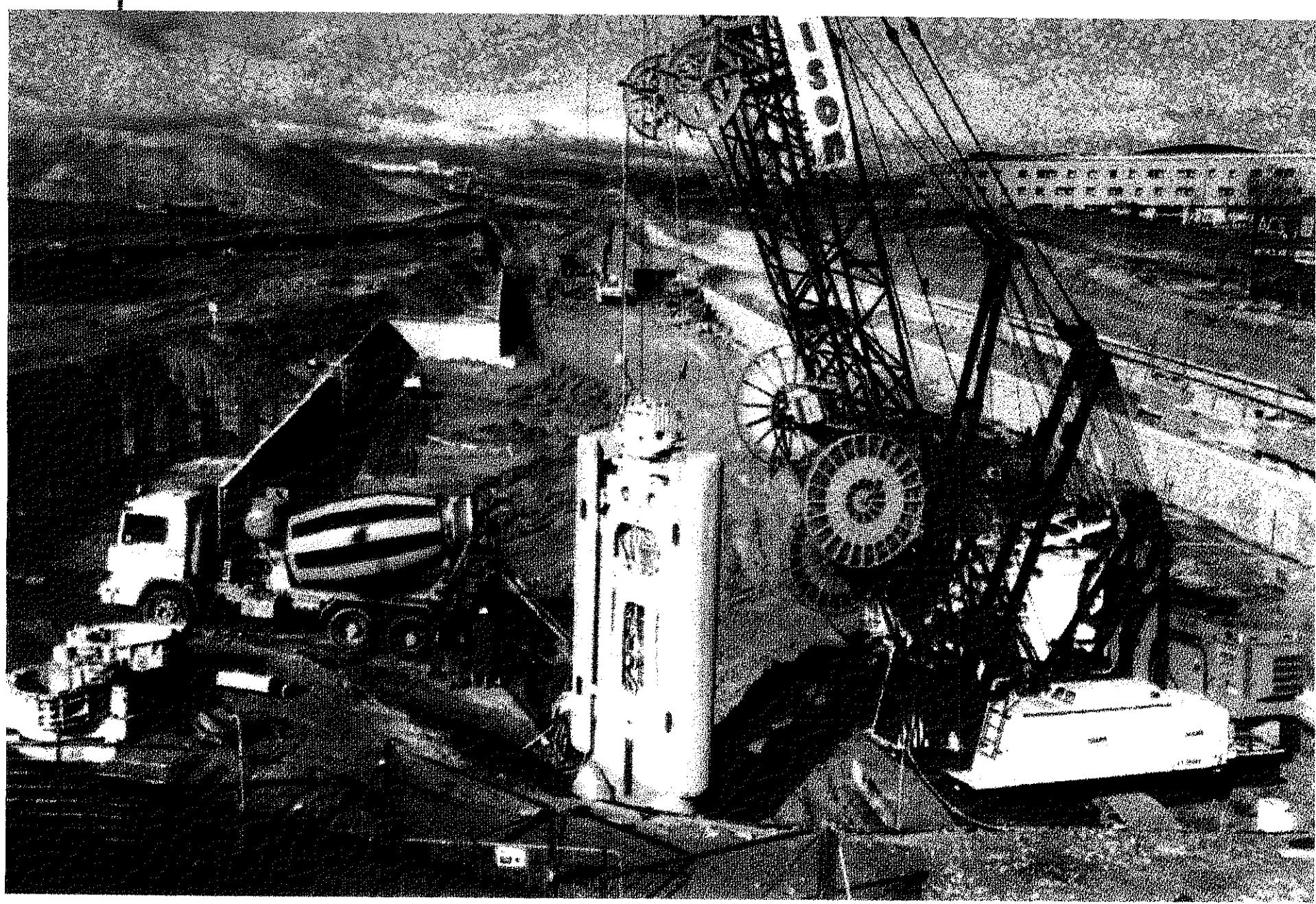
ESCALA 1:1000

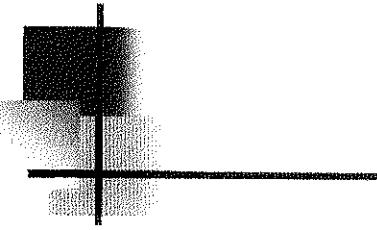
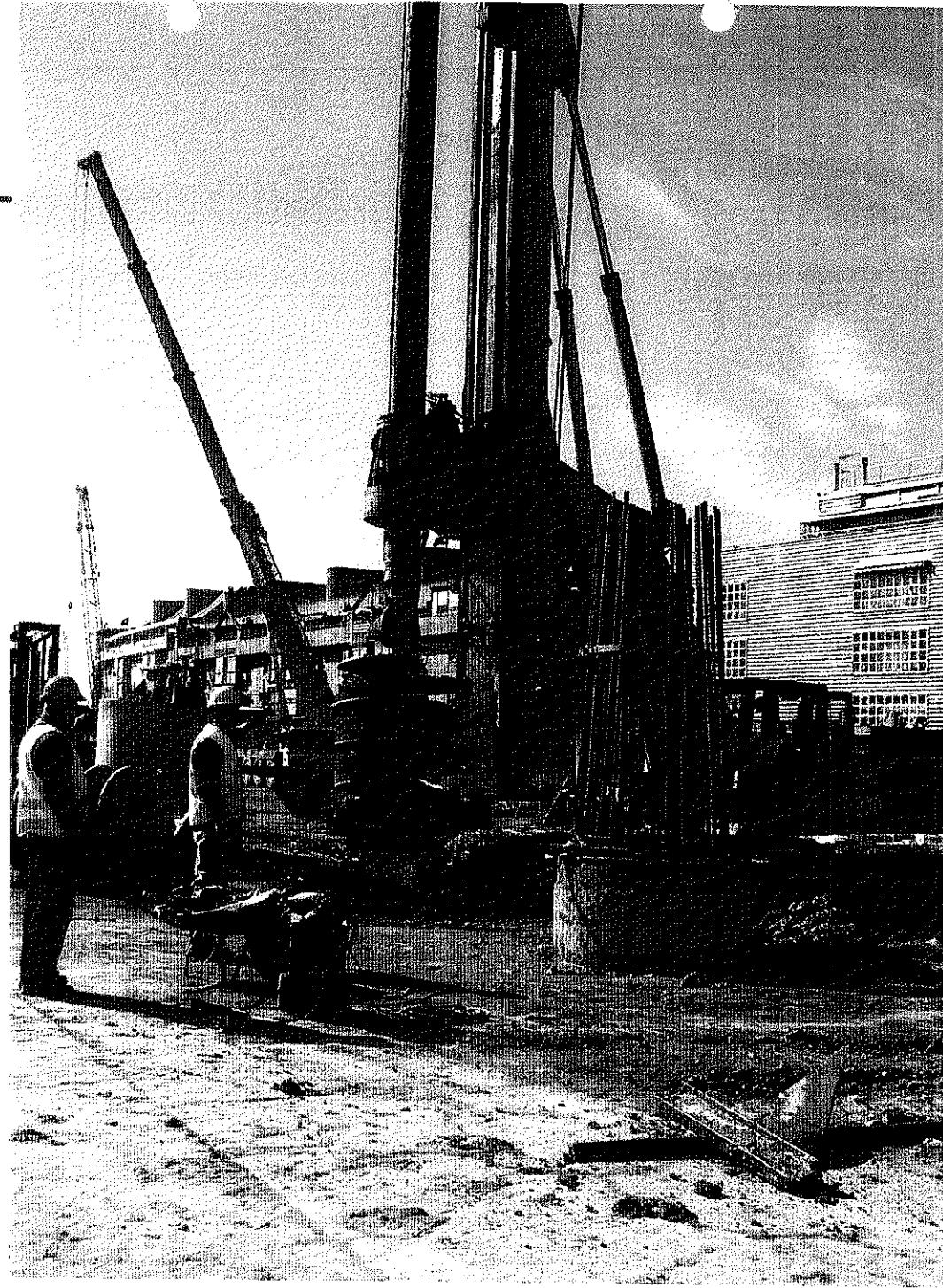


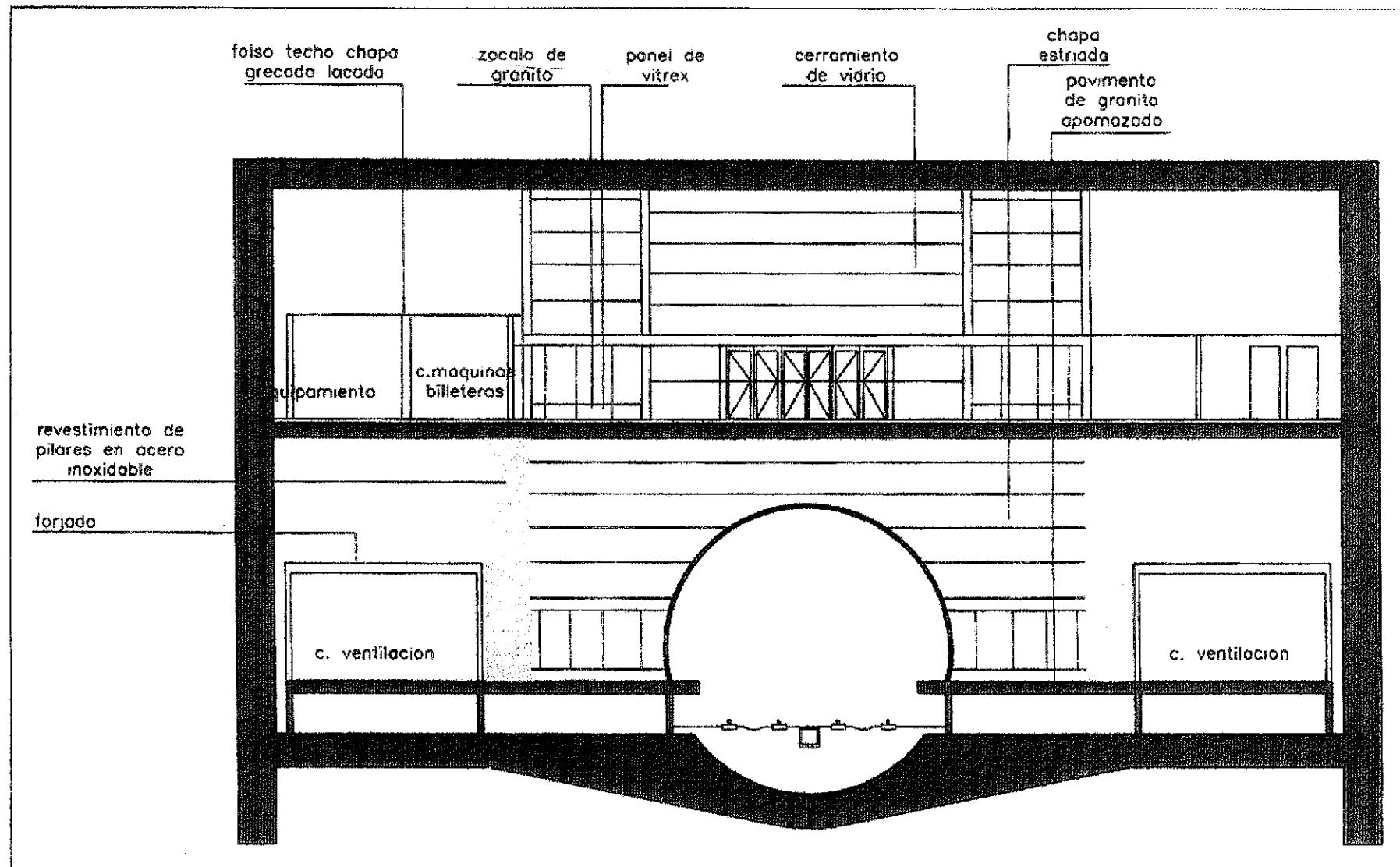
**PLANTA DE ANDENES**

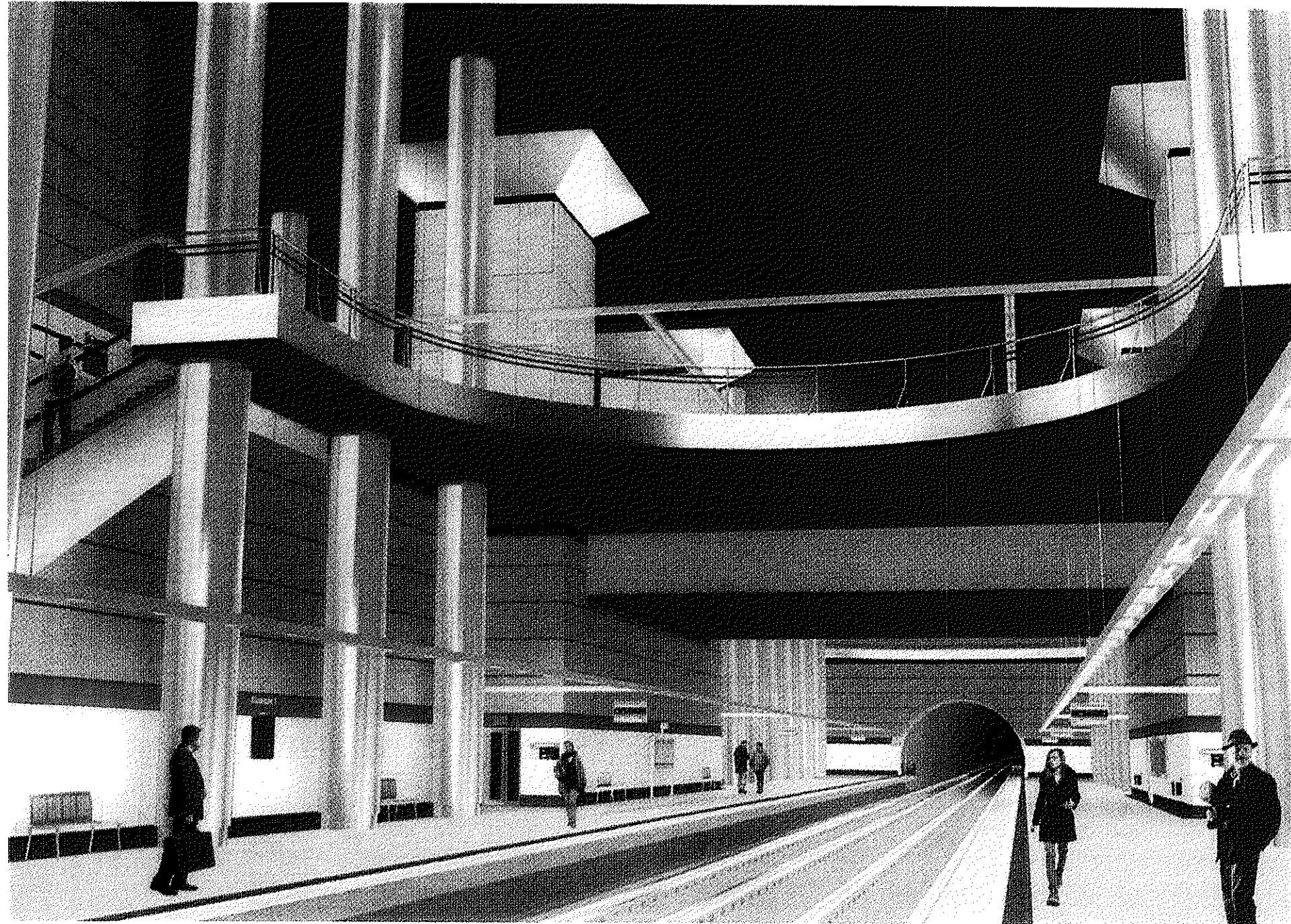
ESCALA 1:1000





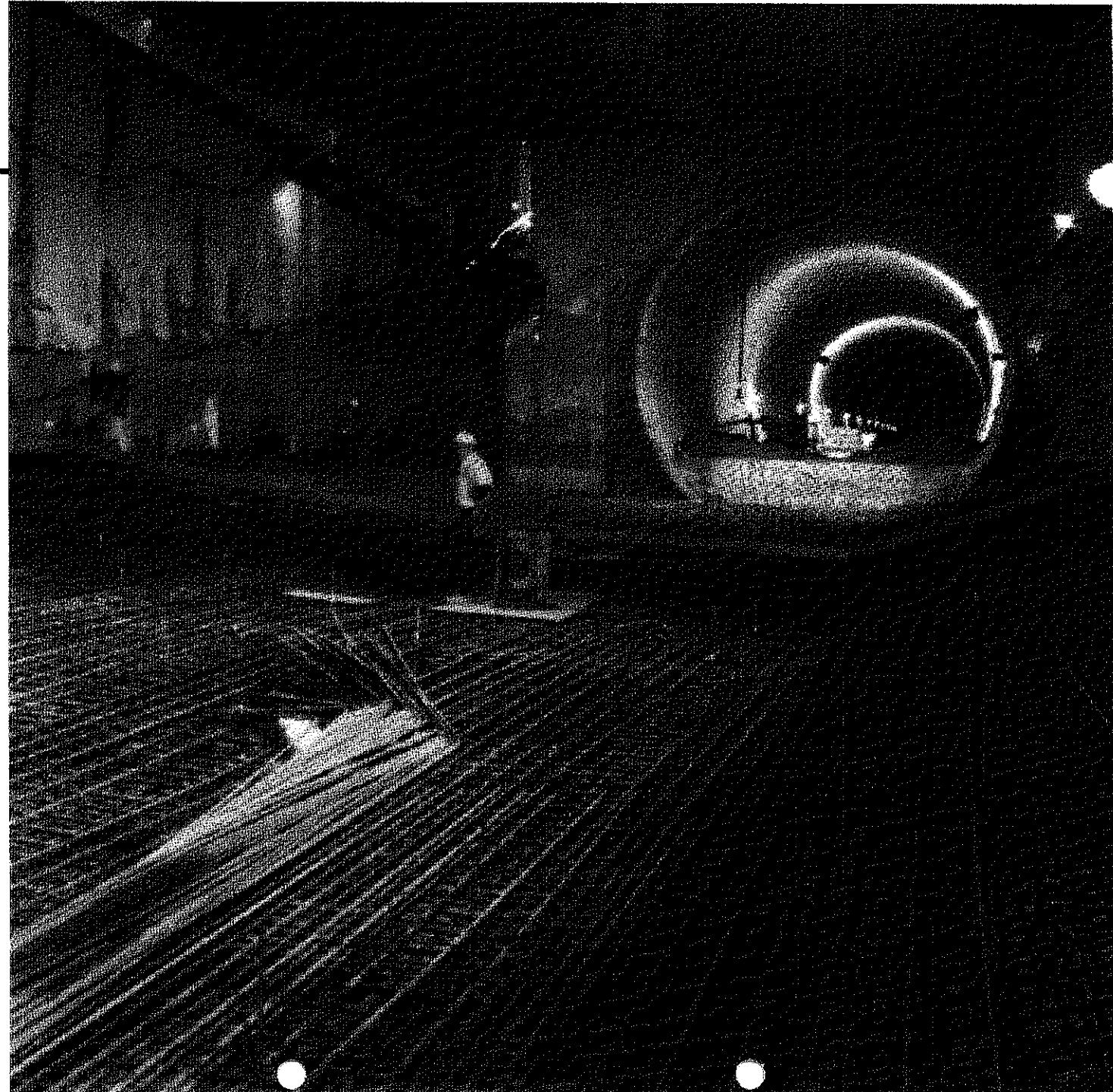
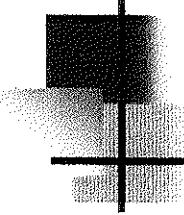


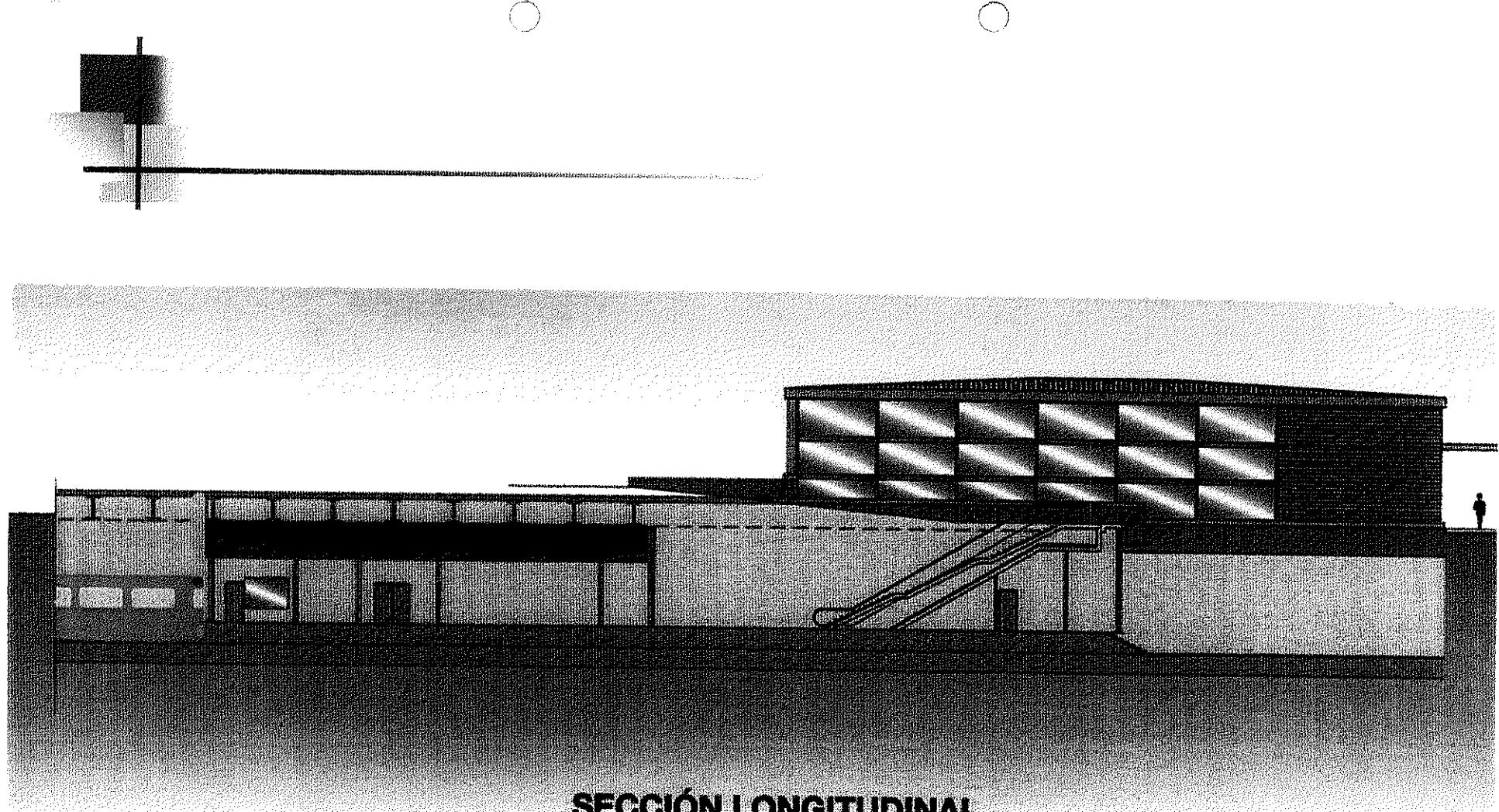




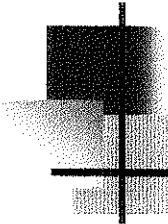


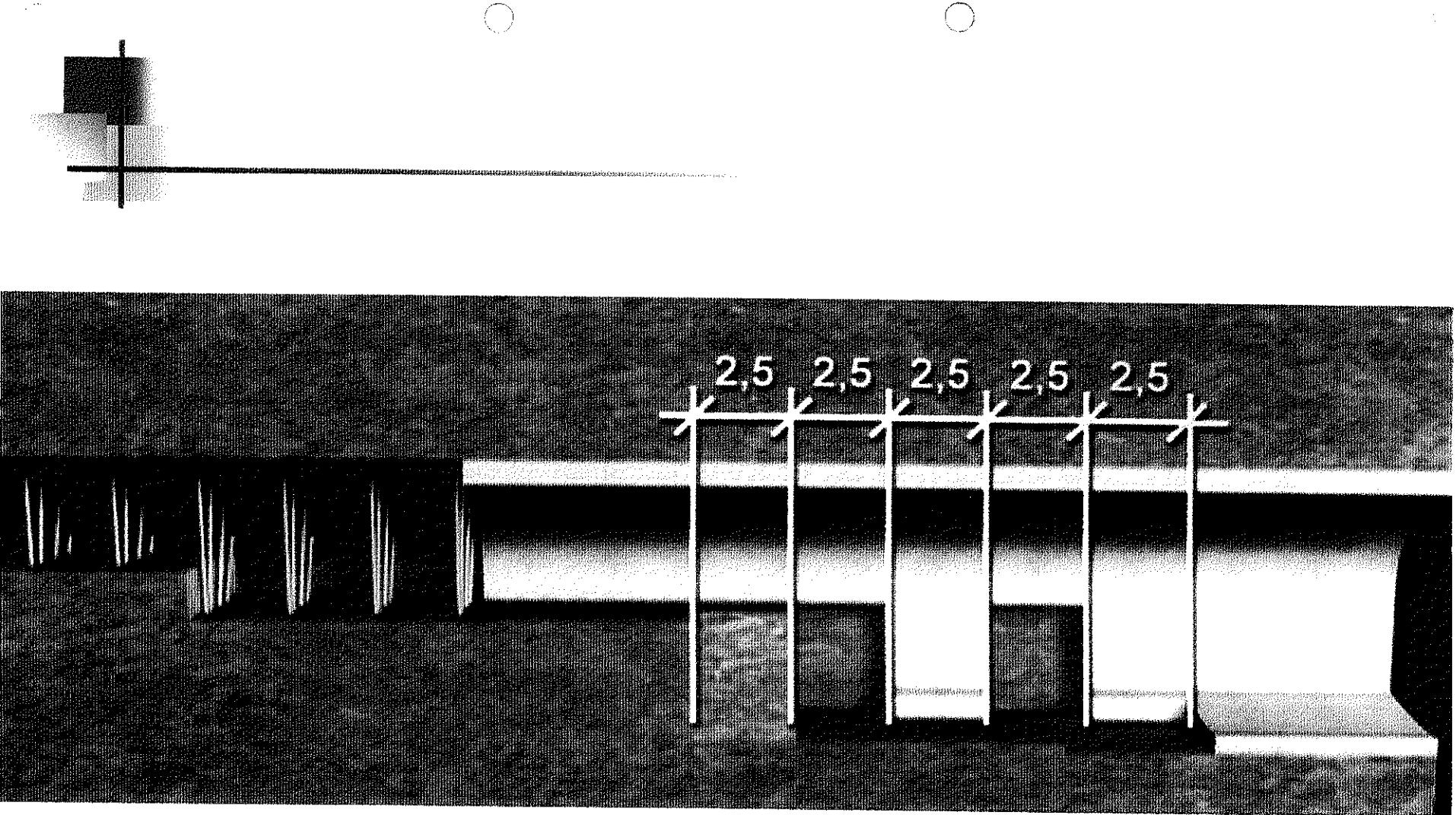


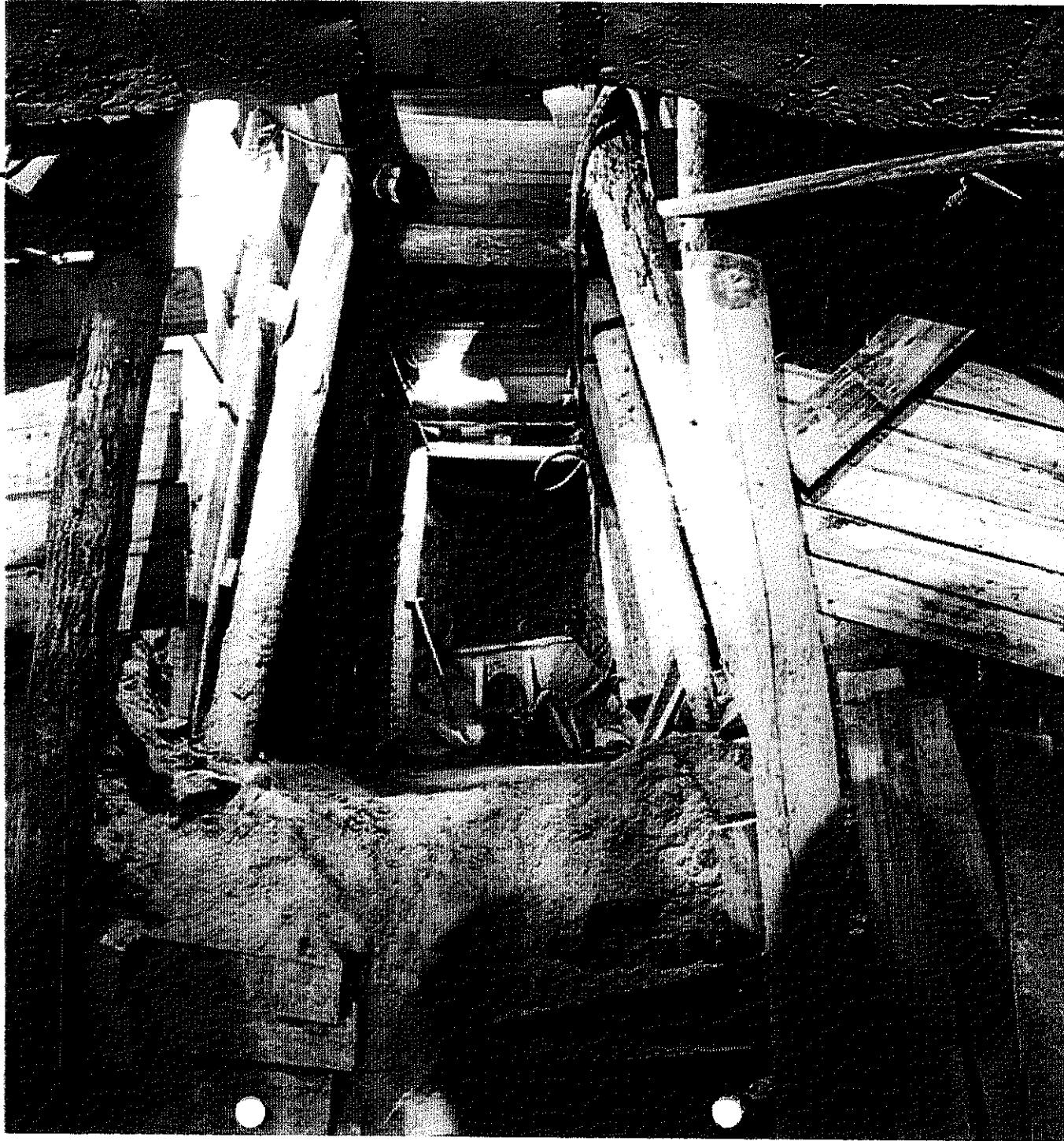


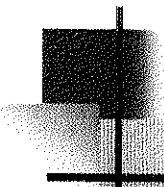


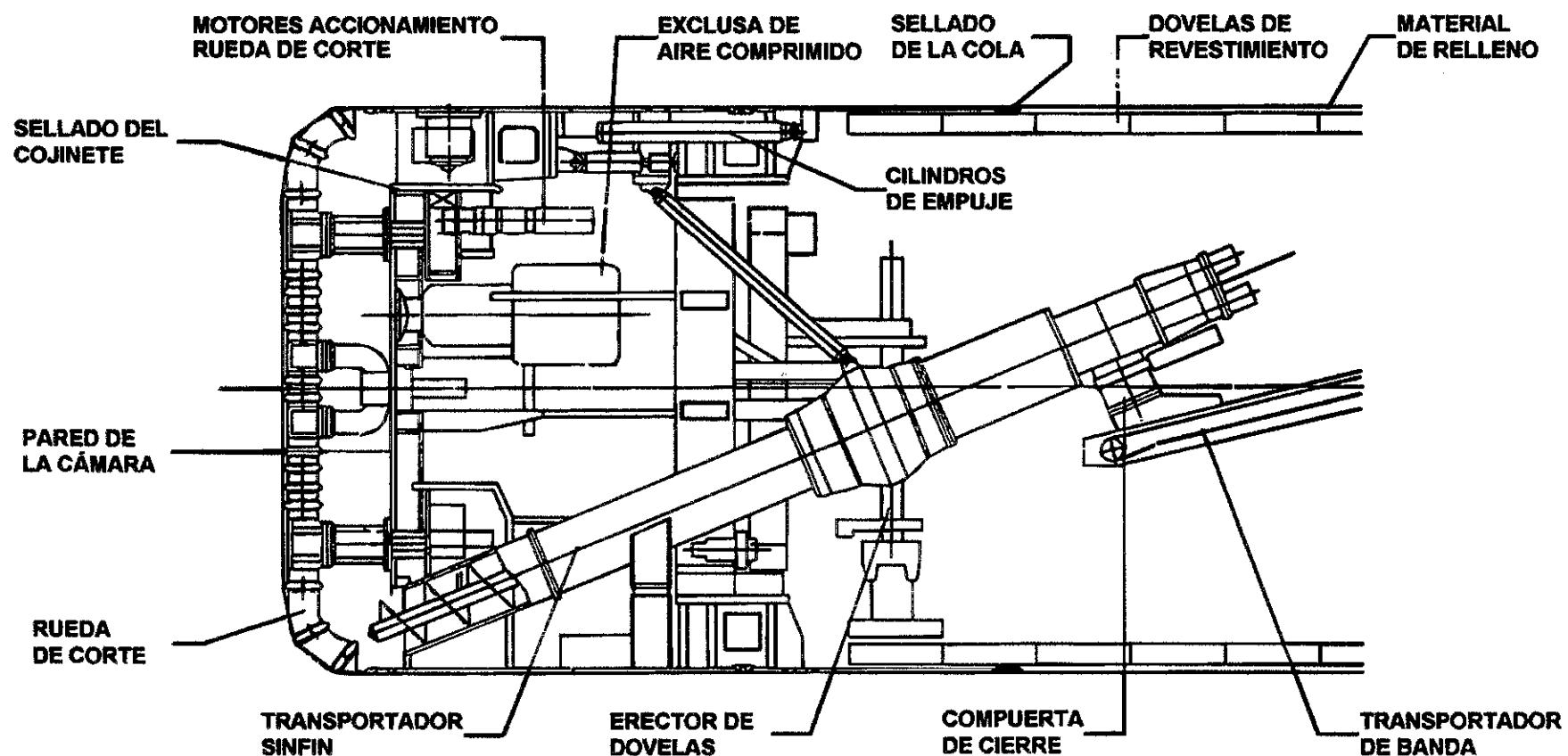
**SECCIÓN LONGITUDINAL**

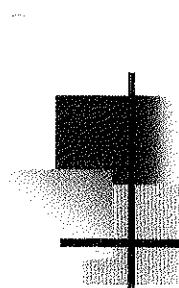




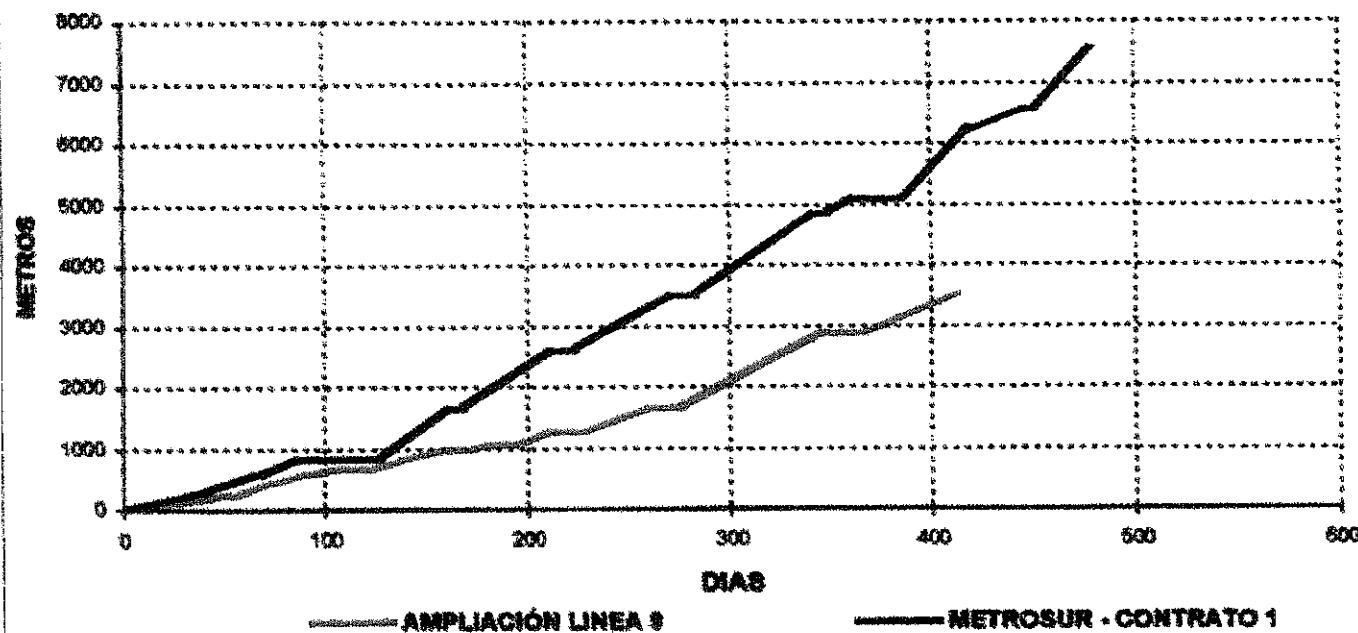


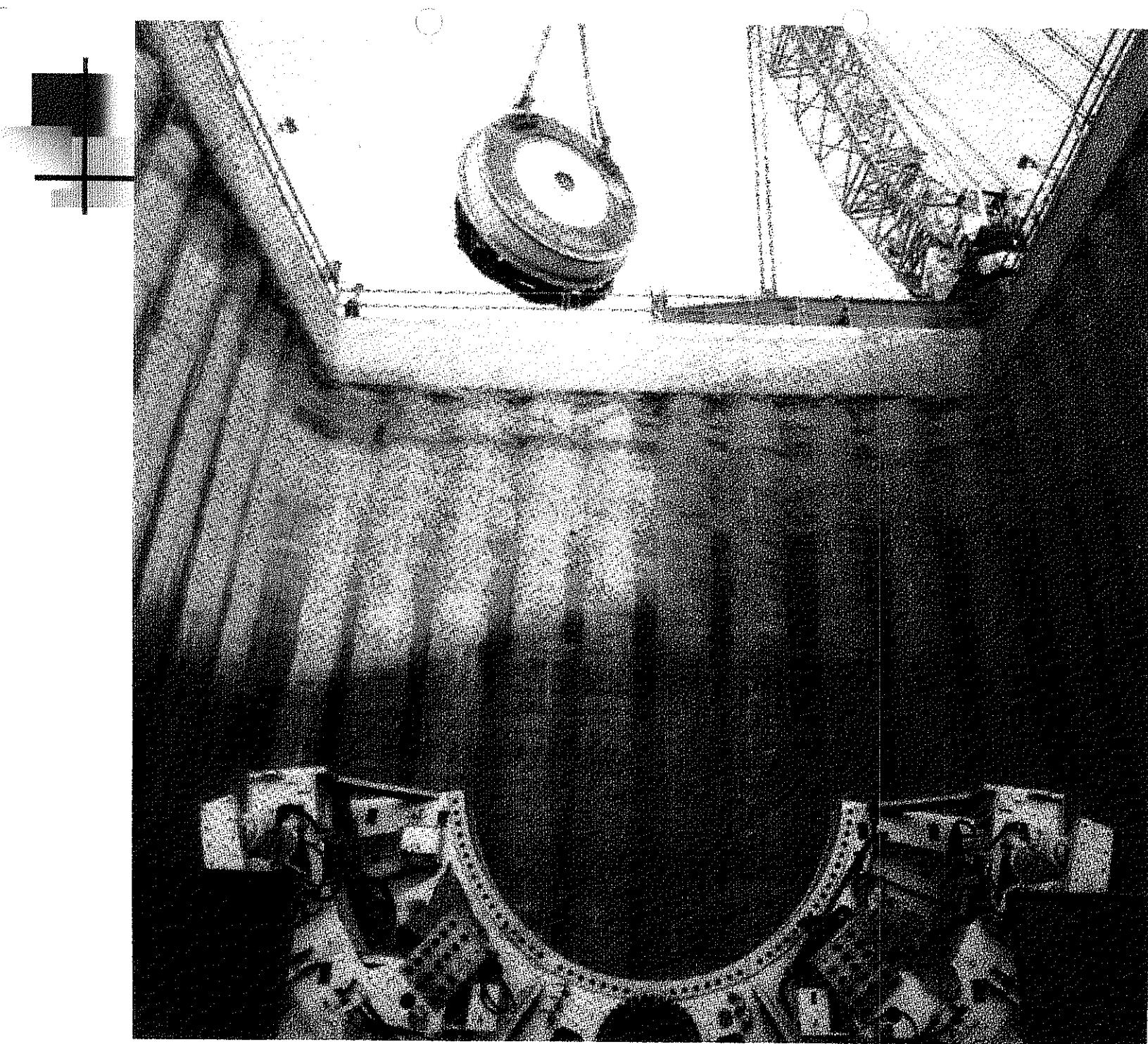


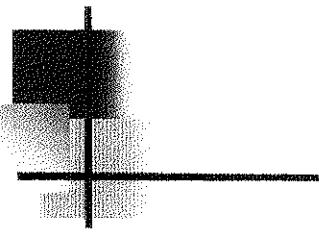
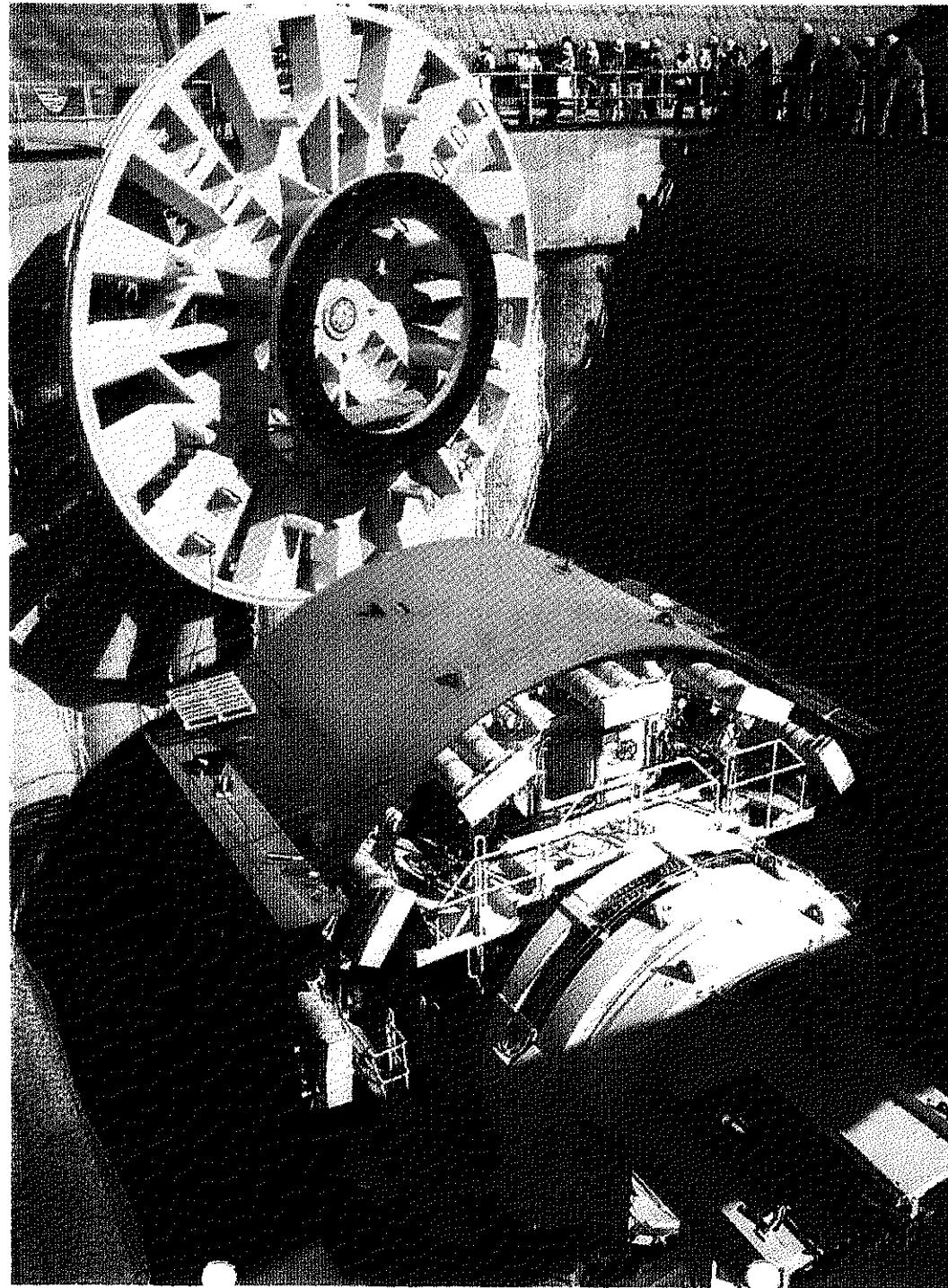


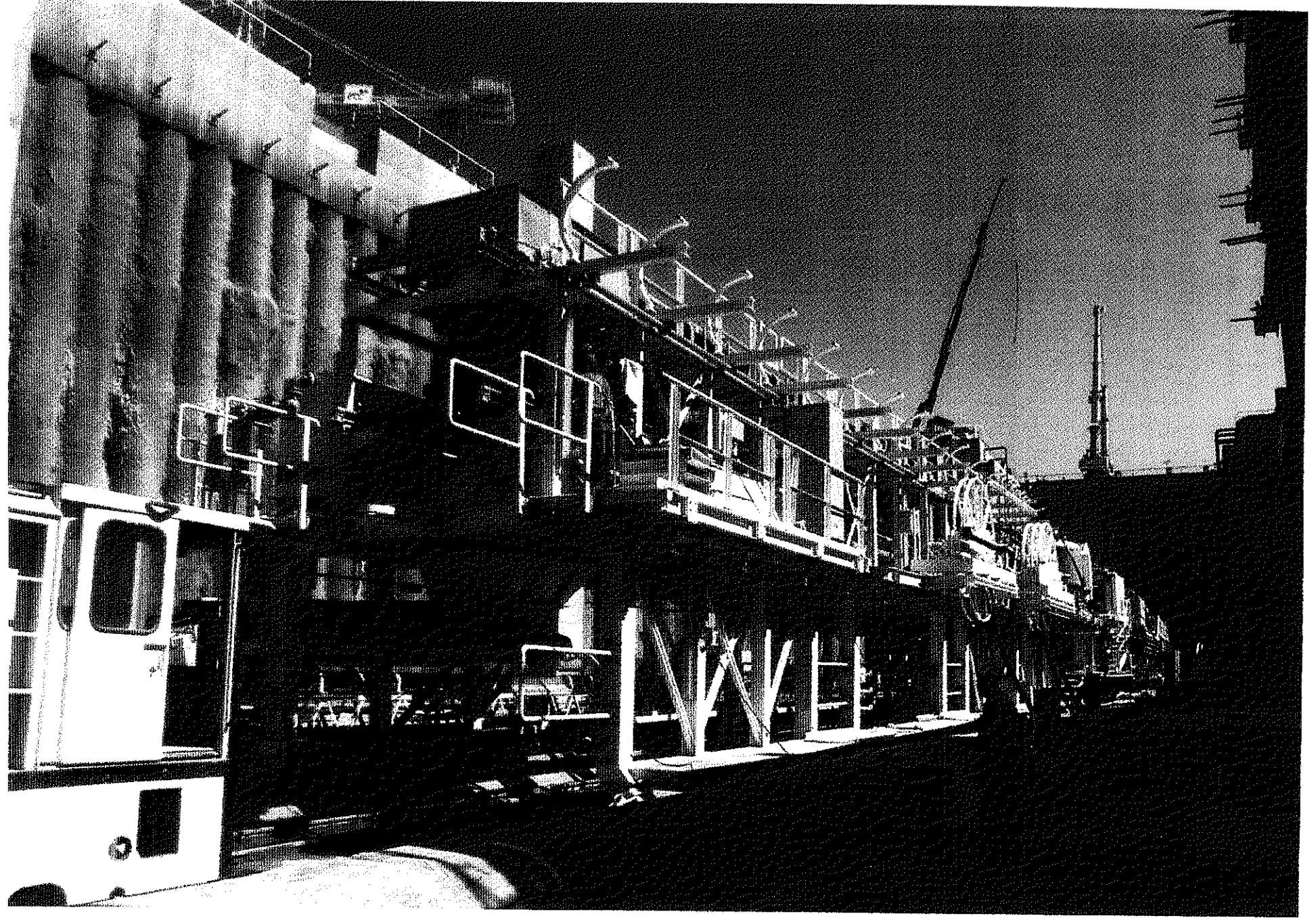


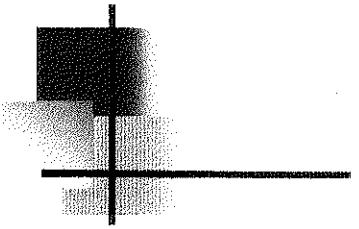
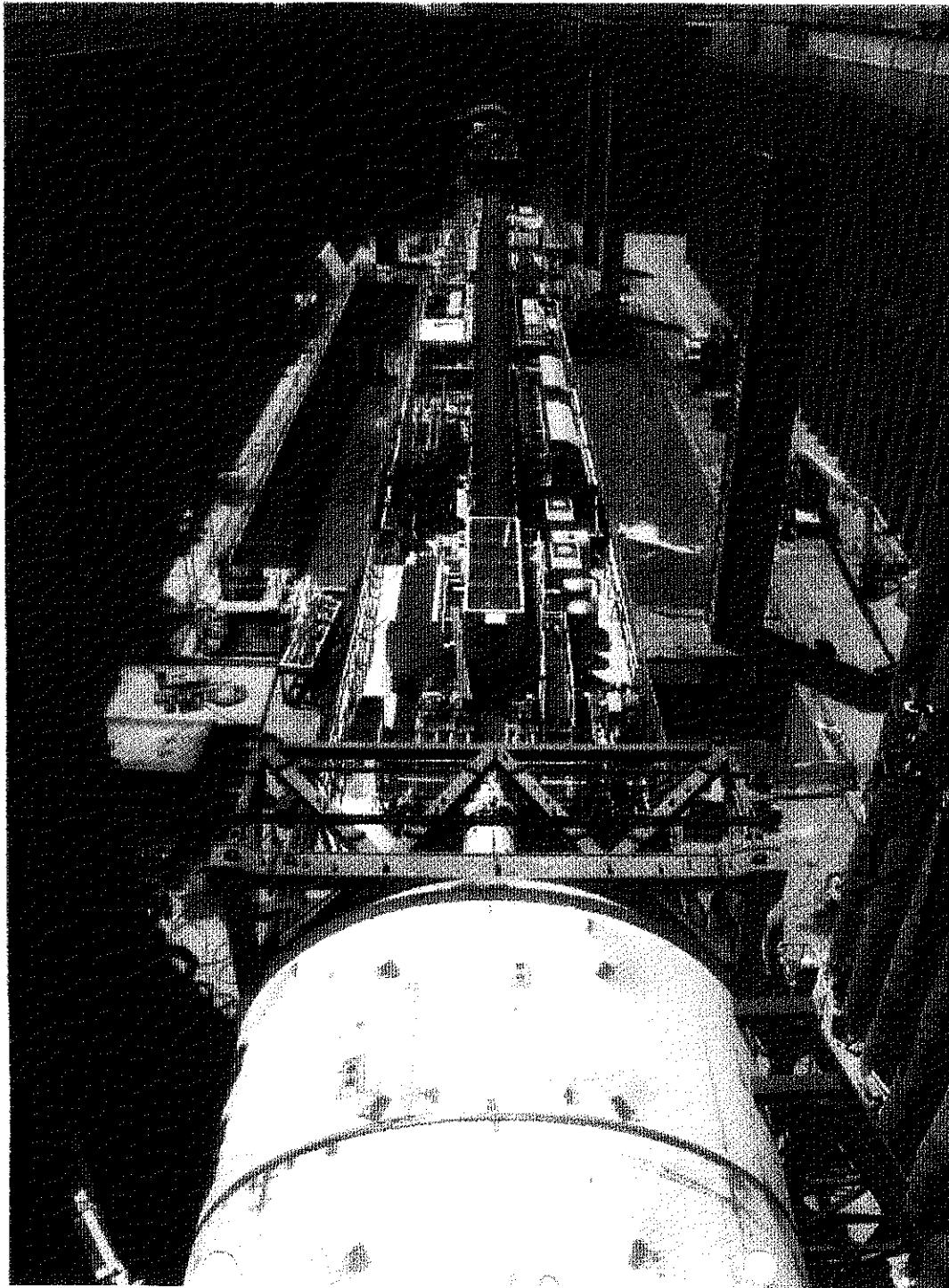
**GRAFICO COMPARATIVO DE AVANCES  
TUNELADORA "LA ALMUDENA"**





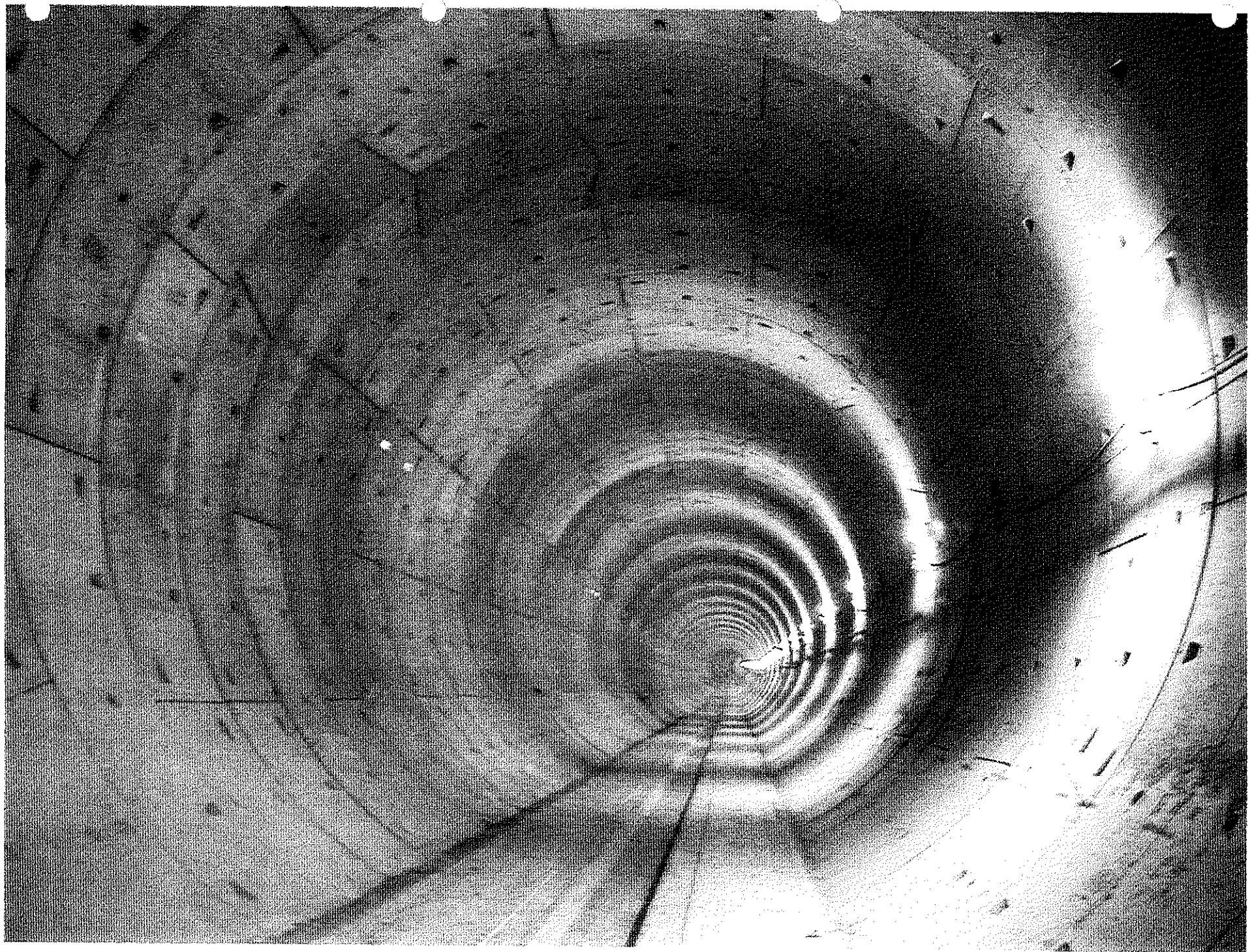


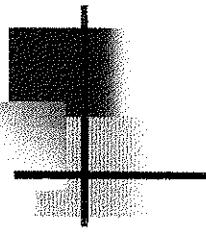




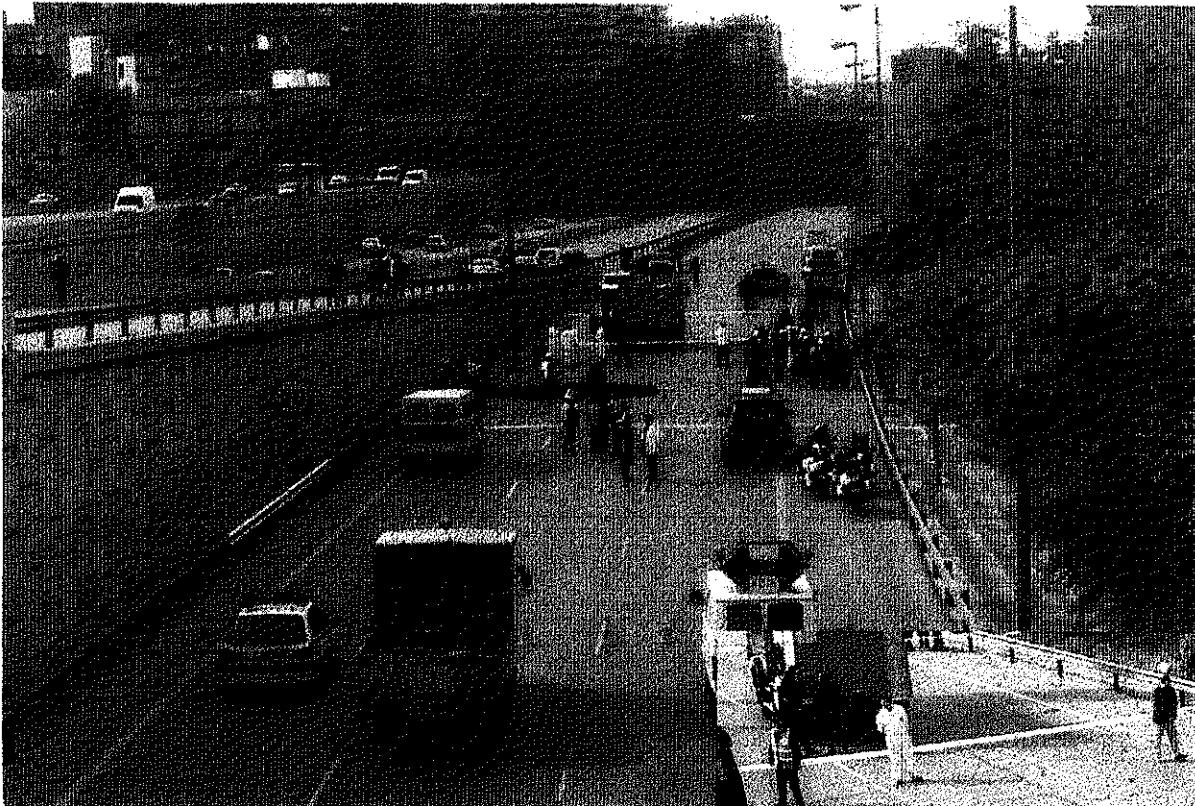












***II MASTER UNIVERSITARIO EN TÚNELES Y OBRAS  
SUBTERRÁNEAS***

**TÚNELES URBANOS:  
EL METRO DE MADRID**

*Carlos Oteo Mazo  
Dr. Ing. C. C. y P.  
Catedrático Ing. del Terreno  
Universidade da Coruña*

Las actuales redes de líneas de Metro de las ciudades más importantes del mundo se han ido formando por unión de diferentes y parciales líneas ferroviarias, que fueron introduciéndose en dichas ciudades desde mediados del Siglo XIX.

Así ocurrió en el Metro de Londres, el más antiguo, en que se crea, entre 1859 y 1863 un túnel a cielo abierto desde la Estación de Paddington hasta la periferia de la ciudad. Posteriormente, en 1871 aparece otro tramo ferroviario por el sur y en 1884 se produce la fusión de estos dos tramos, empezando el verdadero Metro de Londres hacia 1890, después de la perforación de un túnel (con escudo de dovelas de fundición) bajo el Támesis (Fig. 1).

En Nueva York también se produjo una situación similar y, hacia 1900, se unen los ferrocarriles de cinco barrios periféricos (Fig. 1).

Situación parecida se produce en París y en Berlín desde 1837-38. En esta última ciudad (Fig. 2) se constituye un anillo perimetral completo ya en 1877.

En Madrid el Metro se inaugura a finales de los años 10 del Siglo XX, a partir de la Línea 1 (Cuatro Caminos-Sol), como una iniciativa privada. Años después (en los 50), esta empresa cedió la construcción al Ministerio de Obras Públicas (por dificultades financieras) y, posteriormente, en los 80, el Metro pasó a la Comunidad de Madrid, estando gobernada por un Consejo de Administración en el que también interviene el Ayuntamiento y el Consorcio de Transportes.

Los condicionantes más típicos de la construcción del Metro de Madrid se indican en la Fig. 3, inscribiéndose en un terreno cuyo corte general característico aparece en la Fig. 4. El terreno, en planta se define en la Fig. 5, en que pueden verse los aluviales del Manzanares y sus afluentes y los depósitos pliocénicos (tosco, arena de miga, etc). En la Fig. 6 se incluye un cuadro con las características geotécnicas más importantes de los principales terrenos de Madrid: a) Rellenos (y cuaternarios, b) Arenas de miga, tosqueras y tosco (pliocénicos), c) Peñuelas (arcillas fisuradas miocenas), d) y yesos y arcillas yesíferas miocenas.

La granulometría y plasticidad de estos materiales se reproducen en las Figs. 7 y 8.



## METROS:

PAG. 1

### LONDRES:

- 1859-63 "METROPOLITAN RAILWAY" (TÚNEL CIELO ABIERTO DESDE PADDINGTON).
- 1871 "METROPOLITAN DISTRICT RAILWAY" (IDEM, POR EL SUR).
- 1884 FUSIÓN METROPOLITAN-DISTRICT (ANILLO-CENTRAL LINE).
- 1890 "TUBE" BAJO EL TAMESIS (ESCUDO).

### NUEVA YORK:

- 1853 UNIÓN 10 COMPAÑIAS: "N.Y. CENTRAL RAILROAD".
- 1900 UNIÓN DE LOS 5 BARRIOS PERIFÉRICOS (BROOKLYN, BRONX, ...).
- POCA PROFUNDIDAD Y ELEVADOS.

**FIG. 1**

## METROS:

PAG. 2

### PARÍS:

- 1837-1849 IMPLANTACIÓN LÍNEAS FERROCARRIL.
- 1897 AYUNT. FINANCIÁ Y UNA COMPAÑÍA PRIVADA CONSTRUYE (CO. DU CHEMIN DE FER METRO DE PARÍS).
- 1971 INAUGURACIÓN DE R.E.R.

### BERLÍN

- 1838 PRIMERA LÍNEA FERROVIARIA.
- 1877 ANILLO PERIMETRAL COMPLETO.
- 1891 SISTEMA TARIFARIO POR ZONAS.
- 1903 ELECTRIFICACIÓN.
- 1930 RED CON 230Km ELECTRIFICADOS.

**FIG. 2**

## METROS:

PAG. 3

### ■ METRO DE MADRID

#### ■ AMBITO URBANO

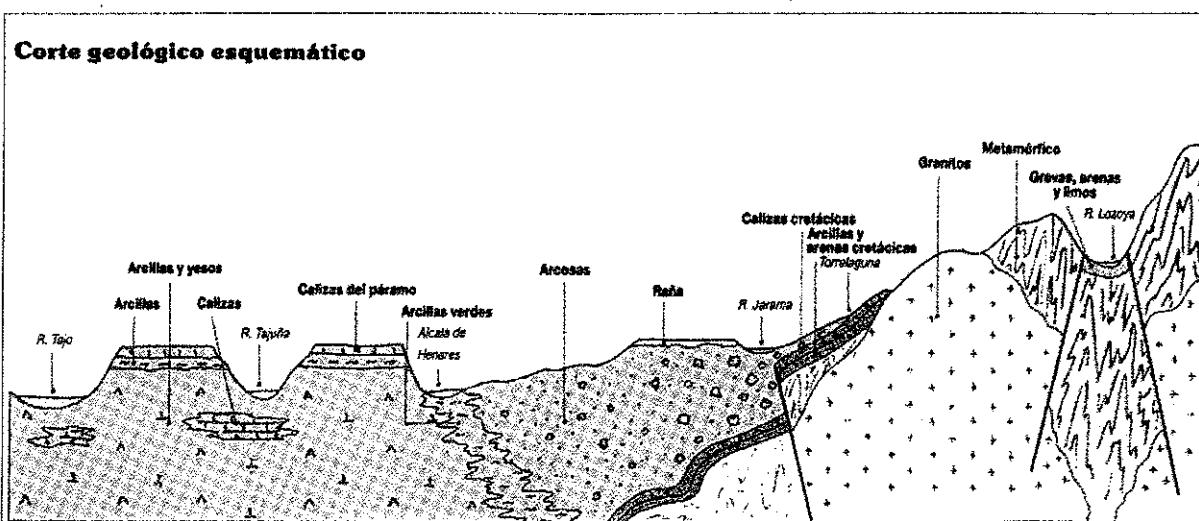
- POCA PROFUNDIDAD CLAVE (3-40m).
- VAGUADAS.
- EDIFICIOS PRÓXIMOS
- COLECTORES Y OTROS TÚNELES.

#### ■ TÚNEL DE LÍNEA: 8 – 10m

#### ■ ESTACIONES: 18 – 30m

#### ■ ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- CUATERNARIOS Y RELLENOS FLOJOS.
- SUELOS PLIOCÉNICOS.
- SUELOS MIOCÉNICOS Y YESOS.

**FIG. 3****FIG. 4**

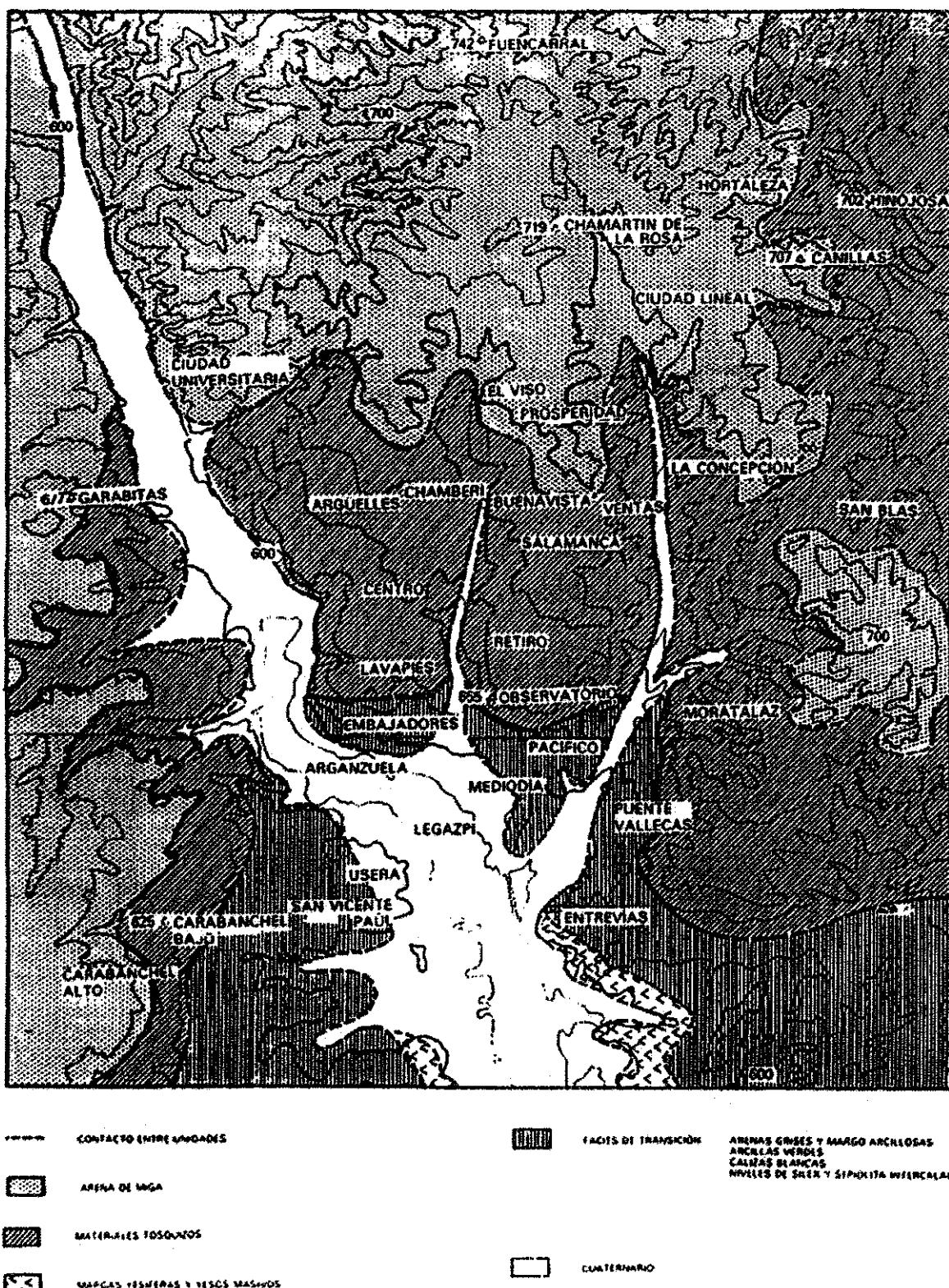


FIG. 5

# SUELOS DE MADRID

UNIDAD	$q_u$ (Kp/cm <sup>2</sup> )	C (T/m <sup>2</sup> )	$\Phi$ (°)	E(T/m <sup>2</sup> )
RELEÑOS	0.2	0	28	800
ARENAS DE MIGA Y TOSQUIZA	0.3-3	1-2	32-34	6000-12000
TOSCO	6-12	3-4	28-30	15000-20000
PEÑUELAS	8-20	3-5	28-29	15000-30000
YESOS	>40	8-10	28	25000-50000

FIG. 6

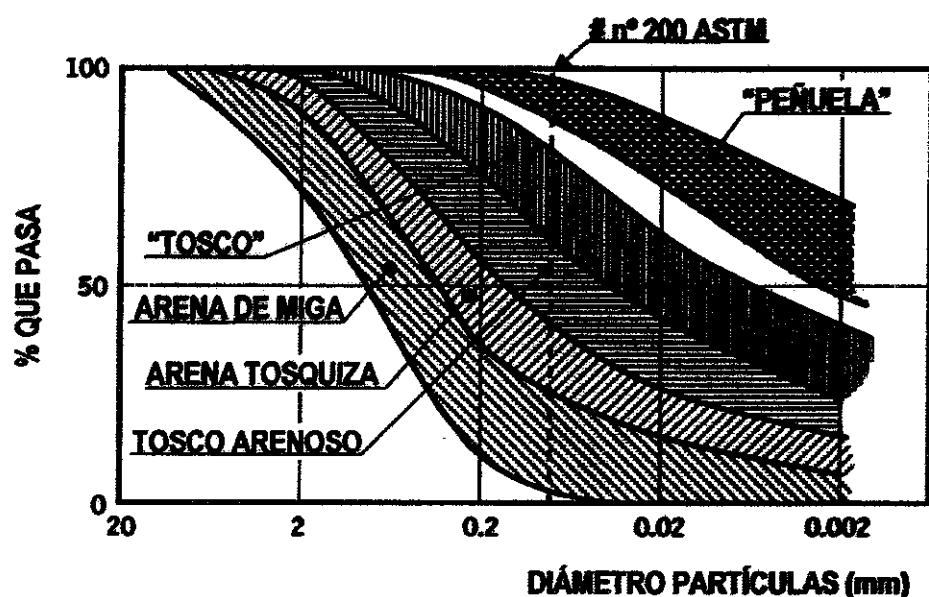


FIG. 7

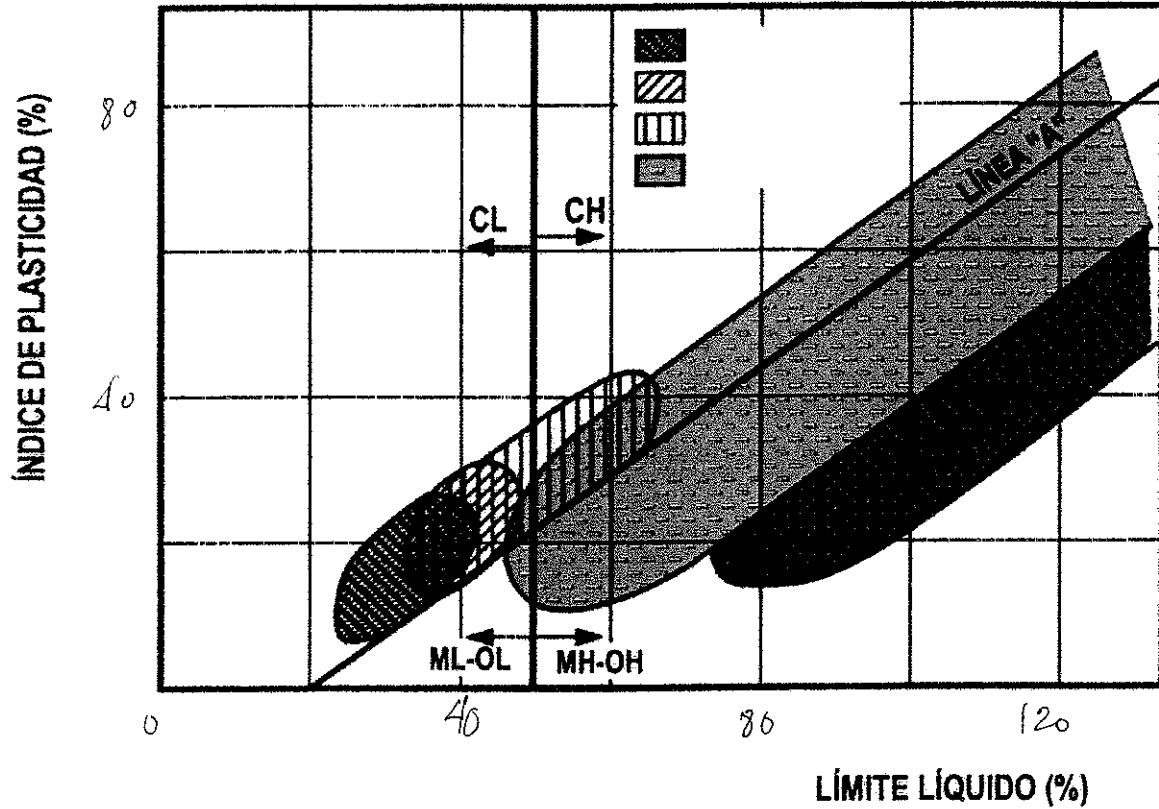


FIG. 8

La construcción del Metro incide sobre la orografía del terreno de Madrid (alteración de lomas y vaguadas) debida a la presencia de una fuerte red hidrográfica asentada en el entorno de la ciudad y, a menudo, recubierta por rellenos recientes, no controlados (Fig. 9).

El Metro de Madrid tenía unos 120 Km. en 1995, habiéndose realizado tres Ampliaciones recientemente: 1995-1999; 1999-2003 (con salida a los Ayuntamientos del Sur de Madrid a través de un anillo de 40 Km. llamado Metrosur) y 2003-2007 (actualmente en fase final). La Fig. 10 muestra la Ampliación de 1999-2003 y la Fig. 11 la actual.

En la Fig. 12 aparecen los kilómetros puestos en servicio desde 1919, faltando los de esta legislatura (que suponen una ampliación del orden de 100 Km., entre Metro subterráneo y Metro ligero superficial).

La construcción de un túnel en Madrid tiene diversos problemas (Fig. 13 y 14):

- Cuaternarios y rellenos a veces potentes (3 a 17 m).
- Poco recubrimiento en terreno terciario (desde negativo a 20 m).
- Agua en capas terciarias arenosas.
- Presencia de servicios y edificios próximos que pueden ser dañados por los movimientos (decompresión) que origina la excavación del túnel.
- Presencia de antiguos pozos de extracción de agua o presencias de los “viajes de agua” o galerías de conducción de agua, construidos entre la época de los árabes hasta la entrada en servicio del Canal de Isabel II (1860).
- Zonas contaminadas por pérdida de combustible en gasolineras y aeropuertos, etc..
- Huecos existentes en el terreno, por encima de la clave, por lavado del terreno arenoso (Fig. 15).

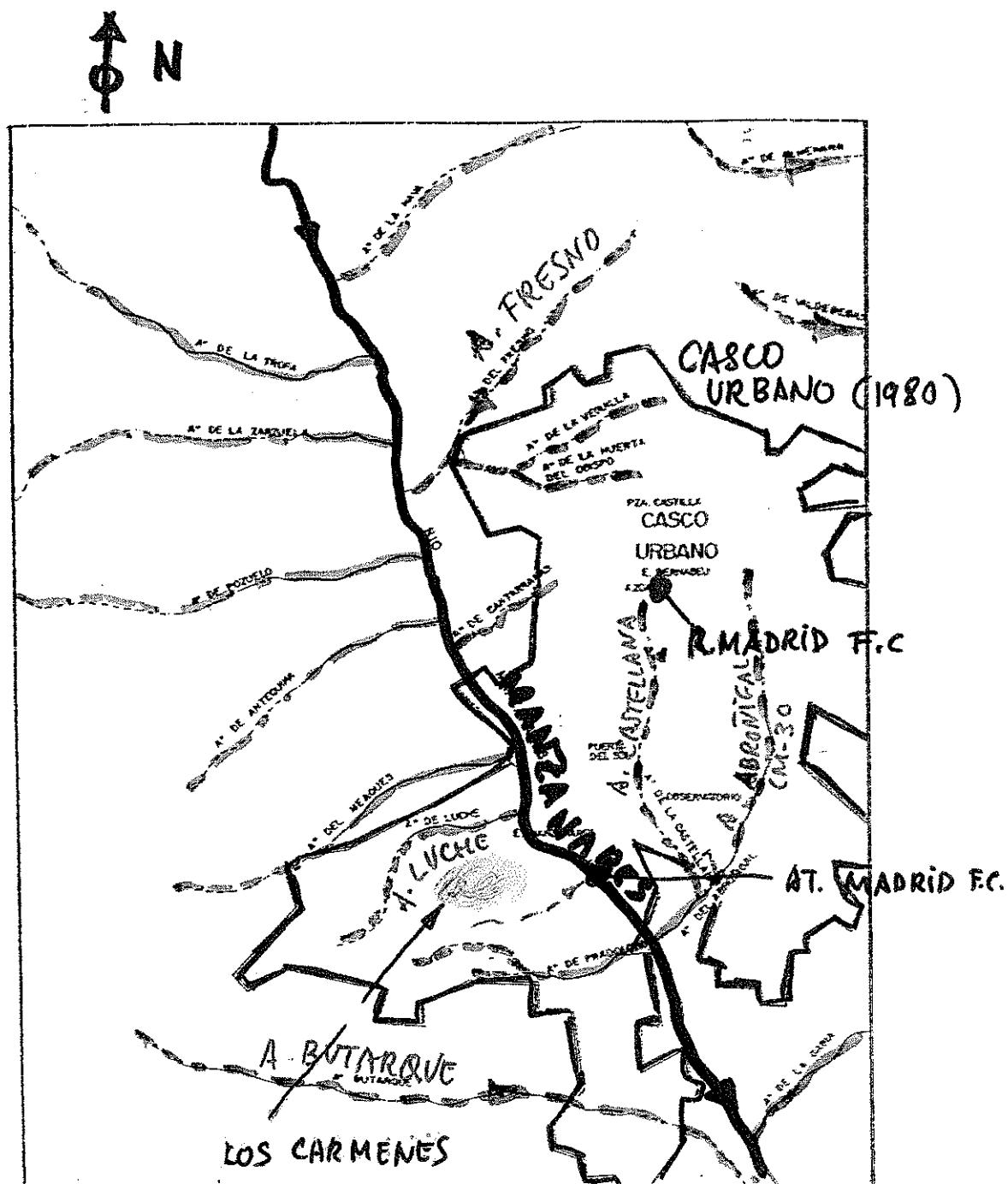
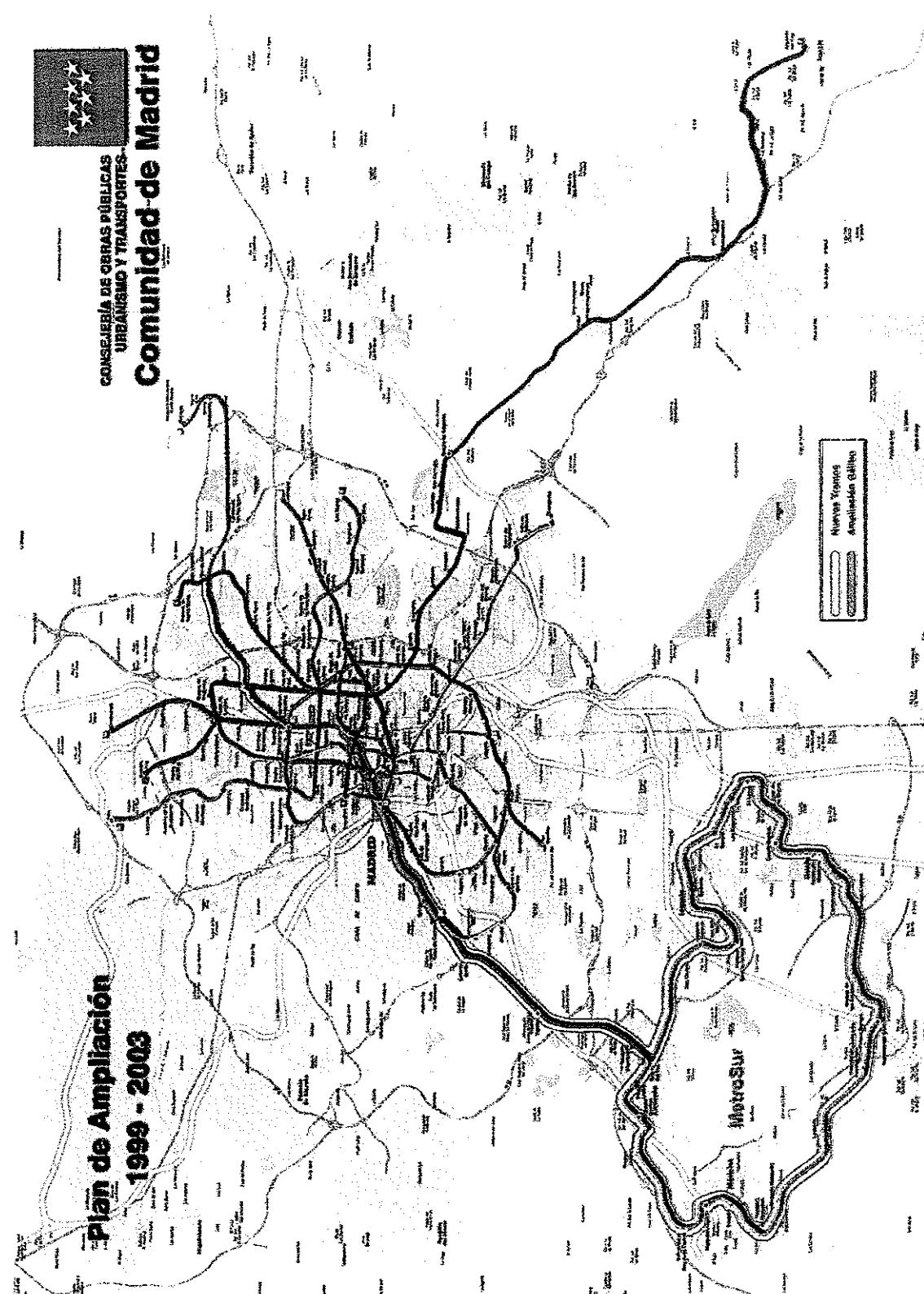
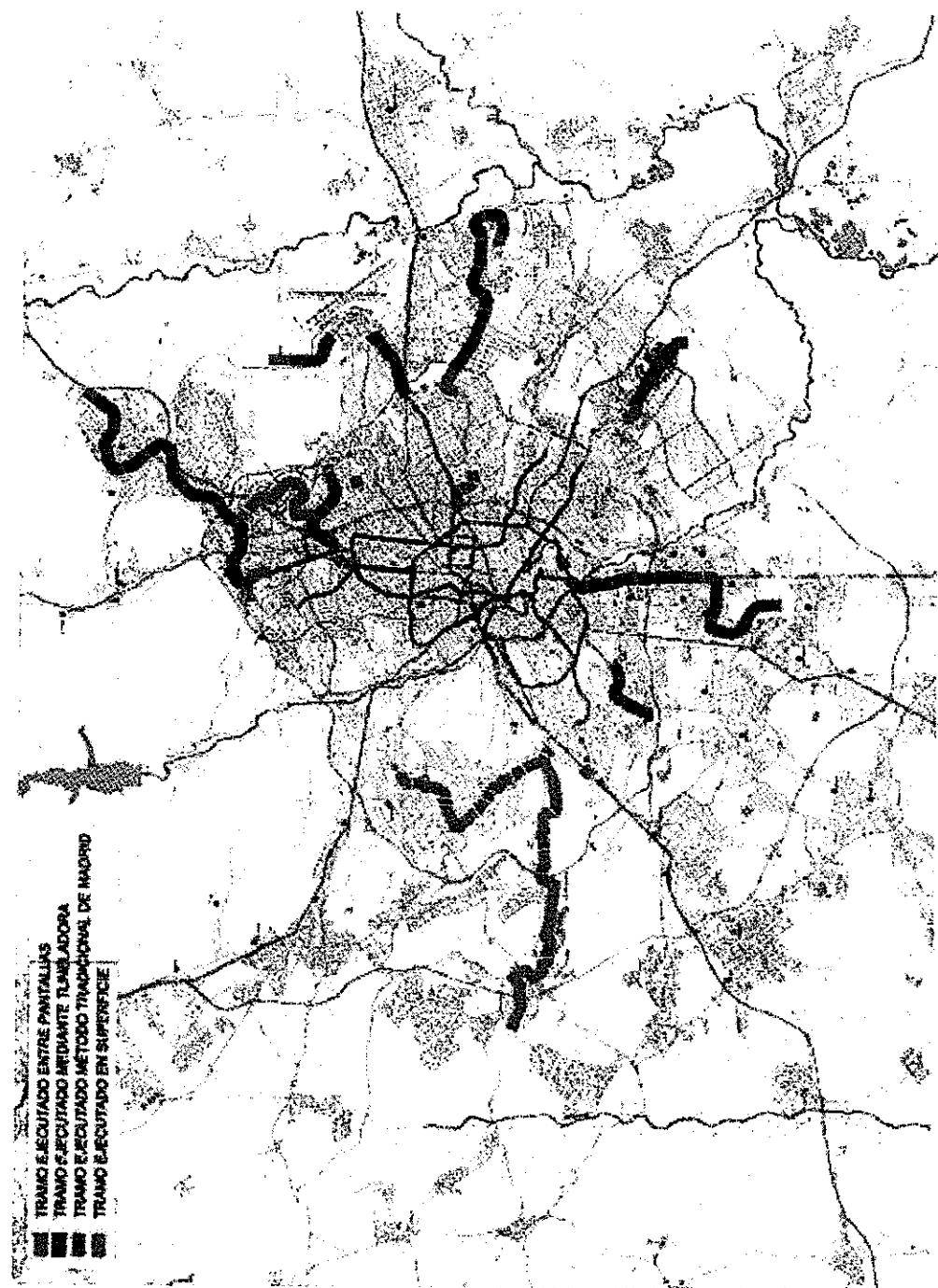


FIG. 9



**FIG. 10**



**FIG. 11**

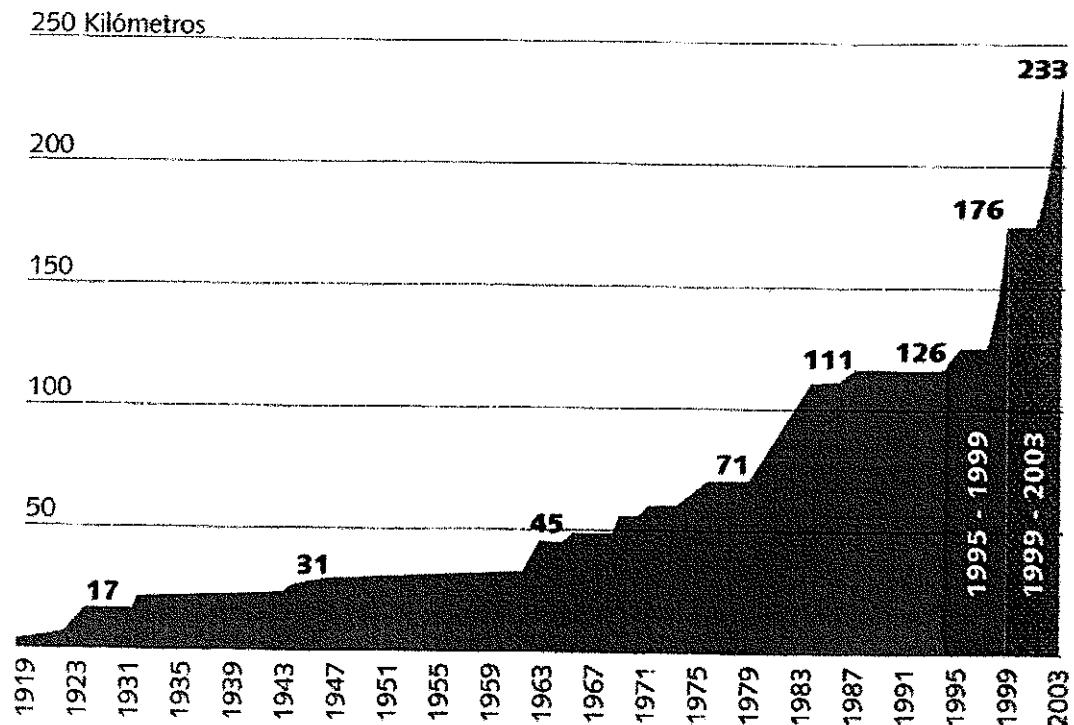


FIG. 12

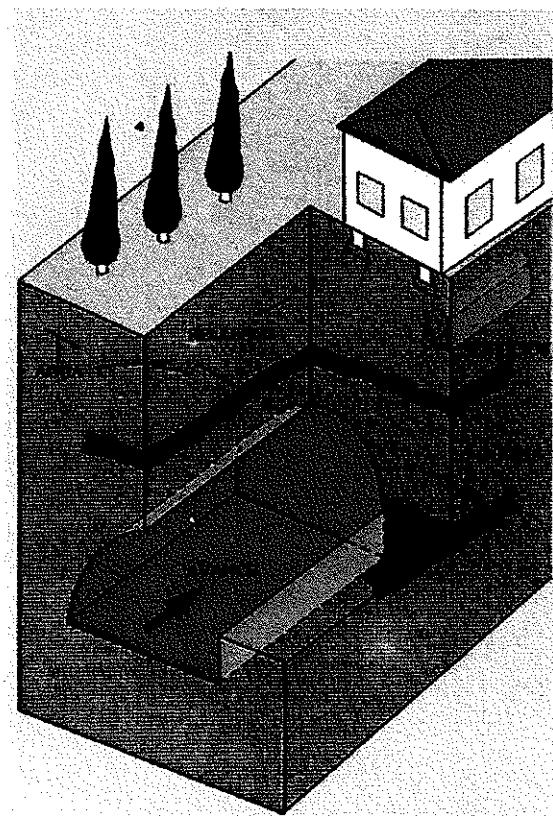
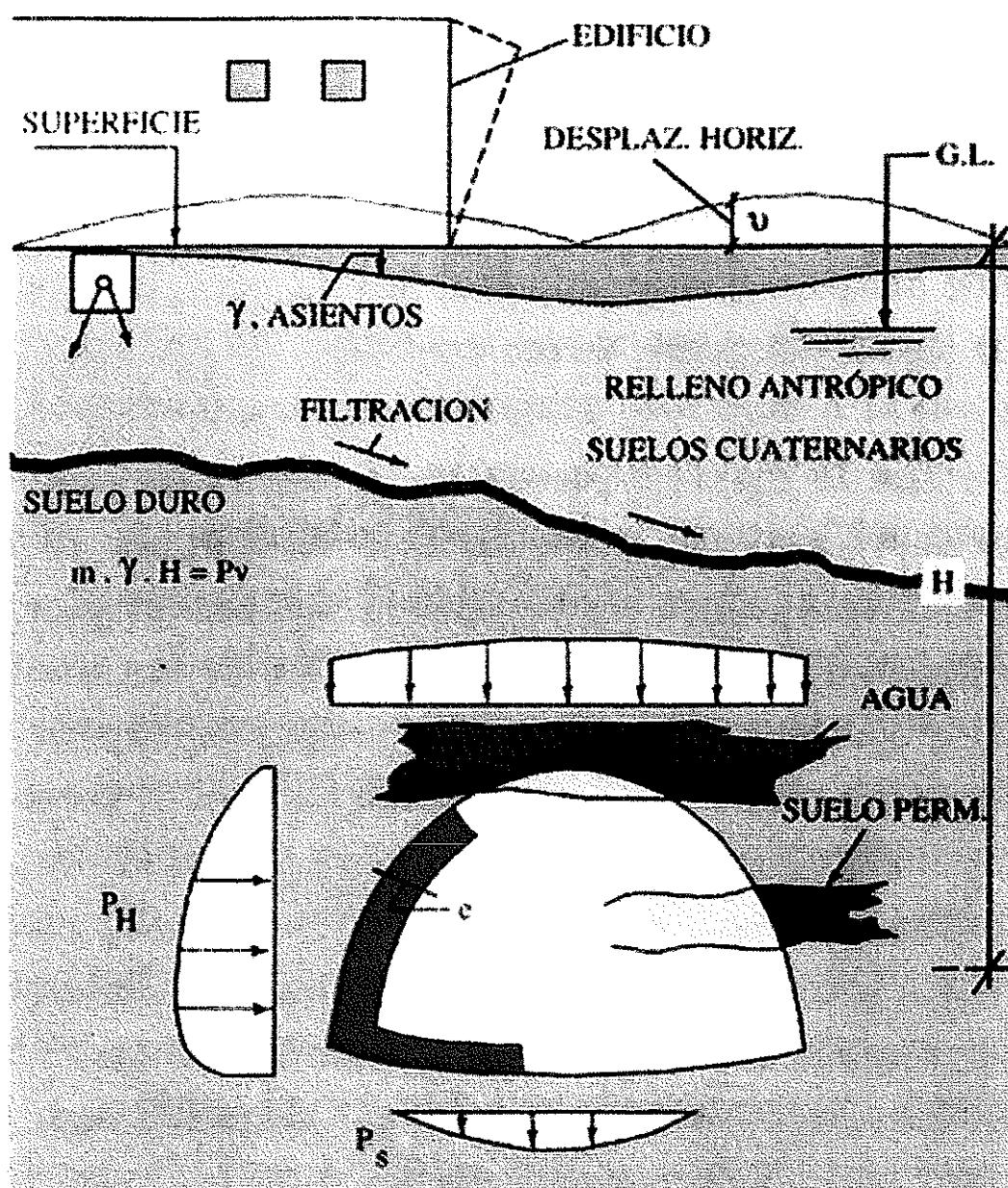


FIG. 13



$$e = f(P_v, P_H, \gamma, v, \text{MÉTODO CONSTR.})$$

FIG. 14

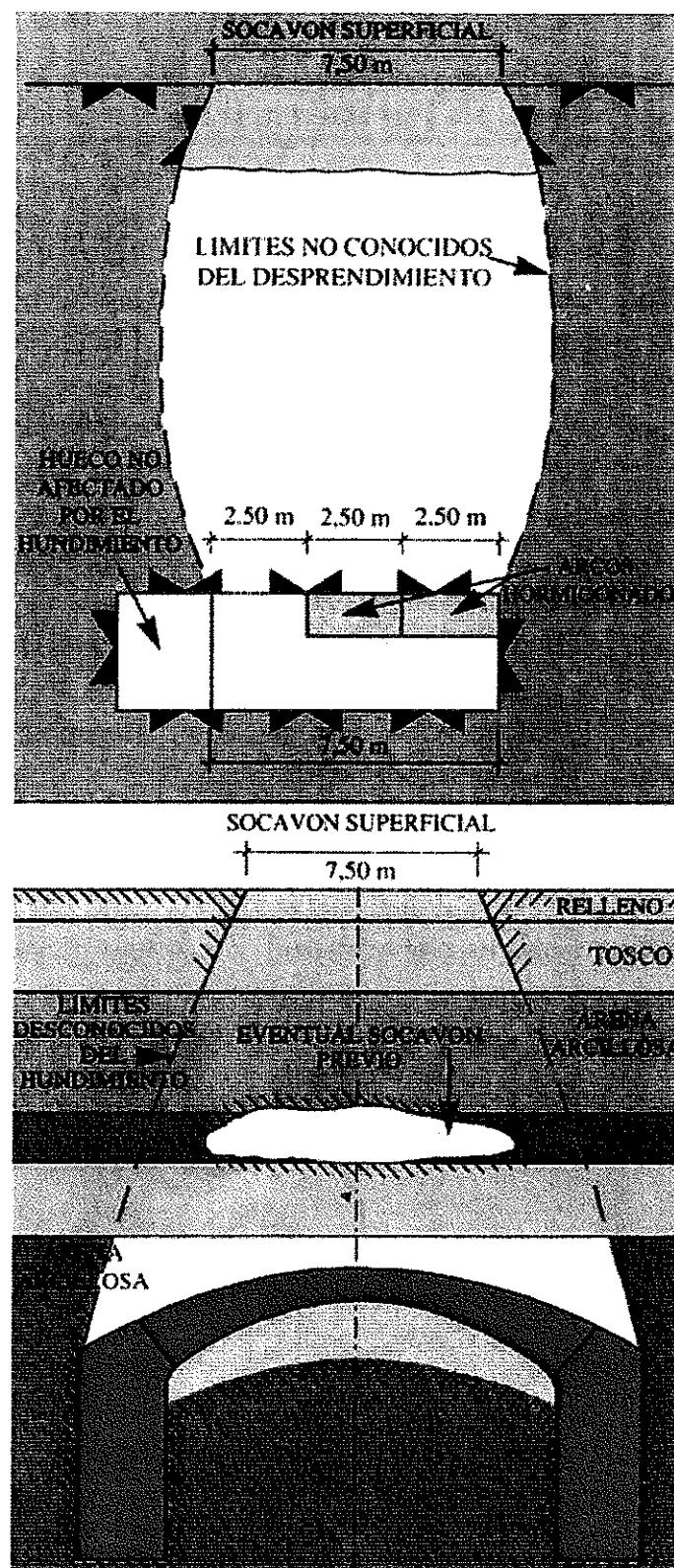
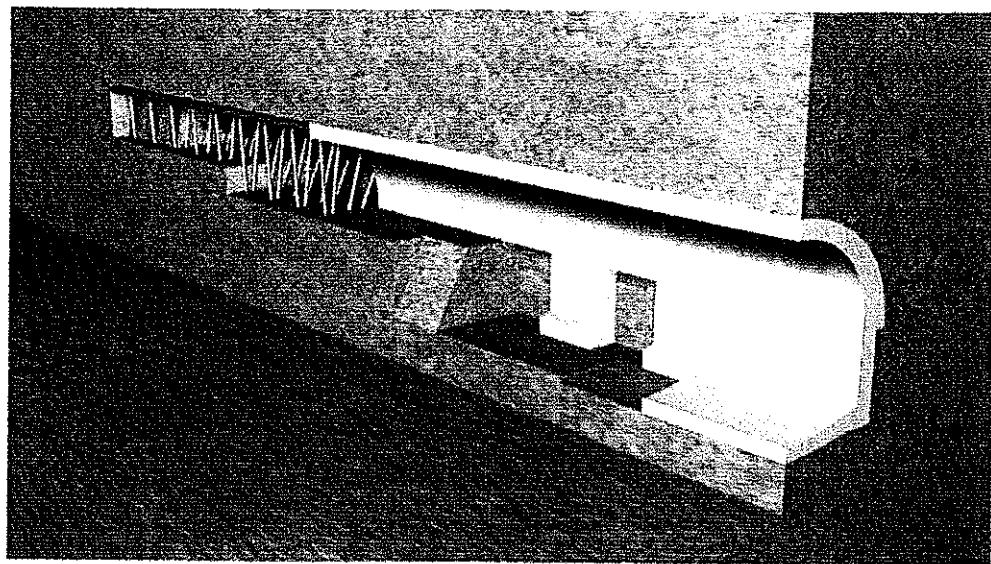


FIG.- 15

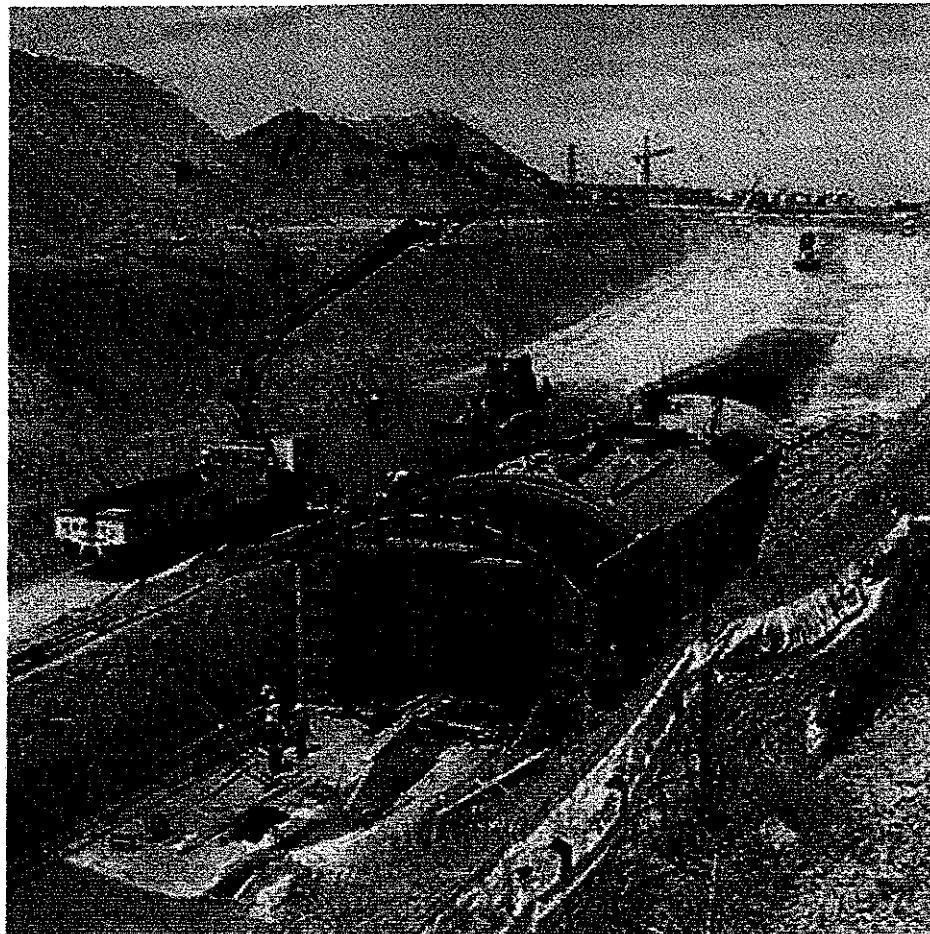
Hasta mediados de los años 70 todos los túneles se excavaban con el Procedimiento Tradicional de Madrid (Fig. 16). En algún caso se hizo a cielo abierto (Fig. 17).

En cuanto a las estaciones, inicialmente, se hicieron a cielo abierto (Fig. 18), aumentando poco a poco su profundidad (Fig. 19). En la actualidad suelen construirse creando una “caja rectangular”, con ayuda de pantallas continuas (Fig. 20, 21 y 22), con interiores muy armados (Fig. 23). A veces son exteriores (Fig. 24).

En cuanto al túnel, en la actualidad, la mayoría se construyen con tuneladoras, de frente cerrado y tipo E.P.B ó “Presión de tierras compensada” (Fig. 25 y 26), consiguiéndose avances y rendimientos muy importantes (Fig. 27). El record de avance está en unos 1.050 m de túnel revestido en 30 días naturales. El revestimiento de hormigón armado, lo coloca la propia tuneladora (Fig. 28). El producto acabado es de gran calidad (Fig. 29).



**FIG. 16**

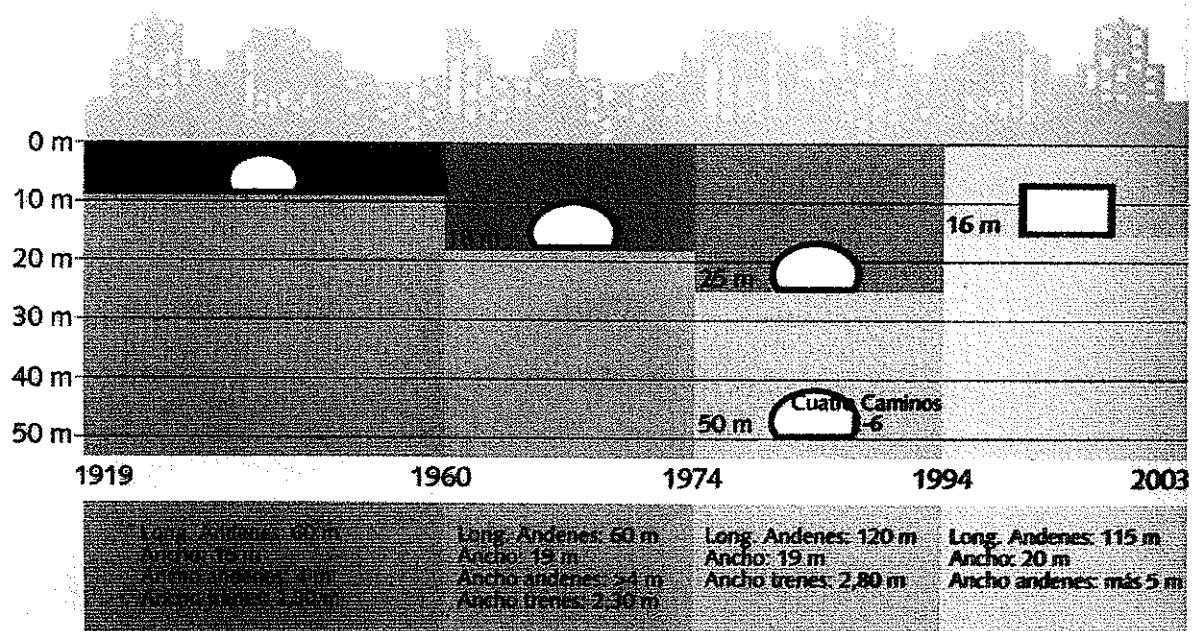


**FIG. 17**

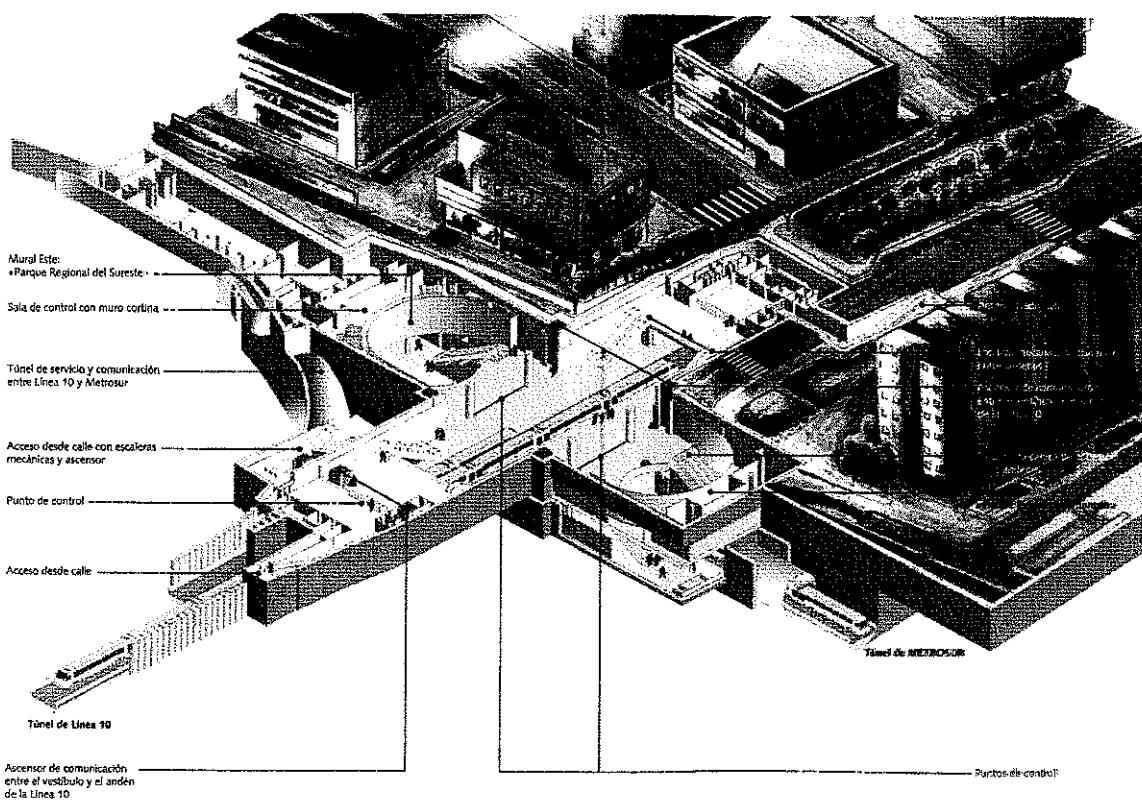
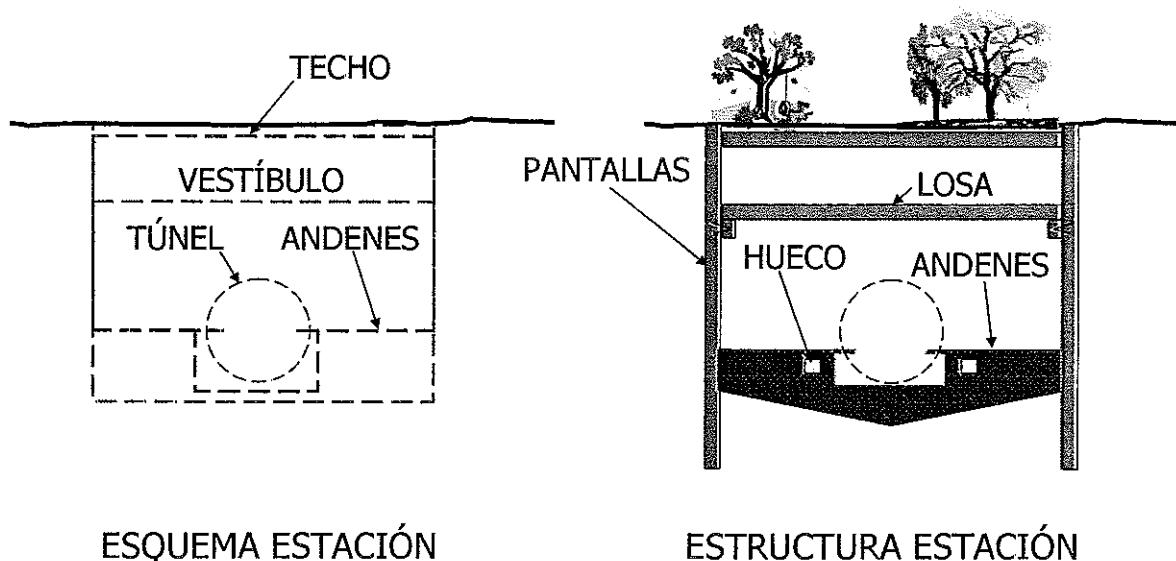


**FIG. 18**

#### Evolución de la profundidad de las estaciones (1919-2003)



**FIG. 19**



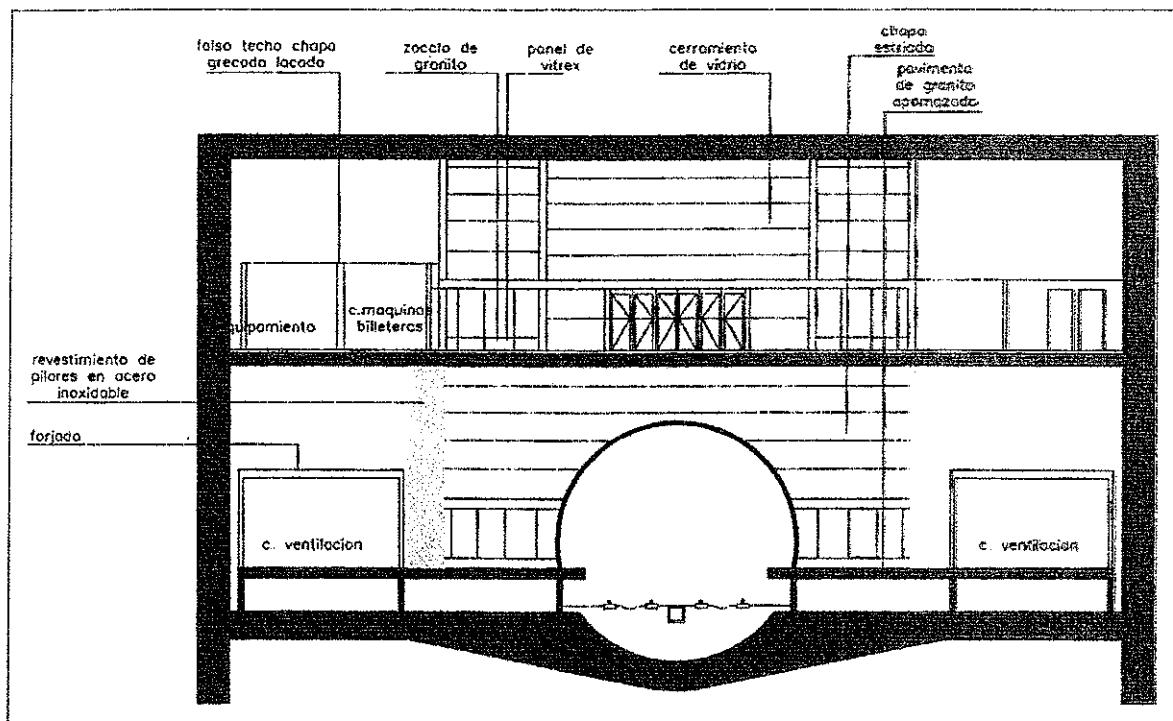


FIG. 22

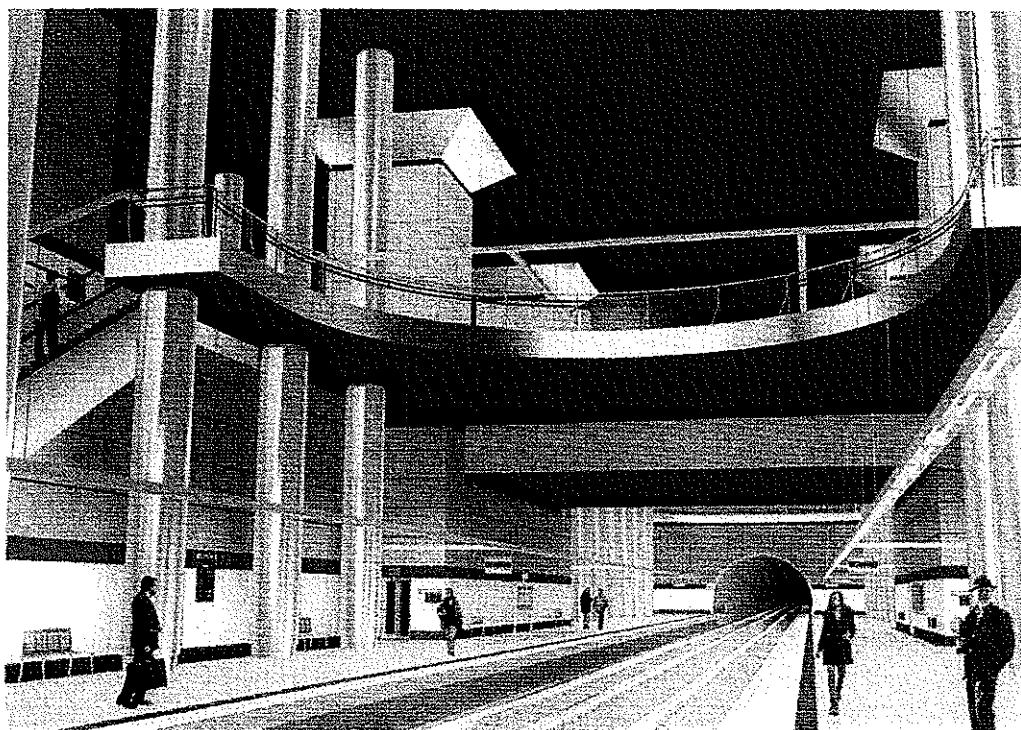


FIG. 23

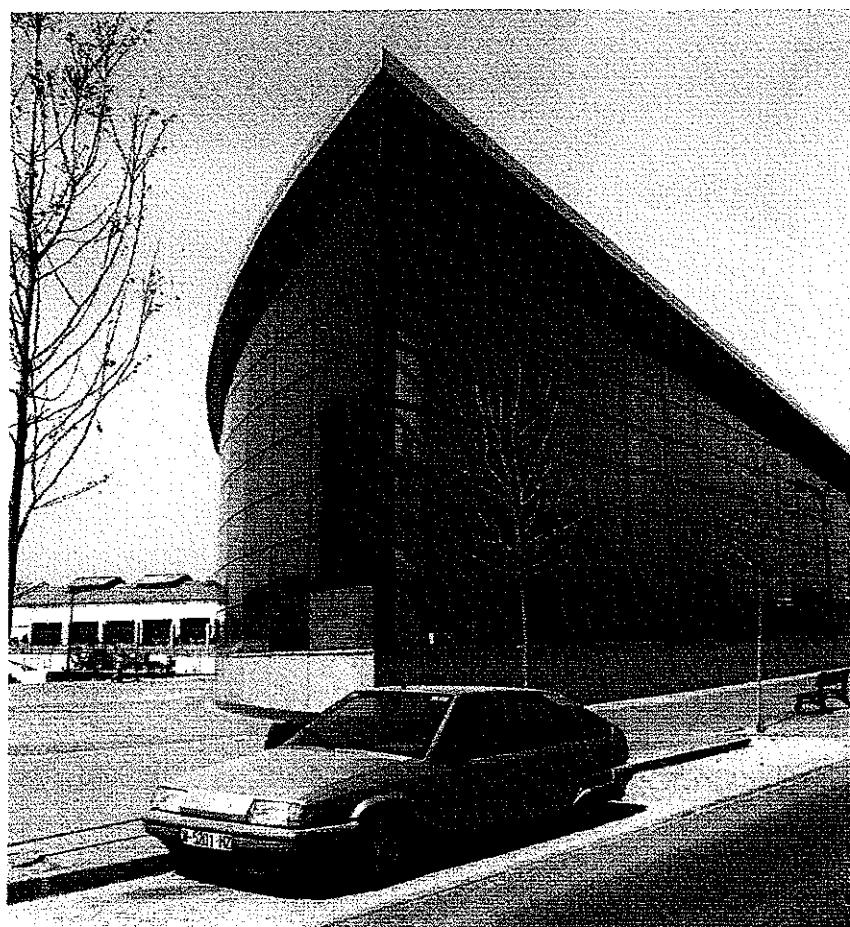


FIG. 24

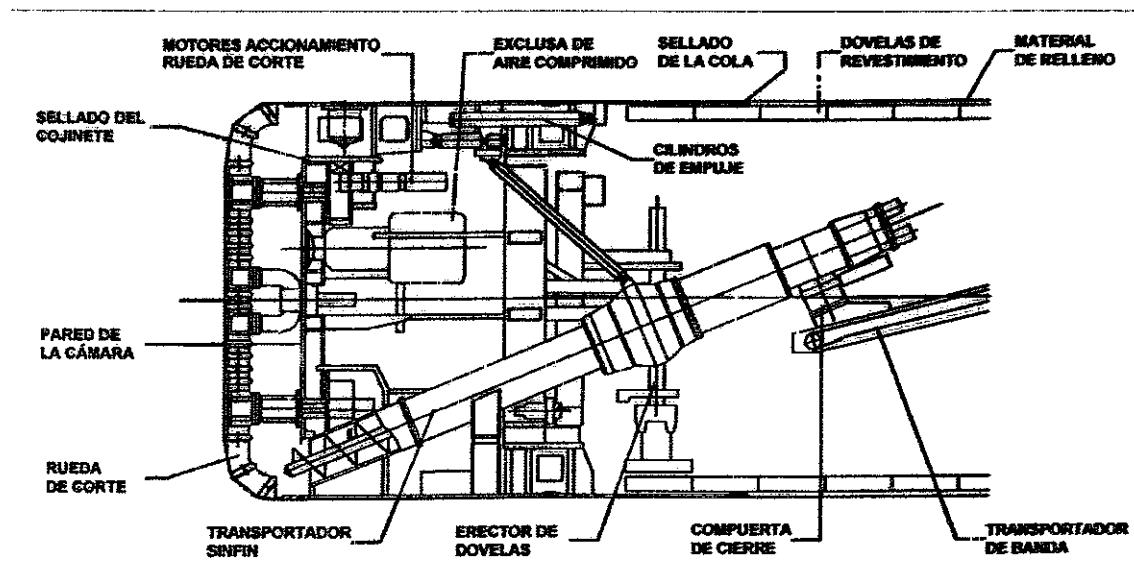
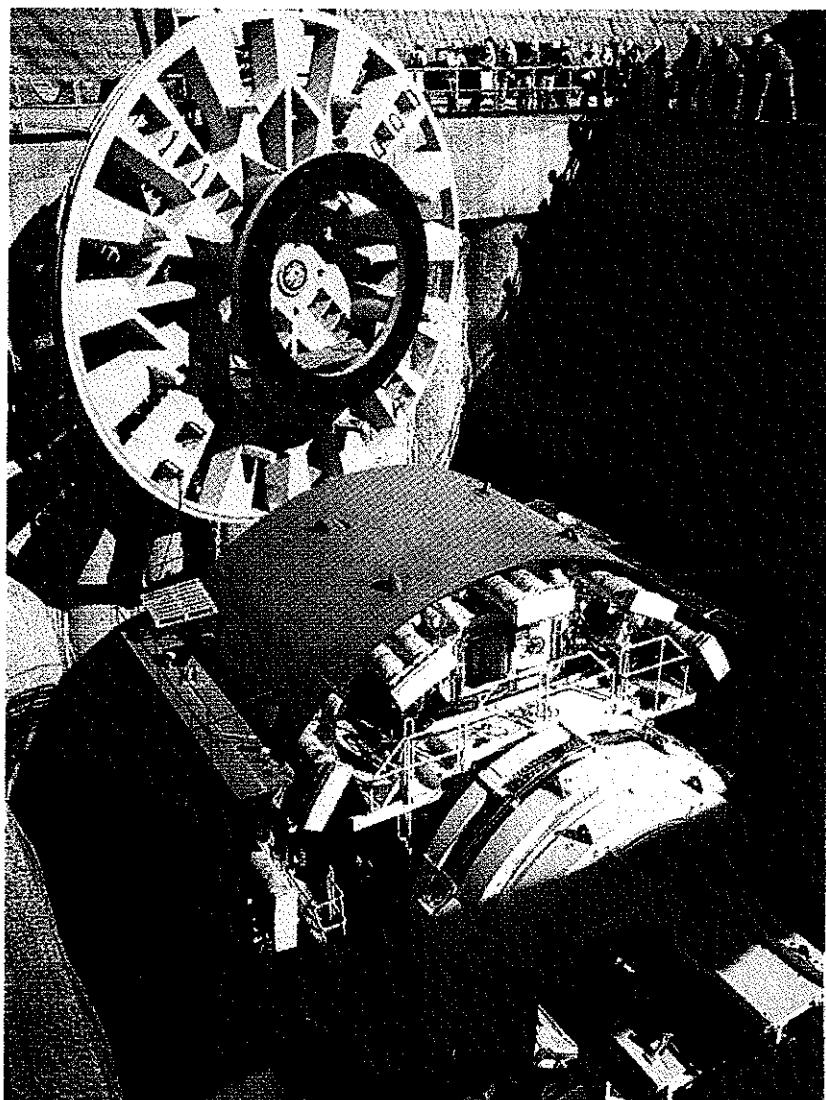


FIG. 25



**FIG. 26**

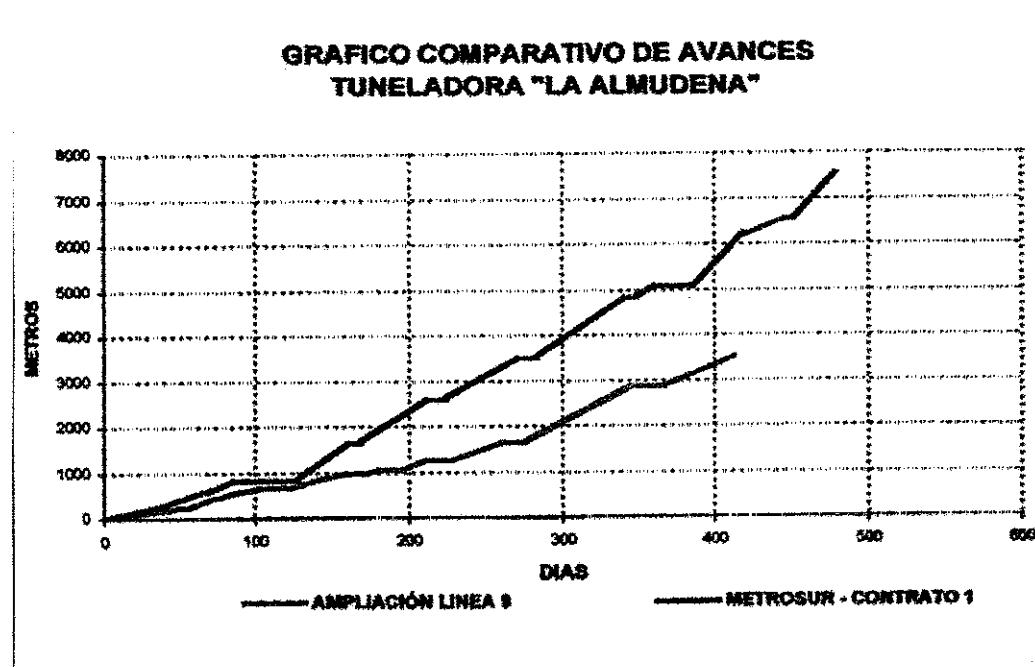


FIG. 27



FIG. 28