LA AMPLIACIÓN DEL METRO DE MADRID

La ampliación del Metro de Madrid se orienta a consolidar su utilización como modo básico de comunicación interior de la ciudad, y como receptor y distribuidor de los viajes generados en la periferia.

Desde el año 1989 la Comunidad de Madrid está realizando las obras de cierre de la Línea 6 y la prolongación de la Línea 1 del Metro. En conjunto los trabajos en marcha van a suponer un aumento de 9 Km. y otras tantas estaciones en la red, así como 3 cocheras con una capacidad total de 41 trenes.

La dimensión y complejidad de este tipo de obras subterráneas, en un terreno tan heterogéneo y problemático como el de Madrid, en zonas de la ciudad densamente pobladas, conllevan interferencias con los servicios existentes así como con el tráfico rodado y peatonal, que és lo único que percibe el ciudadano durante el desarrollo de las mismas.

No obstante la obra: su magnitud, singularidad, equipos característicos, técnicas utilizadas, medios humanos, etc, permanece bajo tierra y pasa desapercibida, por lo que la Consejería de Transportes de la Comunidad de Madrid y la Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas, AETOS, han considerado conveniente dar a conocer los trabajos en ejecución, que suponen una experiencia en obras subterráneas que pueden ser de utilidad a la comunidad técnica nacional.

Coordinación: Jesús Trabada Guijarro, Manuel Arnáiz Ronda, Vicente Gago Llorente y José Manuel Serrano.

Producción: Franja Gráfica (Francisco Javier Melero)

Diseño: José Ma López Gary

Fotografías: Juan Carlos Melero

Fotomecánica: Espacio Fijo, S.A. **Encuadernación e Impresión** Grafitex

© Comunidad de Madrid. Consejería de Transportes.

Biblioteca virtual

Esta versión forma parte de la Biblioteca Virtual de la **Comunidad de Madrid** y las condiciones de su distribución y difusión se encuentran amparadas por el marco legal de la misma.

www.madrid.org/publicamadrid

LA AMPLIACIÓN DEL METRO DE MADRID

Comunidad de Madrid
Consejería de Transportes

AETOS

PRESENTACIÓN

La ampliación del Metro de Madrid constituye, sin lugar a dudas, el programa de inversiones más ambicioso acometido por la Comunidad de Madrid en la presente legislatura; se desarrollan con el mismo las líneas básicas de la política de transporte del Gobierno Regional: la impulsión de las inversiones en infraestructuras, con el fín de mejorar el funcionamiento eficaz y la competitividad de la región, la potenciación del transporte público para atender adecuadamente las necesidades de movilidad de los madrileños.

La Comunidad de Madrid apuesta en su Estrategia Regional de Transportes para el 2.001 por un sistema integrado de transportes en el que cada uno de los modos: metro, ferrocarril, autobuses y vehículo privado, desarrolle la función más adecuada a sus características; en este sentido, la red de Metro, por su elevada capacidad y por contar con infraestructura propia que le permite no verse afectado por la congestión del tráfico, constituye el modo básico de conexión interna en la ciudad y de distribución en la misma de los viajes metropolitanos: el modo de transporte "rey" en la ciudad.

La ampliación del Metro iniciada en estos años, necesaria para que pueda seguir desempeñando el papel principal que le corresponde en el sistema de transportes, se ha dirigido a completar y vertebrar la red con la prolongación de la línea 1 en Vallecas y la finalización de la línea 6 como línea circular, junto con las obras en la línea 10 para mejorar su conectividad, la remodelación de intercambiadores, etc. Estas actuaciones llevadas a cabo por la Comunidad de Madrid, con la colaboración de la Administración Central del Estado a través del Convenio de financiación suscrito, tendrán su continuidad en los próximos 8 años 1994-2001 tras la aprobación del Plan de ampliación de la red en más de 25 Km. para atender a los barrios más densamente poblados de la periferia de Madrid: en Hortaleza, Vicálvaro, Carabanchel Alto, Valdezarza, Peñagrande, etc.

En el proyecto y diseño de las nuevas líneas y estaciones se ha prestado especial atención a los aspectos funcionales para facilitar a los ciudadanos el acceso al Metro, localizando las estaciones lo más superficialmente posible y simplificando los recorridos para acceder a los andenes y los transbordos; también se ha tratado con especial cuidado la decoración y diseño de las estaciones con el fín de alcanzar los niveles de confort ambiental que demandan los viajeros. Todo ello con el fín de mejorar la calidad de los transportes públicos, para lograr que la ciudad funcione adecuadamente y sea más habitable y mejorar, en definitiva, la calidad de vida de los madrileños.

Julián Revenga Sánchez
Consejero de Transportes de la Comunidad de Madrid

Estas ponencias responden a lo reflejado en el primer párrafo de la solapa del libro donde textualmente se dice: *"La ampliación del Metro de Madrid se orienta a consolidar su utilización como modo básico de comunicación interior de la ciudad, receptor y distribuidor de los viajes generados en la periferia".*

Y esto es así desde la realidad de la cuantificación de la movilidad en medios mecanizados que, dentro del ámbito madrileño, se distribuye en un 60% en transporte colectivo y en un 40% en coche privado. En particular dentro del transporte colectivo, el Metro, en viajeros x km, supera en un 28% a la EMT, circunstancia que alivia nuestro viario.

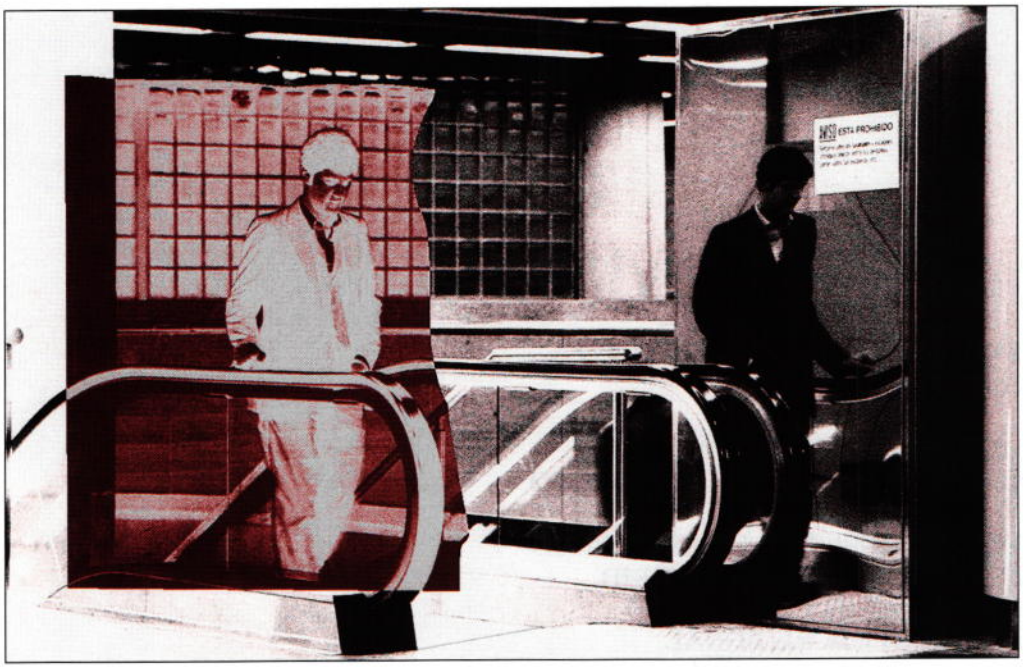
Esta realidad, contemplada con gran sensibilidad desde el Gobierno de la Comunidad y desde su Consejería de Transportes, ha hecho realidad las obras de ampliación de la Línea 1 y de la 6, así como el que se haya recogido en la "Estrategia de Transportes 2001" elaborada por la propia Consejería, el objetivo de llevar el Metro a los barrios de Hortaleza, Carabanchel, Vicálvaro y Peñagrande.

De esta política participa y se alimenta el Consorcio Regional de Transportes, organismo autónomo de la Comunidad Autónoma de Madrid de quien depende la planificación de la oferta de transporte.

Así pues, desde la convicción de que la calidad de vida de todos los ciudadanos depende de las soluciones que se den al problema de la movilidad, el Consorcio Regional de Transportes resalta la sensibilidad del Gobierno de la Comunidad para atender las demandas sociales, acometiendo las obras necesarias que permitan mejorar la oferta de transporte para todos los madrileños.

Fidel Angulo Santalla
Gerente del Consorcio Regional de Transportes

RED DEL METRO CON CORRESPONDENCIAS (1993)



EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS EN EL TRANSPORTE DE MADRID

EMILIO MIRALLES CLAVER
Viceconsejero de Transportes de la Comunidad de Madrid

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. TENDENCIAS DE LA MOVILIDAD EN LA REGIÓN MADRILEÑA

3. EL CONSORCIO REGIONAL DE TRANSPORTES DE MADRID PÚBLICO

4. EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA COMUNIDAD DE MADRID

5. LA ESTRATEGIA REGIONAL DE TRANSPORTES PARA EL 2001

1. INTRODUCCIÓN

El transporte constituye un elemento clave, en la Comunidad de Madrid, por cuanto condiciona el funcionamiento eficaz de la región y el bienestar de sus habitantes. La complejidad funcional de una región metropolitana, como la de Madrid, se manifiesta en la estructura de los flujos de personas y de mercancías que discurren y se canalizan por su red de transportes; la eficiencia de la región como sistema productivo y la calidad de vida de sus habitantes **dependen del sistema de transporte** que, conectando unas áreas con otras, atienda en condiciones adecuadas, de tiempo y coste, sus necesidades de movilidad.

La Comunidad de Madrid **forma parte del grupo de grandes regiones urbanas europeas**, a las que está ligada por intensas relaciones económicas y funcionales; además, **ocupa una posición en el ámbito nacional**, como centro de la Administración del Estado, capital financiera y principal centro de servicios de la nación. Sus comunicaciones externas, la articulación del territorio metropolitano y el adecuado funcionamiento de su sistema de transportes, son elementos decisivos para **mantener la posición que ocupa y desempeñar con eficiencia las funciones que le corresponden.**

Desde la Comunidad de Madrid, y con el fin de impulsar la coordinación efectiva de las distintas administraciones en el esfuerzo común de dotar a la región de una base infraestructural potente y desarrollar un sistema de transportes con los niveles de calidad que requieren los ciudadanos, se ha elaborado el documento de **Estrategia Regional de Transportes para el 2001** que define las necesidades y los problemas del sistema de transportes de Madrid y desarrolla una serie de **propuestas de actuación con el año horizonte del 2001 para su concertación con otras administraciones**.

A continuación se analizan las **tendencias de movilidad observadas en la región madrileña** en los últimos años, derivadas del modelo metropolitano desarrollado de localización de las actividades y la población en el territorio; posteriormente se analizará la **evolución del sistema de transporte público**, su oferta y demanda, desde la creación del Consorcio Regional de Transportes y finalmente se describirán las líneas básicas, los objetivos y criterios de actuación, las principales propuestas y la política de concertación que se propone en la **Estrategia Regional de Transportes para el 2001**.

2. TENDENCIAS DE LA MOVILIDAD EN LA REGIÓN MADRILEÑA

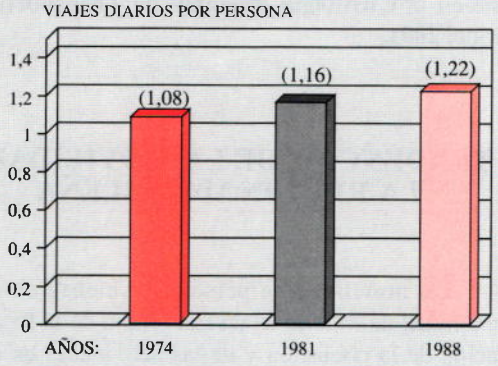
La movilidad de personas y bienes en la Comunidad de Madrid es un fiel reflejo de la localización de la población y de las actividades en el territorio así como de la estructura de los usos del suelo. **Diariamente se producen en la metrópoli madrileña 11,1 millones de desplazamientos** de los cuales más de la mitad, 5,8 millones, se realizan en medios motorizados: coche o transportes colectivos. **Cada día los madrileños invierten 4 millones de horas en sus desplazamientos** por motivos de trabajo, estudios, compras u ocio; los automovilistas recorren 26 millones de kilómetros y los usuarios del transporte colectivo casi otro tanto; diariamente 760.000 vehículos entran y salen de los límites del municipio de Madrid y 1.400.000 del área central.

Pero si estas cifras reflejan la importancia del transporte, no es menos importante el **fuerte incremento experimentado por la movilidad en la región metropolitana de Madrid en las dos últimas décadas**. Las tasas personales de movilidad en medios movilizados han pasado de 1,08 viajes diarios por persona en 1.974 a 1,16 en 1.981 y a 1,27 en 1.988, y todos los indicadores señalan que este crecimiento ha continuado, e incluso se ha acelerado, en los últimos años. Este aumento de la movilidad, que alcanza su mayor ritmo de crecimiento en el período 1.985-90, se explica en base a una serie de factores (figura 1):

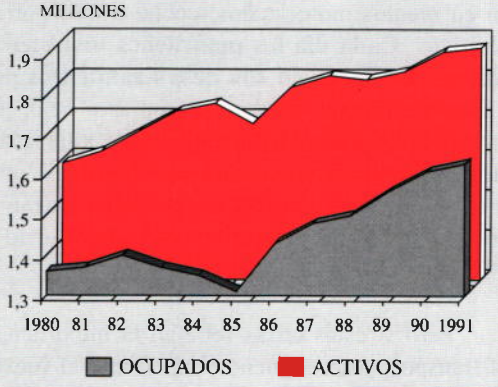
- Una **evolución favorable de la actividad económica** con crecimientos anuales del PIB superiores al 4% entre 1.985 y 1.990. En este período se produce un incremento de la población ocupada de 200.000 personas y también una incorporación importante de la mujer al mercado de trabajo,

1 • FACTORES QUE DETERMINAN EL CRECIMIENTO DE LA MOVILIDAD EN MEDIOS MOTORIZADOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID.

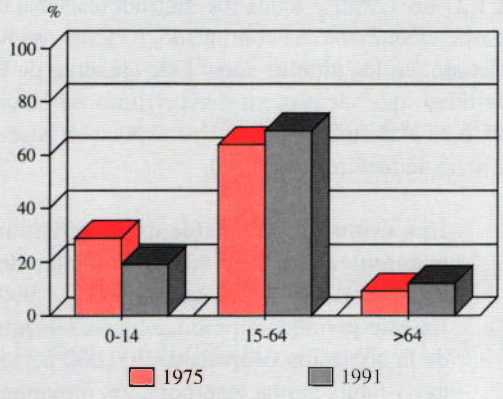
AUMENTO DE LAS TASAS PERSONALES DE MOVILIDAD



AUMENTO DE LA POBLACIÓN ACTIVA Y OCUPADA



VARIACIÓN DE LA ESTRUCTURA POBLACIONAL; AUMENTO DE LOS GRUPOS DE EDAD CON MAYOR ACTIVIDAD



pasando su tasa de actividad del 18,9 al 32,1 por ciento.

-Una **variación significativa de la estructura poblacional**; así, aunque la población total ha permanecido prácticamente estacionaria, se ha producido un incremento relativo del grupo de edad de 15 a 64 años, el que genera mayor movilidad en medios mecanizados, y un aumento del número de hogares junto a una disminución del tamaño de los mismos pasando de una media de 3,5 personas por familia en 1.981 a 2,97 en 1.991.

-La **profunda transformación del territorio metropolitano, caracterizada por la progresiva especialización funcional y segregación espacial de usos del suelo** con una fuerte concentración de empleos en la ciudad central (casi la mitad de todos los empleos metropolitanos se encuentran en el interior de la M-30, la llamada almendra central) y una segregación del uso residencial al cinturón metropolitano.

El crecimiento de la actividad económica, los cambios en la estructura de la población y la transformación del territorio metropolitano han producido pues cambios profundos en la movilidad. Particular interés tiene analizar cuál ha sido la **evolución de la localización de la población y el empleo** en el territorio metropolitano en las últimas décadas y qué consecuencias tiene en la movilidad regional y en cada uno de los ámbitos de la región: **Madrid,** la ciudad central, **la corona metropolitana**, con los grandes municipios que rodean a la capital, y **la corona regional**, con el resto de los pueblos de la región (figura 2).

La evolución de la población muestra cómo el proceso de descentralización sobre el territorio, característico de la formación del área metropolitana, ha proseguido en los últimos años; **el municipio de Madrid pierde población mientras que el resto de la región sigue creciendo.** Así, mientras en 1.975 un 75% de la población madrileña habitaba en la capital, porcentaje que era del 87% en 1.960, actualmente dicha proporción es sólo del 60%; el crecimiento demográfico en la región se ha concentrado en los municipios de la corona metropolitana aunque también han experimentado cierto crecimiento otros núcleos más alejados.

Analizando la localización de la población y el empleo por coronas, se aprecia cómo existe una fuerte concentración del empleo en el área central de la metrópoli, donde se localiza la actividad económica terciaria. Así, en el municipio de Madrid en el que reside en 60% de la población de la región se localiza el 75% de los empleos; y si consideramos sólo los distritos centrales de Madrid, la concentración de empleo es comparativamente mucho mayor, pues el **46,5% de los puestos de trabajo se concentran en la llamada "almendra central"** mientras que solamente un 23% de la población reside en dicha zona.

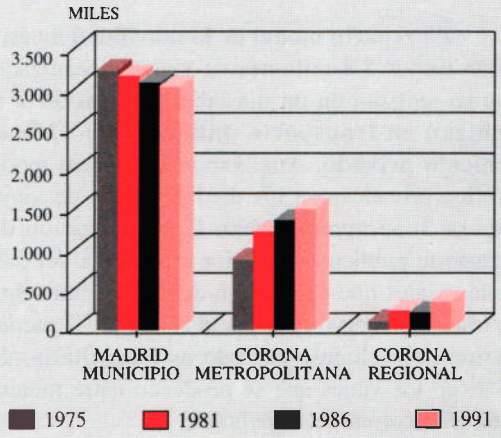
Los municipios de la corona metropolitana en torno a Madrid han experimentado el crecimiento demográfico más importante en los últimos años soportando así el efecto de la dispersión residencial de Madrid; actualmente, **son ya seis los municipios de la corona metropolitana con más de ciento cuarenta mil habitantes**: Móstoles, Leganés, Alcalá de Henares, Fuenlabrada, Getafe, y Alcorcón (ocho considerando los continuos urbanos de Alcobendas-San Sebastián de los Reyes y Coslada-San Fernando de Henares). Al localizarse además actividades económicas de empleo, servicios y ocio en la corona metropolitana el modelo centro/periferia se complejiza dando lugar a un sistema polinuclear con consecuencias evidentes en la movilidad.

El modelo de localización de la población y de las actividades en la región metropolitana madrileña caracterizado por la segregación espacial de los usos del suelo, como se ha visto anteriormente, con una fuerte concentración de empleos, básicamente del sector terciario, en los distritos centrales de Madrid y una localización del uso residencial en el cinturón metropolitano induce una **movilidad marcadamente radial**; y así, del total de los casi 5,8 millones de viajes mecanizados que se realizan diariamente en la metrópoli, cerca de un 58% tienen su origen o destino en los distritos centrales de Madrid, en la almendra central.

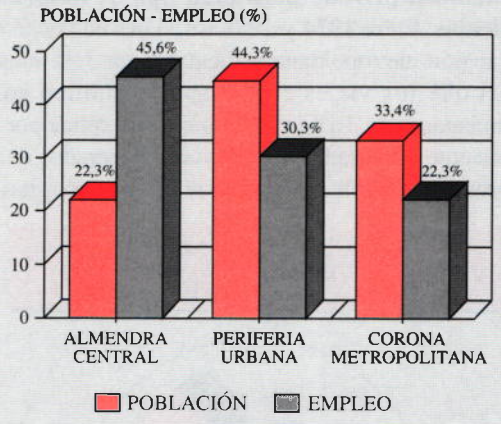
En los últimos años se ha apreciado una **intensificación de la radialidad de los desplazamientos en medios mecanizados**, especialmente significativa entre la corona metropolitana, y los distritos centrales de Madrid. El resultado de todo ello es la fuerte descompensación que presentan los flujos atraídos por la almendra central y los flu-

2 • EVOLUCIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN Y EL EMPLEO EN LA COMUNIDAD DE MADRID.

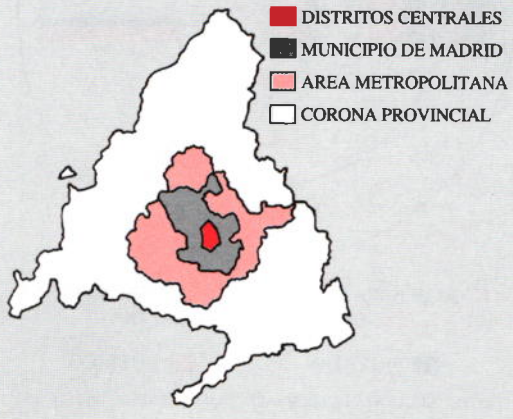
EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR CORONAS (1975-1991)



LOCALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN OCUPADA Y EL EMPLEO SEGÚN CORONAS (1987-1988)



ZONIFICACIÓN DE LA REGIÓN DE MADRID



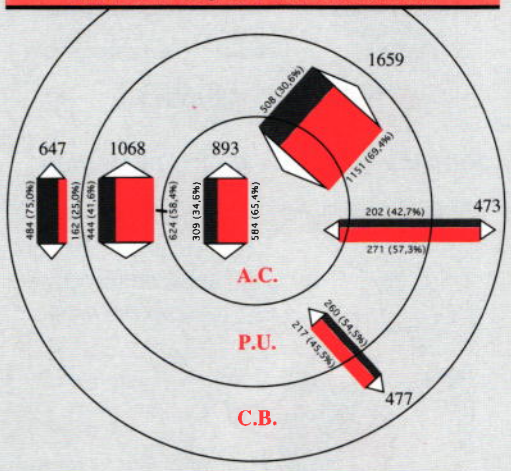
jos inversos, generados en la misma y que se dirigen al exterior, que están en la proporción de 4 a 1 en las horas punta. Este desequilibrio explica la **gravedad de los problemas de congestión de todas las infraestructuras radiales** en las horas punta y en el sentido de los flujos dominantes.

El reparto modal de la movilidad muestra cómo de los 5,8 millones de viajes mecanizados que se realizan en un día laborable, **un 58% se realizan en transporte público y un 42% en vehículo privado**. Analizando el reparto modal público-privado para los distintos tipos de viajes (figura 3) se aprecia cómo la participación del transporte público es superior a la media del 58% en los viajes que se realizan dentro del municipio de Madrid mientras que, por el contrario, la participación del vehículo privado es mayoritaria, del 75%, en los viajes que se producen entre municipios de la corona metropolitana.

La evolución del reparto modal en los últimos años refleja una creciente utilización del automóvil privado para todo tipo de desplazamientos. Entre 1974 y 1988 los viajes en coche en la región metropolitana aumentaron un 31% mientras que los viajes en transporte público sólo aumentaron un 16%; ello en parte se explica por la creciente importancia de los viajes generados en la corona metropolitana que se realizan mayoritariamente en vehículo privado, como se ha visto anteriormente, y que en 1981 representaban un 20% de la movilidad y en 1988 un 25% viajes (figura 4).

Pero más significativo es el **aumento notable que ha experimentado la motorización en la Comunidad de Madrid en los últimos años**: la matriculación anual de turismos se ha duplicado en diez años y el parque de vehículos en la Comunidad de Madrid no ha dejado de crecer a razón de casi 100.000 coches cada año por lo que actualmente **el número de vehículos de turismo en la región supera los 2 millones** (figura 5). También es significativo resaltar cómo se ha reducido el

3 • DISTRIBUCIÓN MODAL PÚBLICO-PRIVADA DE LOS VIAJES POR CORONAS.



A.C. -ALMENDRA CENTRAL. P.U. -PERIFERIA URBANA
C.B. -CORONA B METROPOLITANA

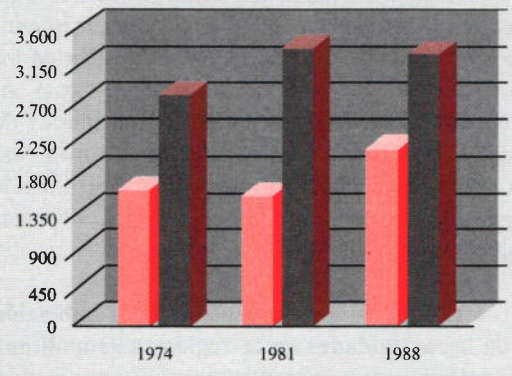
PRIVADO PÚBLICO

FUENTE: "ENCUESTA DOMICILIARIA DE MOVILIDAD" 1989 C.R.T.M.

4 • EVOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN MODAL Y LA GENERACIÓN DE VIAJES.

EVOLUCIÓN DE LA MOVILIDAD EN TRANSPORTE COLECTIVO Y VEHÍCULO PRIVADO EN LA REGIÓN DE MADRID

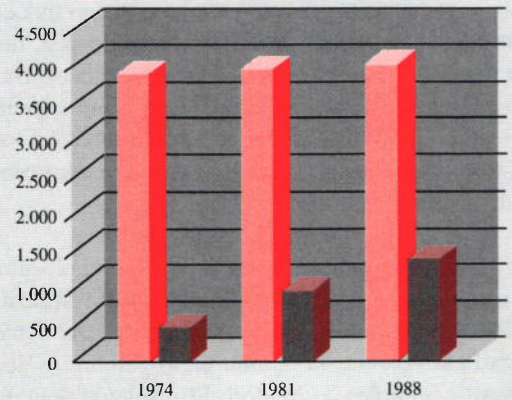
MILES DE VIAJES / DÍA



VEHÍCULO PRIVADO TRANSPORTE PÚBLICO

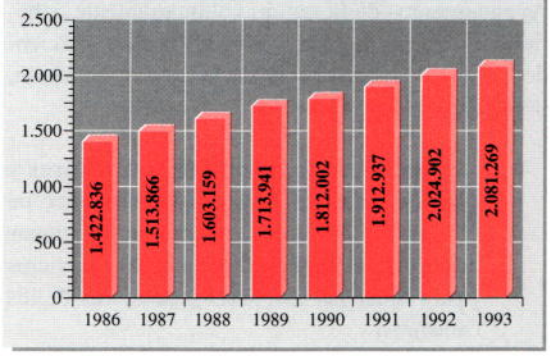
GENERACIÓN DE VIAJES EN EL AREA METROPOLITANA

MILES DE VIAJES / DÍA



MUNICIPIO DE MADRID CORONA METROPOLITANA

5 · EVOLUCIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS DE TURISMO EN LA COMUNIDAD DE MADRID.



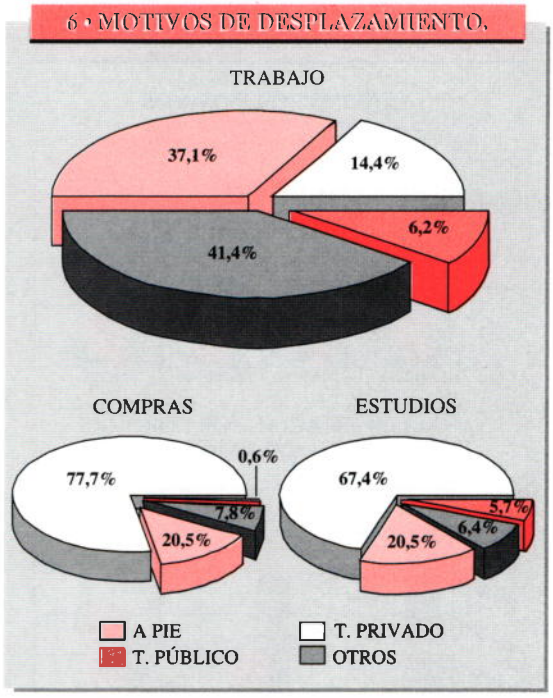
porcentaje de familias sin coche casi en un 50% y se ha multiplicado por tres el porcentaje de familias con 2 ó más coches, que ha pasado del 3,5% al 11%.

Las tendencias observadas muestran cómo **la motorización en la Comunidad de Madrid continuará aumentando a medio plazo**. De un lado porque el índice de motorización de 409 coches por 1.000 habitantes, aunque superior a la media nacional, dista de alcanzar los niveles de otras ciudades europeas; de otro lado porque **el aumento de la renta y la suburbanización** derivada de la creciente localización de la población y de las actividades productivas de la periferia metropolitana **apoyan dicha tendencia de crecimiento de la motorización**.

No hay que olvidar sin embargo, la **importancia de la movilidad peatonal ya que casi la mitad de los desplazamientos se realizan a pie** (el 48%); se trata de viajes generalmente más cortos, que en muchos casos se realizan sin salir del barrio en que se reside, pero cuya importancia frecuentemente se olvida. La movilidad peatonal es más importante en determinados tipos de viajes, los desplazamientos por motivo compras, (178% a pie) o estudios (67% a pie) que se realizan en su mayor parte en el entorno del lugar de residencia; en los viajes de trabajo la movilidad peatonal representa un porcentaje menor (14%) y es donde la participación del vehículo privado es mayor, incluso superior a la del transporte público (figura 6).

El aumento de la movilidad metropolitana se expresa no solamente en mayor número de viajes por persona sino también en una mayor longitud y duración de los mismos y en

6 · MOTIVOS DE DESPLAZAMIENTO.

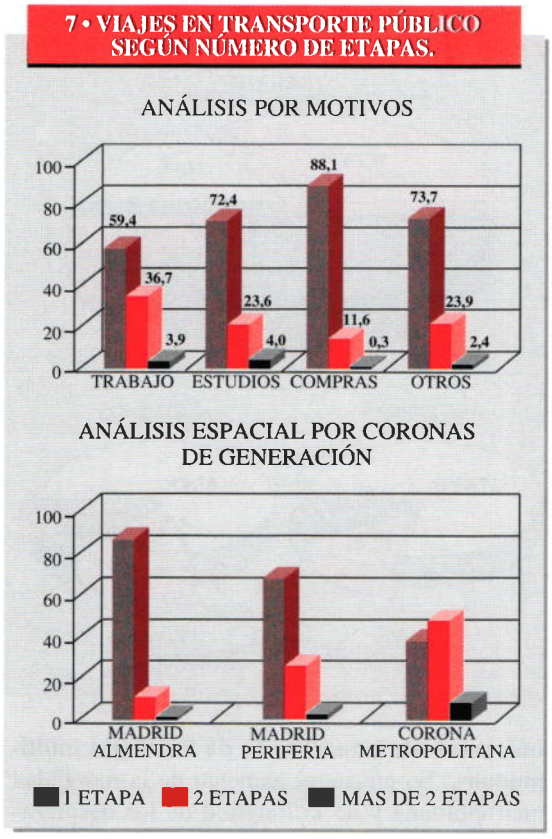


una creciente importancia de los viajes multimodales. En efecto, el aumento de la movilidad metropolitana y de la longitud de los desplazamientos produce un aumento del número de viajes con más de una etapa, en los que se utilizan varios modos de transporte o varias líneas diferentes y que precisan de la realización de transbordos o correspondencias; de acuerdo con la última encuesta domiciliaria realizada en Madrid **uno de cada seis viajes realizados en medios mecanizados se realizan con dos ó más etapas**.

Esta importancia de los **viajes con transbordo** es más significativa en determinados tipos de desplazamientos: en los **viajes en transporte público** ya que al tener las líneas unos recorridos fijos para muchos itinerarios es necesario realizar más de una etapa; en los **viajes de movilidad obligada**, en particular en los viajes al trabajo, que en un porcentaje importante, más del 40%, se realizan con 2 ó más etapas; y por último en los **viajes más largos**, los que se generan en la corona metropolitana, que en su mayor parte, el 60%, precisan de la utilización de más de un modo de transporte, y casi el 10% precisan de 3 ó más etapas (figura 7).

Por otra parte, tampoco en todos los modos de transporte tienen una presencia similar los viajes multimodales, y así **los modos ferroviarios**

7 • VIAJES EN TRANSPORTE PÚBLICO SEGÚN NÚMERO DE ETAPAS.



son los que precisan, en mayor medida, de otros medios complementarios. En efecto, 3 de cada 4 viajes realizados en el ferrocarril de cercanías son multimodales e incluso un 20 por ciento constan de 3 ó más etapas; igualmente, más de la mitad de los viajes en Metro son multimodales. **Esta creciente importancia de los viajes multimodales, que todavía aumentará en un futuro, explica la necesidad e interés de impulsar las medidas de coordinación en los transportes públicos, objetivo último que orientó la creación del Consorcio Regional de Transportes de Madrid**.

3. EL CONSORCIO REGIONAL DE TRANSPORTES Y EL NUEVO MARCO DE COORDINACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO

El Consorcio Regional de Transporte de Madrid se creó en 1985, siguiendo el modelo establecido en casi todas las grandes ciudades europeas, como Organismo Autónomo de la Comunidad de Madrid para asumir y coordinar las competencias sobre transporte público regular de viajeros de la Comunidad de Madrid y de los Ayuntamientos de la región voluntariamente adheridos al mismo. En estos años ha venido ejerciendo, tal como se establecía en la Ley de Creación, las siguientes **funciones**:

-la **planificación de las infraestructuras y de los servicios de transporte** público de viajeros y el establecimiento de programas de explotación coordinada de los servicios para todas las empresas prestadoras de los mismos;

-el **establecimiento de un sistema tarifario integrado** para el conjunto del sistema, creando títulos válidos para las distintas empresas, y la realización de las compensaciones que proceden entre las mismas como consecuencia de los títulos tarifarios combinados que se establezcan;

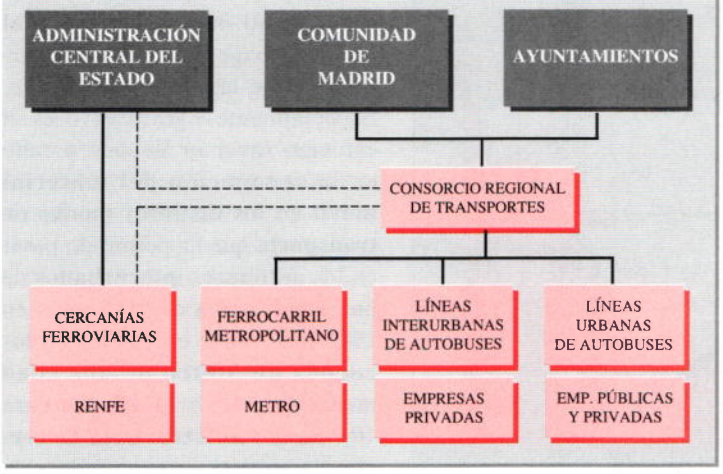
-la **concesión de servicios regulares de transporte** en el marco de sus competencias, la inspección y sanción a las empresas operadoras de todo tipo, y la superior **dirección y control de las empresas públicas** dependientes del Consorcio;

-la **creación de una imagen integrada del sistema de transporte**, canalizando a través del Consorcio la publicidad, la información y las relaciones con los usuarios.

El Consorcio de Transportes se configuró como un Consorcio de Administraciones (la Comunidad de Madrid y los Ayuntamientos adheridos) que ceden sus competencias al organismo para lograr una coordinación efectiva de las mismas; las relaciones del Consorcio con la Administración Central del Estado se articula mediante contratos-programa. En su **Consejo de Administración** se encuentran representadas las Administraciones consorciadas: la Comunidad, el Ayuntamiento de Madrid y otros Ayuntamientos de la región adheridos al mismo; así como la Administración del Estado, los Sindicatos, las Asociaciones Empresariales y las Asociaciones de Consumidores y Usuarios.

Las empresas de transporte, se integran en el Consorcio en la medida en que la Administración

8 • ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN MADRID.



titular del servicio que prestan se adhiere al organismo; se respeta la personalidad jurídica y la **autonomía de gestión de las empresas públicas y privadas de transporte**, sometidas éstas a las directrices y regulaciones establecidas por el Consorcio en lo referente al servicio de transporte prestado. En el caso de **RENFE**, el ser una empresa dependiente de la Administración Central del Estado no integrada en el Consorcio, las relaciones se articulan mediante convenios o acuerdos que definen las condiciones de coordinación en los aspectos tarifarios y de servicios con el resto de los modos de transporte.

La creación del Consorcio Regional de Transportes permitió establecer un **nuevo marco de organización del sistema de transporte público para desarrollar una auténtica política de coordinación de los transportes en la Comunidad de Madrid** (figura 8).

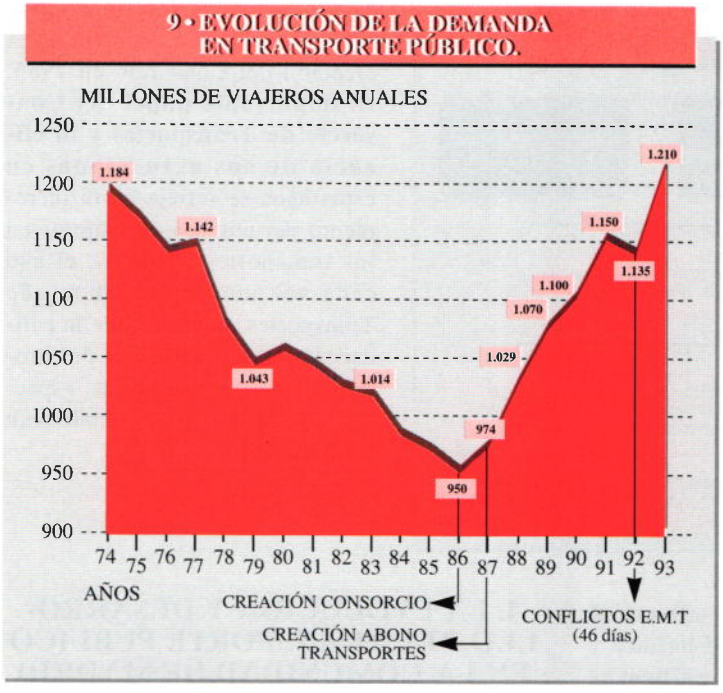
El Consorcio de Transportes está dotado con la autoridad, representatividad y capacidad técnica necesarias para ejercer en el terreno de los transportes públicos de viajeros las funciones antes mencionadas de planificación, ordenación, coordinación y control del sistema de transportes, articulando la cooperación y participación de las distintas instituciones.

La **evolución de los transportes públicos en Madrid**, analizada a través de distintos indicadores, muestra la eficacia del nuevo marco de coordinación de los transportes que se estableció a partir de la creación del Consorcio en 1985. **El importante papel del Consorcio de Transportes y la eficacia de sus actuaciones** en estos años se refleja en el incremento del número de viajeros en los transportes públicos, el uso cada vez mayor del Abono de Transportes, la mejora de la calidad de los servicios y el desarrollo de las infraestructuras, aspectos todos ellos, que se analizan a continuación.

4. LA EVOLUCIÓN Y DESARROLLO DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA COMUNIDAD DE MADRID

El número de viajeros en los transportes públicos se ha incrementado de una manera continuada a partir de 1986, coincidiendo con la creación del Consorcio de Transportes, invirtiéndose la tendencia decreciente en la utilización de los transportes públicos que se venía observando anteriormente desde principios de la década de los 70 y que situó la demanda en 1986 en 950 millones de viajeros. A partir de dicho año **se han incrementado en más de 250 millones del número de viajeros anuales** estimándose para 1993 una **cifra récord de 1.210 millones de viajeros transportados en el conjunto del sistema de transportes**: Metro, EMT, Cercanías RENFE y líneas interurbanas de autobuses, con tendencia a continuar este crecimiento en los próximos años (figura 9).

Analizando la **evolución de la demanda por modos de transporte** se aprecia cómo los mayores incrementos se han producido en las redes interurbanas, servicios ferroviarios de cercanías de RENFE y servicios regulares de viajeros por carretera, con crecimientos medios anuales aproximadamente de 15% y del 6% respectivamente en los cinco últimos años; en el transporte urbano de Madrid (Metro + EMT) el crecimiento de la demanda ha sido menor, próximo al 3% medio anual en los cinco últimos años.



últimos años con la renovación de las flotas de autobuses y trenes, el aumento de las frecuencias y de la regularidad de los servicios, el incremento de la oferta, la modernización de las instalaciones, etc. Especialmente significativo es el esfuerzo inversor llevado a cabo en la **renovación del material móvil en los distintos modos de transporte** que ha permitido pasar en los **autobuses interurbanos** de una edad media de 10,6 años en 1985 a 5,7 años en 1993 y en los **coches de Metro** de una edad media de 21,5 a 11 años (figura 10). En la **red ferroviaria de cercanías** se está procediendo a la renovación total del parque móvil y su sustitución por vehículos más modernos, confortables y de mayor capacidad.

Este incremento de la demanda se explica en parte por el aumento generalizado de movilidad que se aprecia en la Comunidad de Madrid como consecuencia de la favorable coyuntura económica y del aumento de la actividad de los últimos años, como se ha mencionado anteriormente; pero es debido asimismo, a las **mejoras introducidas por el Consorcio de Transportes desde su creación** para la potenciación y promoción del transporte colectivo, relacionadas fundamentalmente con la mejora de los servicios y la integración tarifaria, como vamos a ver.

La calidad de los servicios de transporte público se ha mejorado notablemente en los

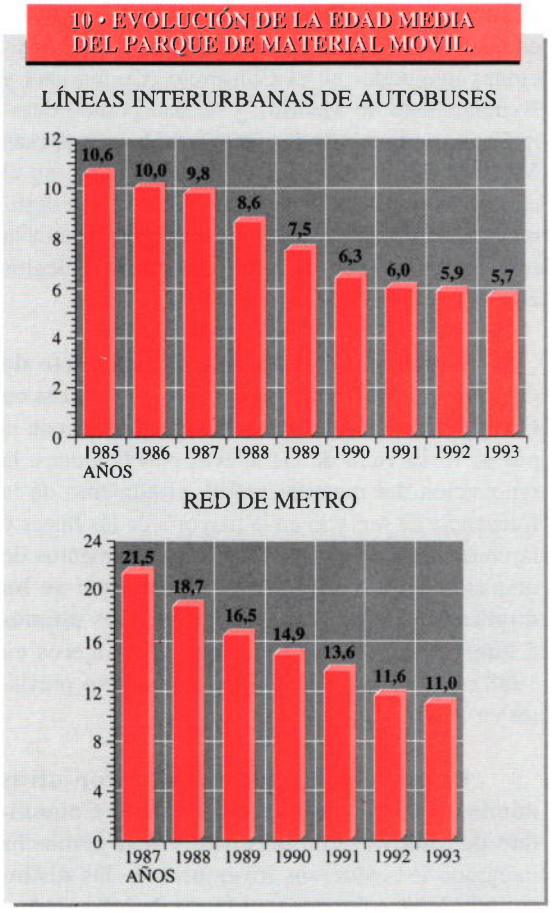
Se ha abordado la **construcción de infraestructuras para la extensión de las redes**, especialmente significativa en las **cercanías de RENFE** con la construcción de los tramos de penetración de las líneas del sur en Atocha: Villaverde Alto-Méndez Alvaro-Atocha y Laguna-Embajadores-Atocha y el llamado Pasillo Verde Ferroviario Príncipe Pío-Atocha en construcción, así como las prolongaciones de las líneas C-1 a Tres Cantos, inaugurada en 1991, y C-4 al centro de Parla, iniciadas sus obras en 1993. Asimismo se ha puesto en marcha la **ampliación de la red de Metro** con la prolongación de la **línea 1** en el distrito de Vallecas, con tres nuevas estaciones, y la prolongación y finalización de la **línea 6**, como

EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA POR MODOS DE TRANSPORTE (Millones de viajes).

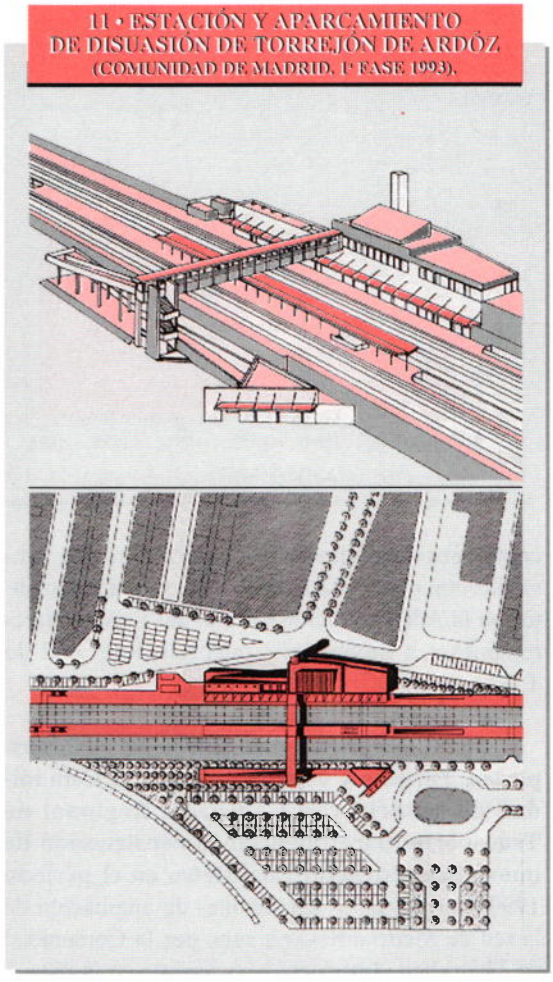
MODOS DE TRANSPORTE	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
METRO	329	344	371	395	416	401	413	391
EMT	441	445	456	455	434	481	428	501
(METRO + EMT)	770	789	827	850	850	882	841	892
CERCANÍAS RENFE	60	60	69	81	96	106	126	142
BUSES INTERURBANOS	120	125	133	139	154	162	168	176
TOTAL	**950**	**974**	**1.029**	**1.070**	**1.100**	**1.150**	**1.135**	**1.210**

Fuente: **Consorcio Regional de Transportes de Madrid**

10 • EVOLUCIÓN DE LA EDAD MEDIA DEL PARQUE DE MATERIAL MOVIL.



11 • ESTACIÓN Y APARCAMIENTO DE DISUASIÓN DE TORREJÓN DE ARDÓZ (COMUNIDAD DE MADRID, 1ª FASE 1993).



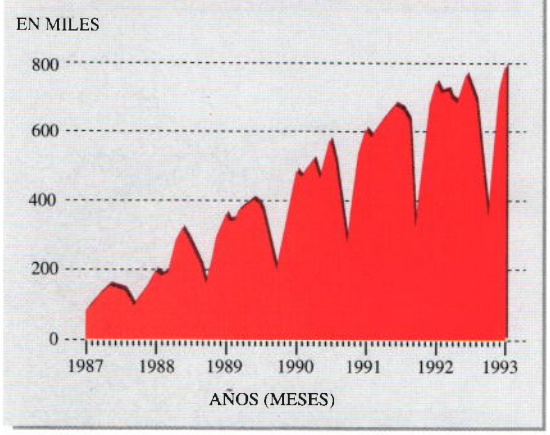
línea circular, con la apertura del tramo Laguna-Ciudad Universitaria con 6 nuevas estaciones, obras de las que se hablará repetidamente en estas jornadas y sobre las que, por esta razón, no nos extenderemos más.

La conectividad de las distintas redes se ha mejorado con la construcción de **intercambiadores metropolitanos ferrocarril-metro-autobuses** en Aluche y Atocha, y se han iniciado las obras de otros intercambiadores de la red de cercanías y las líneas interurbanas de autobuses con la red de Metro en Príncipe Pío, Recoletos, Nuevos Ministerios, Plaza de Castilla y Moncloa. Asimismo se han puesto en marcha **planes de modernización y renovación de estaciones** de metro y de la red ferroviaria de cercanías y se han construido **nuevas estaciones ferroviarias y aparcamientos disuasorios** para facilitar el acceso de los viajeros en vehículos privado a las estaciones (figura 11).

Finalmente, la **integración tarifaria realizada por el Consorcio de Transportes mediante la creación del Abono Transportes** ha constituido una medida de gran impacto social que ha supuesto una notable mejora para los usuarios habituales del transporte público; en estos años se ha incrementado el uso del Abono Transportes a niveles realmente importantes pues más de la mitad, el 53% de los viajes, se realiza con este título de transportes. En este mes de noviembre de 1993 ya **780.000 madrileños utilizan en sus desplazamientos el Abono Transportes** en sus distintas modalidades: Abono Mensual, Abono Joven, Abono Tercera Edad y Abono Anual, con tendencia a continuar creciendo su uso en los próximos años (figura 12).

El desarrollo del sistema de transportes en estos años ha exigido un notable esfuerzo de financiación tanto para la construcción de nuevas infraestructuras como para la prestación de los servicios de transporte público de viajeros. Para hacer frente a estas necesidades de financiación, **la Comunidad de Madrid ha impulsado una políti-**

12 · EVOLUCIÓN DE LAS VENTAS TOTALES DEL ABONO DE TRANSPORTE.



ca de concertación estableciendo acuerdos o convenios con otras administraciones, y principalmente con la Administración Central del Estado, directamente o a través del Consorcio Regional de Transportes.

El Convenio entre el Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones, la Comunidad de Madrid y el Consorcio Regional de Transportes para financiar la construcción de nueva infraestructura de Metro en el período 1990-94 recogía las actuaciones de ampliación de la red de Metro a llevar a cabo por la Comunidad de Madrid en el período, básicamente en la línea 1 y la línea 6, con una inversión total superior a los **50.000 millones de pesetas** y establecía una aportación de la Administración Central de 20.000 millones de pesetas para las obras de la línea 6.

El Contrato-Programa de la Administración Central del Estado (Mº de Hacienda) con el Consorcio Regional de Transportes de Madrid para la financiación de los servicios del transporte regular de viajeros en el período 1990-93, fijaba una aportación del Estado a razón de 20 pesetas por viajero transportado (Ptas. de 1990 revisables con el IPC) y establecía la obligación del Consorcio (Comunidad y Ayuntamiento de Madrid) de financiar los programas de inversiones de las empresas y atender la parte del déficit de explotación no cubierta con las aportaciones del Estado.

En cumplimiento del Contrato-Programa, las aportaciones de las Administraciones han alcanzado para el cuatrienio la cantidad de **213.000 M.Pts.** repartidos casi a partes iguales entre la Administración Central y las Administraciones integradas en el Consorcio (Comunidad y Ayuntamiento de Madrid); y se han podido desarrollar los **planes de inversión de las empresas Metro y EMT**, con más de 60.000 M.Pts. en el cuatrienio de los que más de la mitad se han destinado a la adquisición del material móvil para la renovación y ampliación de la flota de vehículos en el Metro y la EMT.

Finalmente, el **Plan de Transporte de Cercanías 1990-93 ha impulsado las mejoras en la red ferroviaria de cercanías de Madrid** con la puesta en servicio de las nuevas penetraciones, la renovación del material móvil, el aumento de la frecuencia de servicio en la mayoría de las líneas y la construcción de estaciones y aparcamientos de disuasión **con espléndidos resultados: se ha duplicado el número de viajeros en los últimos 5 años** pasado de 69,1 millones de viajeros en 1988 a los más de 140 millones de viajeros previstos en 1993.

El proceso de concertación con otras administraciones impulsado desde la Comunidad de Madrid se ha mostrado eficaz porque ha integrado los **esfuerzos inversores de las distintas administraciones en materia de infraestructuras**: carreteras y metro, y porque ha permitido mejorar la calidad y coordinación de los servicios de transporte garantizando un **marco de financiación, para los distintos medios y empresas operadoras**, en el marco del Consorcio Regional de Transportes. Para los próximos años se apuesta desde la Comunidad de Madrid por continuar esta línea en base a las propuestas definidas en la **Estrategia Regional de Transportes para el 2001**.

5. LA ESTRATEGIA REGIONAL DE TRANSPORTE PARA EL 2001

La Estrategia Regional de Transportes para el 2001 presentada por la Comunidad de Madrid en el presente ejercicio de 1993 tiene por objeto **impulsar el proceso de concertación** de la Comunidad de Madrid con otras administraciones, y con la Administración Central principalmente, **y servir de base para la renovación de los acuer-**

dos o Convenios cuyo período de vigencia termina precisamente en éste o en el próximo ejercicio: el Contrato-Programa con el Consorcio de Transportes, los Convenios de Carreteras y Metro y el Plan Ferroviario de Cercanías.

El documento de **Estrategia Regional de Transportes para el 2001** elaborado, tras describir el **marco territorial y económico** de la región y las **tendencias de la movilidad** que se observan, analiza los **problemas y necesidades del sistema de transportes** y, en base a una serie de **objetivos y criterios de actuación** coherentes con la política territorial y económica que se promueve desde el gobierno regional, establece la **estrategia de actuación** a desarrollar en los próximos años, con el horizonte 2001, formulando finalmente una **propuesta de concertación con otras Administraciones** para llevar a cabo las actuaciones propuestas.

La estrategia de transportes que se propone para la región de Madrid tiene como objetivos básicos **mejorar la eficacia e integración del territorio metropolitano y la calidad de vida de los madrileños**, garantizando un sistema de comunicaciones que atienda las necesidades de movilidad de los ciudadanos en condiciones adecuadas de cantidad y calidad, en el que cada modo de transporte desarrolle la función más adecuada a sus características, que sea coherente con el modelo territorial de desarrollo metropolitano, refuerce el papel principal de la región en el ámbito nacional e internacional y sea respetuoso con el medio ambiente.

Sentados estos principios básicos, los **objetivos generales que orientan la Estrategia de Transportes en la región para el años 2001**, son los siguientes:

-**Reforzar y potenciar el papel de la región madrileña** en el sistema europeo de grandes ciudades y como centro direccional a nivel nacional, mejorando la conectividad entre las principales terminales de transporte y entre los grandes ejes que canalizan los tráficos interregionales.

-**Apoyar la creación de un espacio regional integrado, mejorando la accesibilidad** a los grandes núcleos urbanos de la metrópoli y a las actividades económicas y residenciales descentralizadoras y contribuyendo de esta manera a la recuperación económica de la región y a la integración y vertebración del territorio.

-**Desarrollar un sistema integrado de transportes en un marco de complementariedad y coordinación** entre los distintos modos de transporte, en el que cada uno de ellos: ferrocarril, metro y autobús, desempeñe el papel para el que resulte más adecuado.

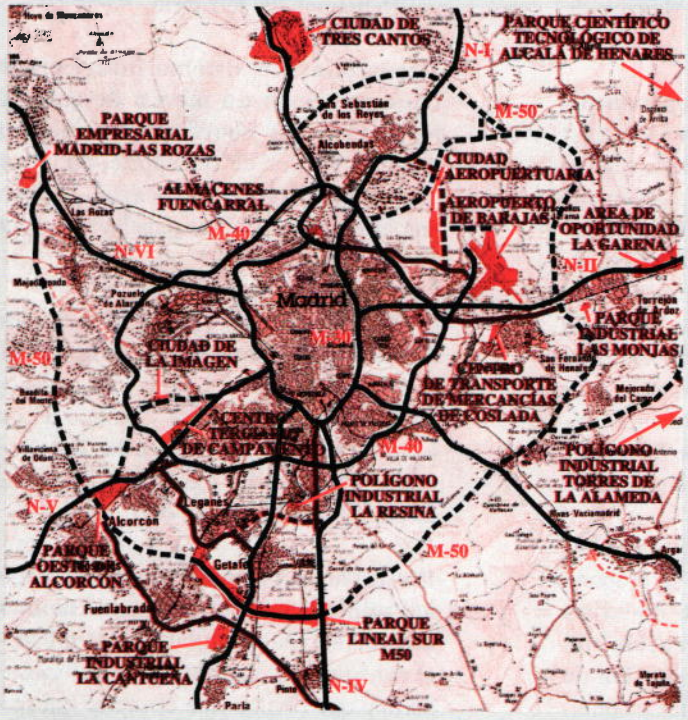
-**Mejorar la calidad de vida en la región, atendiendo las necesidades de movilidad de sus habitantes** en condiciones adecuadas de capacidad, calidad y tiempo de viaje, ampliando la cobertura de las redes y la oferta de servicios y mejorando los niveles de confort, información, etc.

-**Preservar la calidad del espacio regional minimizando los impactos ambientales** en el medio natural y en el urbano **y el consumo de energía** en los transportes; no hay que olvidar que el sector transportes es el principal consumidor de energía en la región, con el 42% del consumo total y que el transporte público consume de tres a cinco veces menos energía por persona transportada que el vehículo privado.

-**Lograr la máxima eficiencia en la utilización de los recursos económicos** dedicados a la construcción de infraestructuras, optimizando la gestión de las mismas, y a la prestación de los servicios de transporte.

Las **líneas básicas de la política de transportes** que se plantean en la Estrategia Regional son la **impulsión de los programas de inversiones en infraestructuras**, tanto en carreteras como en Metro y en la red ferroviaria regional, **con el fin de mejorar la base infraestructural de la región,** su funcionamiento y sus competitividad; y la **potenciación del transporte público**, como el medio más eficaz para canalizar los grandes flujos de viajeros en el área metropolitana, mejorando la calidad de los servicios y la coordinación de los distintos modos de transporte a través de la acción que lleva a cabo el **Consorcio Regional de Transportes**.

13 - EL DESARROLLO DE LA RED VIARIA METROPOLITANA EN APOYO DE LAS NUEVAS ACTUACIONES DESCENTRALIZADORAS.



Las infraestructuras de transporte tienen un papel prioritario en el proceso de modernización y desarrollo regional, tanto por su función canalizadora de desplazamientos como por su **carácter estructurante y articulador del territorio** y por su capacidad de reforzar, con la accesibilidad que proporcionan, la política de descentralización que se propone para el territorio regional contribuyendo así a configurar una **región más equilibrada e igualitaria**.

El desarrollo de la **red de carreteras** que se propone en el ámbito metropolitano tiene por objeto dotar a la región de una **red infraestructural de gran capacidad con el fin de apoyar los nuevos desarrollos descentralizadores** (figura 13). Destacan como actuaciones más importantes a llevar a cabo con el horizonte del 2001, el **nuevo distribuidor exterior, la M-50**, los nuevos ejes de carácter radial como **variantes a las carreteras nacionales** A-2, A-3, A-4 y A-5, junto a otras **vías de rango metropolitano** que completan la malla viaria en la región; para ello está previsto renovar el **Convenio de Carreteras entre el MOPTMA y la Comunidad de Madrid** para los próximos 8 años (1994-2001), incluyendo en el mismo las citadas actuaciones con una inversión total aproximada de **230 mil millones de pesetas** que abarca dos cuatrienios (145 mil M.Pts. a cargo del MOPTMA, 50 mil M.Pts. a cargo de la CAM y 35 mil M.Pts. de inversión extrapresupuestaria correspondiente a la Autopista de Guadalajara, prevista de peaje).

En el **ámbito regional**, la Comunidad de Madrid ha elaborado un **Plan Regional de Carreteras para el período 1994-2001**, estructurado en dos cuatrienios que da continuidad al actualmente vigente (1986-1993); en el mismo se establecen un conjunto de **programas de actuación**, con una inversión total a cargo de la CAM de **120 mil millones de pesetas** para los próximos 8 años, no sólo de construcción o ampliación de carreteras, nuevas variantes, etc., sino también, y con especial atención, de mejora de la seguridad vial, conservación y mantenimiento de las carreteras, acondicionamiento de firmes, tratamiento de los márgenes de las carreteras, etc. Se trata de que la **red de carreteras** llegando hasta el último pueblo de nuestra Comunidad, **contribuya eficazmente a integrar el espacio regional.**

Particular interés tiene la propuesta contenida en la Estrategia de Transportes de establecer **prioridades para el transporte público de superficie en las principales carreteras radiales de acceso a Madrid** en las que la congestión existente dificulta el funcionamiento de las líneas de transporte colectivo de superficie. Las actuaciones propuestas incluyen una **calzada BUS/VAO en la N-VI**, para uso exclusivo de

autobuses y vehículos de alta ocupación, **plataformas reservadas para autobuses** en la N-I, N-III, N-IV (Avda. de Andalucía) y M-421 (entre Leganés y Carabanchel), y **carriles-bus** en las restantes carreteras radiales y en todos los casos conectadas con los **Intercambiadores Bus-Metro** en los puntos de conexión con la red de Metro en Madrid (figura 14).

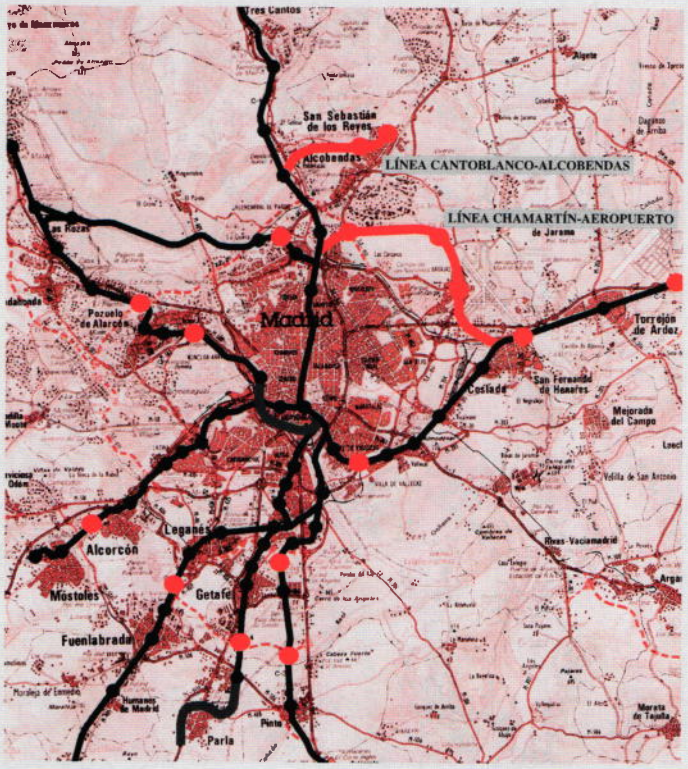
14 • INFRAESTRUCTURAS DE APOYO AL TRANSPORTE COLECTIVO DE SUPERFICIE.

En cuanto a la **red ferroviaria de cercanías**, las principales actuaciones que se proponen en la Estrategia Regional de Transportes para el 2001 incluyen la **ampliación de la red**, una vez finalizada la prolongación de la línea a Parla, con el ramal de acceso a **Alcobendas y San Sebastián de los Reyes** y la construcción de una línea pasante **al Aeropuerto de Barajas** desde Chamartín (figura 15) junto con una serie de **inversiones para aumentar la capacidad de la red y mejorar su funcionamiento** de señalización, electrificación y conducción automática, construcción de nuevas vías para uso exclusivo de cercanías y remodelación de las cabeceras de vías en Atocha y Chamartín.

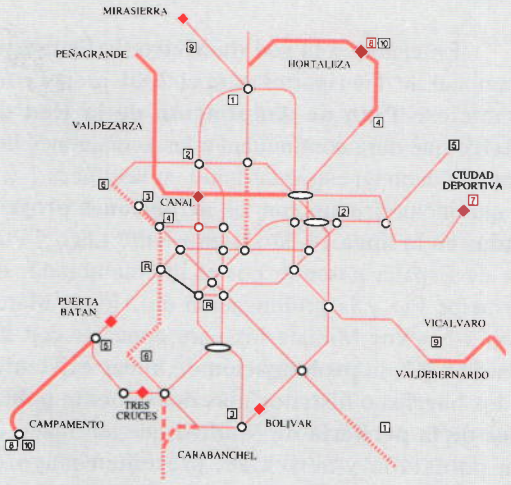
Las actuaciones en la red de cercanías en el horizonte del 2001 deberán incluir también la **remodelación o ampliación de intercambiadores** para mejorar la conectividad de la red en Nuevos Ministerios, Recoletos, Príncipe Pío, Méndez Alvaro, etc.; la **construcción de nuevas estaciones y de aparcamientos disuasorios**, y el traslado o remodelación de estaciones existentes, para aumentar la captación de viajeros en los nuevos desarrollos descentralizadores (Eje Sur Metropolitano y Corredor del Henares) y en la periferia de Madrid (Madrid Sur, Mirasierra, etc.); el **tratamiento del ferrocarril para su integración en los cascos urbanos** que atraviesa y la continuación del programa de **ampliación y renovación del parque de material móvil**. Todo ello se deberá recoger en un **Plan de Cercanías** que elaborará el MOPTMA con una inversión cercana a los **150.000 millones de pesetas** para los próximos 8 años, 1994-2001.

En cuanto a la **red de Metro**, la Estrategia Regional de Transportes para el 2001 propone un ambicioso **Plan de Ampliación de la Red de Metro** que dará continuidad a las actuaciones llevadas a cabo en este cuatrienio en las líneas 1 y 6 y que incluirá junto con las **actuaciones proyectadas en la línea 10**, la variante entre Lago y Plaza de España pasando por el intercambiador de Príncipe Pío y la prolongación de Alonso Martínez a Nuevos Ministerios para conectar con las líneas 8 y 7, la **prolongación de líneas existentes a los barrios o distritos más densamente poblados de la periferia de Madrid** que, en razón de su población y actividad, presenten mayores necesidades de movilidad: Hortaleza (líneas 4 y 8), Valdebernardo y Vicálvaro (línea 9), Valdezarza y Peñagrande (línea 7), Carabanchel (ramal de acceso), Campamento (línea 10), etc.

15 • RED FERROVIARIA REGIONAL
AMPLIACIÓN DE LA RED 1994-2001



16 • PLAN DE AMPLIACIÓN DEL METRO
1995 - 2001



El conjunto de todas estas prolongaciones de líneas, junto con las actuaciones complementarias de construcción de nuevas estaciones y mejora de los intercambiadores de transportes, configuran un ambicioso **Plan de Ampliación de la Red de Metro** que permitirá extender la red en el horizonte del 2001 en **más de 25 kms.**, con **35 nuevas estaciones** (figura 16). La inversión necesaria, superior a los **120.000 millones de pesetas**, precisa de las aportaciones de las demás administraciones y particularmente de la Administración Central con la que se negociará la **renovación del Convenio de financiación de la nueva infraestructura de Metro**.

La Estrategia Regional de Transportes para el 2001 presta una especial atención a las inversiones en los **intercambiadores de transporte** por cuanto constituyen los **elementos básicos de coordinación en un sistema integrado de transportes;** la construcción y mejora de los intercambiadores, simplificando y facilitando las correspondencias, con objeto de despenalizar los transbordos y reducir los tiempos de desplazamiento de los viajeros, constituye un objetivo prioritario de la Estrategia Regional de Transportes, por lo que se proponen una serie de **actuaciones en intercambiadores, ferrocarril-metro y autobús-metro, orientadas a mejorar la coordinación entre los diferentes modos de transporte** (figura 17).

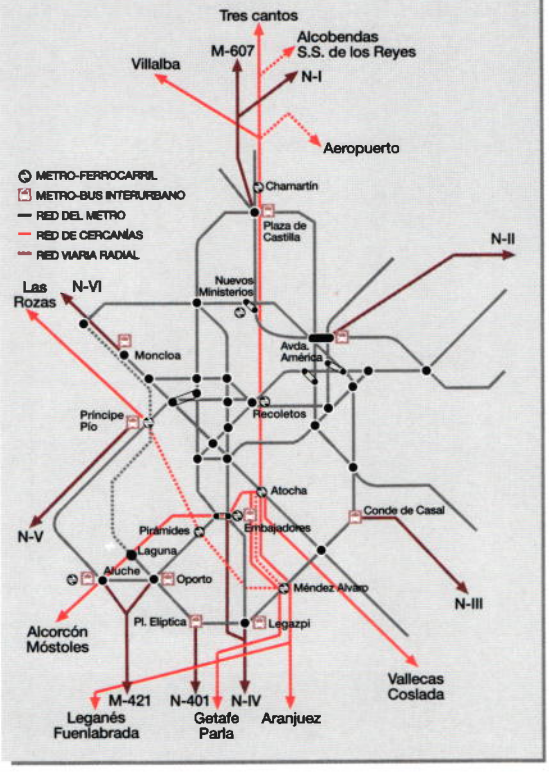
La **política de apoyo y potenciación del transporte público** para atender las necesidades de movilidad de los madrileños que se impulsa desde la Comunidad de Madrid a través de la acción del **Consorcio Regional de Transportes** exige un notable esfuerzo de financiación que debe ser compartido por toda las Administraciones. Para los próximos años se propone en la Estrategia Regional de Transportes para el 2001, la **renovación del Contrato-Programa** entre el Consorcio de Transportes y el Ministerio de Hacienda sobre una base de continuidad con el anterior aunque,

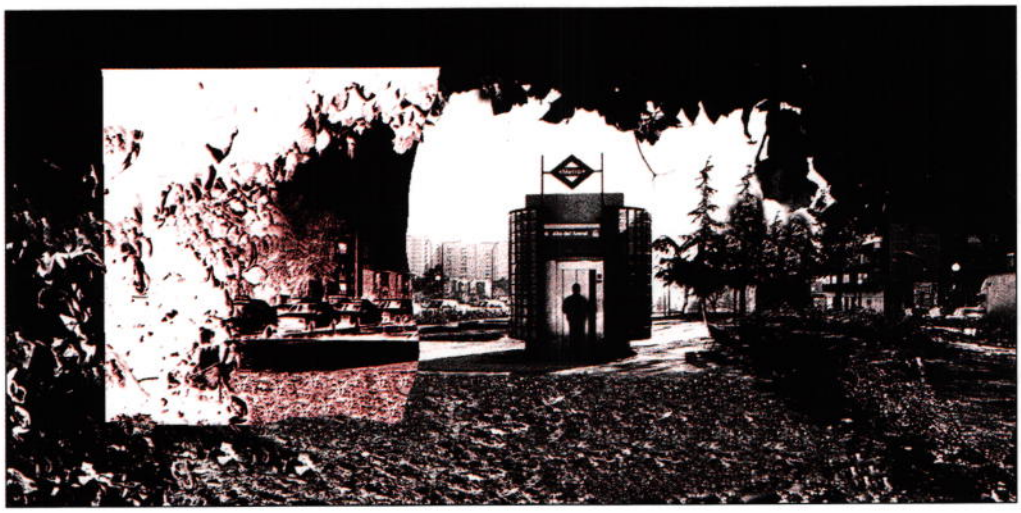
con una fórmula diferente que incluiría junto a una subvención por viajero transportado una aportación para la financiación de los programas de inversión de las empresas Metro y EMT de Madrid.

Los programas de inversiones en las empresas operadoras Metro y EMT que se proponen para el próximo cuatrienio 1994-1997, con una cuantía total cercana a los **70.000 millones de pesetas**, permitirán desarrollar los objetivos propuestos de mejora de calidad, aumento de la oferta de servicios y mantenimiento de la capacidad productiva de las empresas; más de la mitad de las inversiones se destinan a **renovar y ampliar el parque de material móvil**, coches de metro y autobuses, pero se incluyen también importantes programas de modernización y mejora de las estaciones, instalaciones y equipos, nuevas cocheras y talleres de metro y depósitos de autobuses, etc.

Las **líneas básicas de la política de transportes que se desarrolla en la Estrategia Regional de Transportes para el 2001** incluyen pues la **impulsión de los programas de inversiones en infraestructuras**: metro, ferrocarril y carreteras para dotar a la región de una sólida base infraestructural y la **potenciación del transporte público** para atender adecuadamente las necesidades de movilidad de los madrileños a través de la acción del Consorcio Regional de Transportes; todo ello con el fin de vertebrar e integrar el territorio regional, **mejorar su competitividad y desarrollo y, naturalmente, la calidad de vida de los madrileños**.

17 • INTERCAMBIADORES METROPOLITANOS.





EL FUTURO DEL METRO EN MADRID

VICENTE GAGO LLORENTE
Director General de Infraestructuras de Transporte de la Comunidad de Madrid.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. LA EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA Y DE LA CALIDAD DEL SERVICIO

3. LA FUNCIÓN DEL METRO EN EL SISTEMA METROPOLITANO DE TRANSPORTE

4. LA COMPARACIÓN CON OTRAS REDES METROPOLITANAS

5 LA APUESTA POR UN METRO MAYOR Y MEJOR

6. LOS OBJETIVOS DE LA AMPLIACIÓN: LA ESTRUCTURACIÓN DE LA RED

7. LA AMPLIACIÓN DE LA COBERTURA ESPACIAL

8. LA MEJORA DE LA CALIDAD TOTAL

1. INTRODUCCIÓN

El Metro de Madrid, con 112 km,cuenta con una red bastante eficiente. Consta de 10 líneas y 155 estaciones. Si se cuentan solamente como una aquellas estaciones que tienen correspondencia, serían 118. Las correspondencias posibles son 50. Si se diferencian ambos sentidos, serían 100. Resulta pues una media de 5 posibles correspondencias por línea y sentido, o, dicho de otro modo, una alternativa de trasbordo cada 3 estaciones, índices perfectamente comparables a los de la red de Metro de cualquier gran ciudad europea.

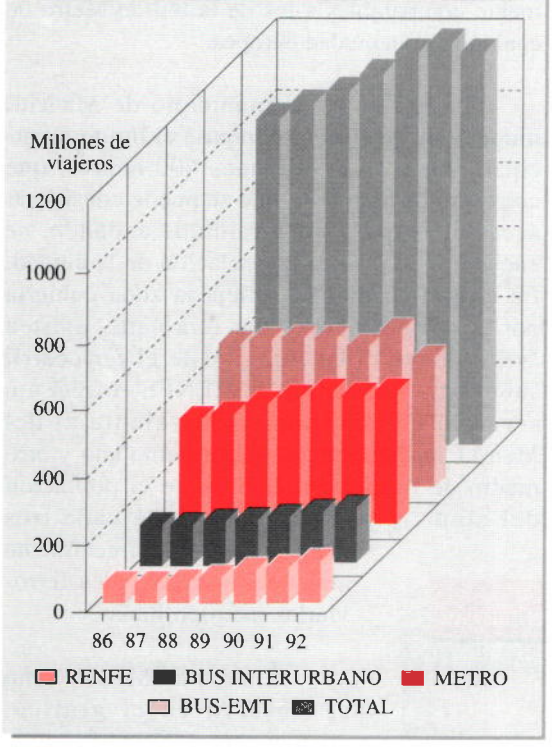
La red cubre el municipio de Madrid; ninguna de las líneas sobrepasa el límite municipal. En un radio de unos 600 metros, que corresponde al ámbito que se puede considerar accesible a pie, 7 ó 8 minutos andando, se encuentra el 58% de la población de la ciudad. En el gráfico nº 2 se refleja la zona cubierta por la red de Metro. Por otra parte, existen áreas, como Villaverde, donde el ferrocarril suburbano (cercanías de RENFE) ofrece un servicio de transporte equivalente al del Metro.Considerando conjuntamente uno y otro medio de transporte, el 65% de la población del municipio, es decir, dos de cada tres madrileños están directamente atendidos por las redes ferroviarias metropolitanas.

1 • RED DE METRO. COBERTURA EN EL MUNICIPIO DE MADRID.

AREA CUBIERTA POR ESTACIONES DE METRO
RED DE METRO EN CONSTRUCCIÓN
ZONAS SIN COBERTURA
AREA CUBIERTA POR ESTACIONES FERROVIARIAS

La red de Metro, como se observa en el gráfico, atiende especialmente al centro de la ciudad. El centro de Madrid, lo que los especialistas en transporte y urbanismo conocemos como "la almendra central", es decir, todo el espacio interior a la M-30, está perfectamente servido por el Metro, de manera que el Metro es accesible a pie para el 85% de la población que habita en esa zona. Este hecho adquiere especial relevancia, también, por la concentración de actividades, principalmente de servicios, que se produce en este área central y, como consecuencia, porque en ella se localizan la mitad de los empleos de la región metropolitana. Ese gran espacio especializado, con la concentración de destinos que corresponde a esta acusada acumulación de servicios y empleos, es pues perfectamente accesible desde la red de Metro.

2 • EVOLUCIÓN ANUAL DE LA DEMANDA DEL TRANSPORTE PÚBLICO.



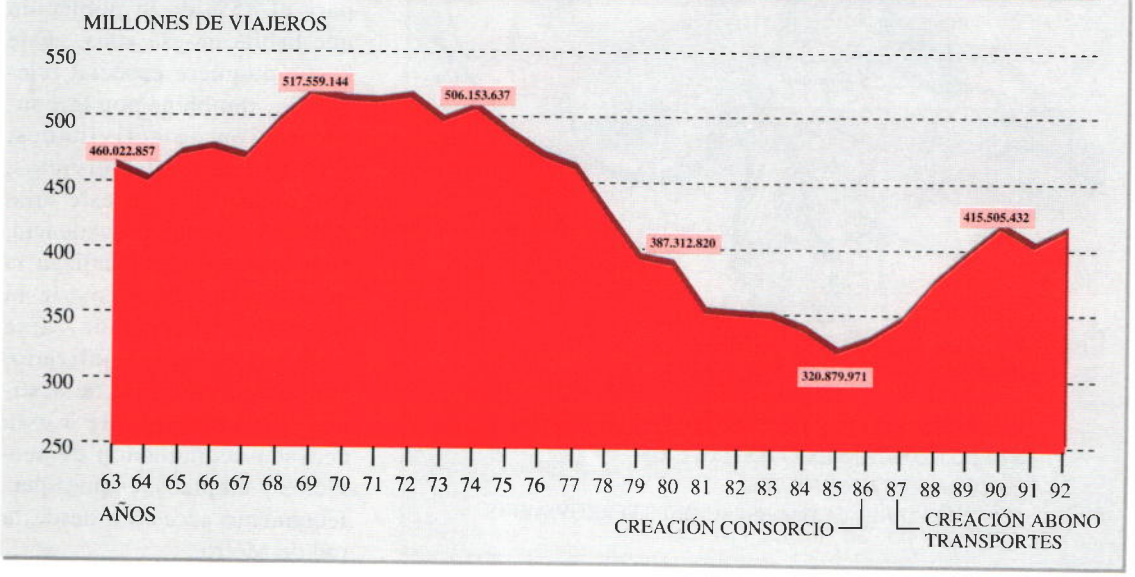
2. LA EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA Y DE LA CALIDAD DEL SERVICIO

En 1.992, la red de Metro atendió a 420 millones de viajeros. En un día laborable tipo viajaron en la red más de 1.500.000 viajeros. Es importante observar que, en los últimos años, la participación del Metro en la movilidad urbana, es decir dentro del municipio de Madrid, está aumentando progresivamente. La demanda del Metro (gráfico nº 3) va acercándose a la del autobús y, el año pasado, prácticamente fueron equivalentes los viajeros del Metro y de los autobuses de la EMT.

En el conjunto del ámbito metropolitano, el Metro atiende el 36% de los viajes; incluyendo también los viajes periféricos. Si se consideran sólo los que se desarrollan totalmente en Madrid, el Metro atiende al 45% del total.

El conjunto del sistema de transporte público sufrió un descenso continuado de demanda desde el comienzo de los años 70. Fue una época de crisis muy fuerte de la movilidad en transporte colectivo, motivada fundamentalmente por la expansión de la motorización de la población y la consiguiente tendencia al uso del automóvil para satisfacer las necesidades de desplazamiento, que se tradujo en la reducción paralela de la utilización del transporte público. Otros factores reforzaron esa tendencia, reduciendo la movilidad global, como la introducción masiva de la jornada conti-

3 • DEMANDA DEL METRO DE MADRID 1963 - 1992.

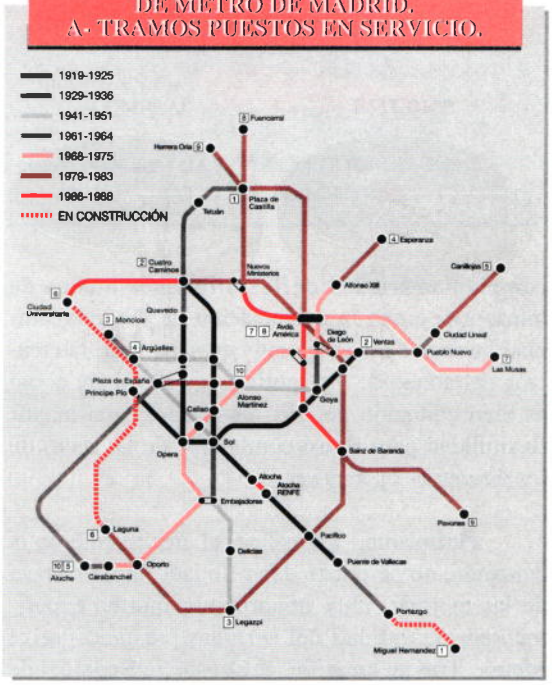


nuada en muchos puestos de trabajo o el desarrollo del hábito de la comida fuera de casa, en las proximidades del empleo.

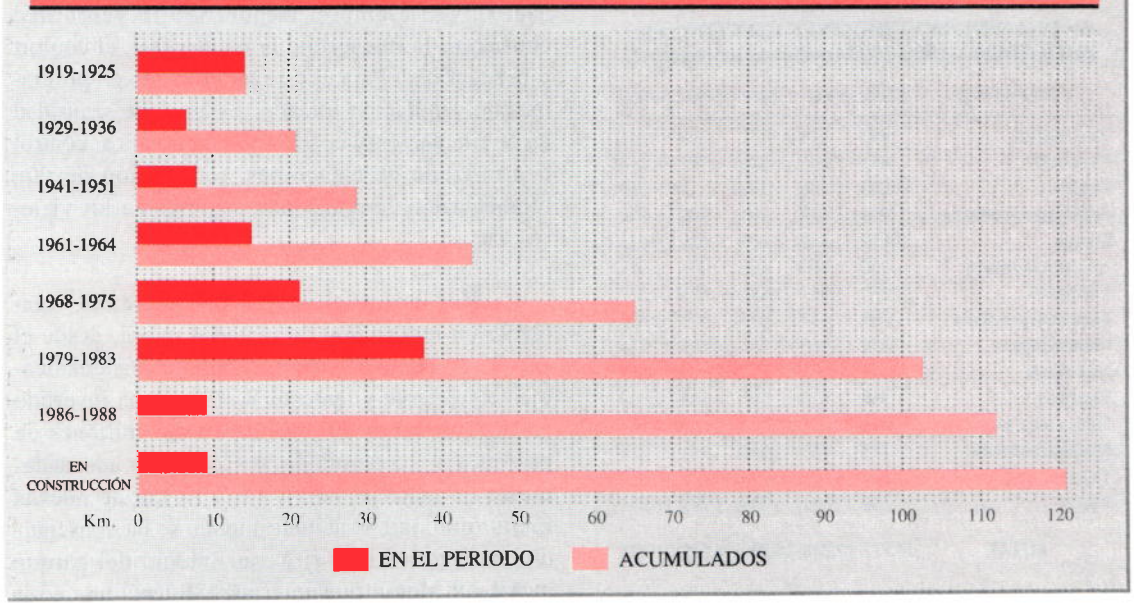
El Metro había alcanzado su máxima demanda en el año 69, con algo más de 500 millones de viajeros anuales, y llegó a un mínimo en 1.985, año en el que la demanda se había reducido a 320 millones (gráfico nº 4). Ese descenso se produjo a pesar de que durante esos años la red tuvo una considerable expansión, de 41 a 100 km. Sin embargo, a partir del año 85, se observa un sistemático crecimiento en número de viajeros, que se ha interrumpido en 1.992. Esta ruptura de la tendencia se espera que sea sólo temporal pues se debe, tanto a la situación de crisis económica, y a la consiguiente reducción de la movilidad, como a la incidencia desigual, puntual e imprevisible de los paros laborales en los distintos modos de transporte, que han sido importantes en estos últimos años. En todo caso, los 320 millones de viajeros del año 85 han pasado a 420 en 1.992, es decir, en siete años se ha producido un incremento de la demanda del 30%.

¿A qué se debe esa notable expansión de la demanda?. En una pequeña parte, lógicamente, al crecimiento de la red, aunque en estos años ha sido solamente de 12 km, es decir, bastante escaso, concentrado en las líneas 6, 8 y 9. Una incidencia notablemente mayor, sin duda, es atribuible a las múltiples medidas de mejora en la gestión del sistema de transporte público que ha instrumentado el Consorcio Regional de Transportes tras su creación, en 1.985, una vez que se transfirieron las competencias del Estado a la Comunidad de Madrid. Entre esas medidas hay que destacar aquéllas destinadas a impulsar la coordinación y

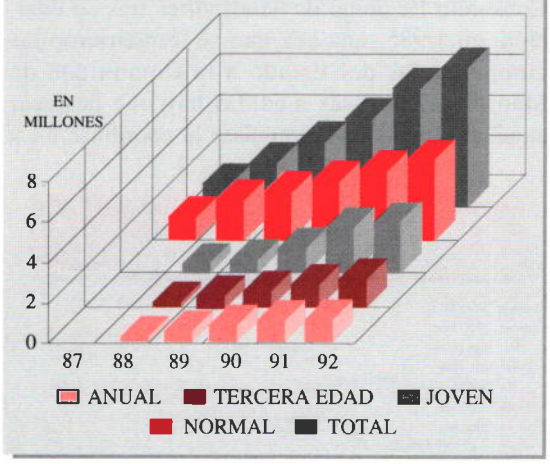
4 • EVOLUCIÓN DE LA RED DE METRO DE MADRID.
A- TRAMOS PUESTOS EN SERVICIO.



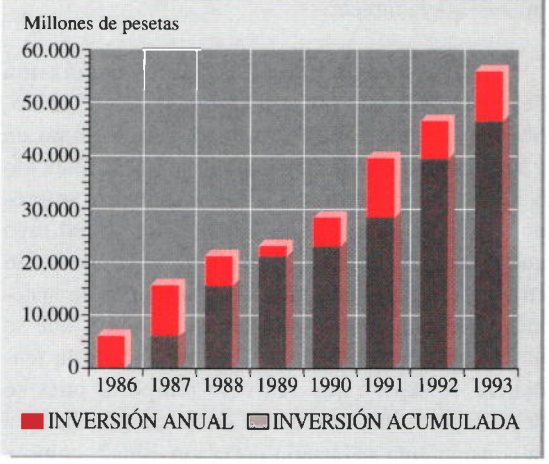
4 • EVOLUCIÓN DE LA RED DE METRO DE MADRID.
B- Km. AÑADIDOS A LA RED.



5 • EVOLUCIÓN DE LAS VENTAS POR TIPO DE ABONO.



7 • INVERSIÓN EN ADQUISICIÓN DE MATERIAL MÓVIL.



complementariedad de los diferentes modos de transporte, como la potenciación de los intercambiadores entre modos y, muy en particular, la creación del abono de transportes, que permiten, como es bien conocido por los madrileños, una mayor flexibilidad para el uso combinado de las redes de los diferentes operadores.

Asimismo, al explicar el crecimiento de la demanda, no se puede dejar de lado la incidencia de las mejoras, muy importantes, que ha experimentado la calidad del servicio prestado por el Metro. Tras su creación, el Consorcio Regional de Transportes estableció entre sus objetivos respecto al Metro que, tan prioritario como extender la red, era conseguir un uso mucho más eficiente de las líneas existentes, ofreciendo un mejor servicio. Como consecuencia, las primeras y muy importantes inversiones se han destinado a mejorar la calidad de la red actual.

6 • PLAN DE INVERSIONES CONTRATO-PROGRAMA 1990-1993 (millones de pesetas)

CONCEPTO	1990	1991	1992	1993	TOTAL
Vía y túneles	840	818	772	801	3.231
Estaciones	852	1.485	986	795	4.118
Recintos	203	234	332	--	769
Señalización y comunic.	209	439	794	480	1.992
Energía	1.852	1.452	409	600	4.313
Escaleras mecánicas	256	200	402	453	1.311
Ventilación	233	1.285	1.884	925	4.327
Instalación estaciones	89	417	645	545	1.696
Material móvil	7.556	6.260	8.881	14.527	37.224
Informática	134	168	202	131	635
Seguridad	388	653	500	383	1.924
Equipo centr. estaciones	481	2.131	1.692	580	4.884
Maquinaria diversa	123	153	341	101	718
Talleres Canillejas	1.281	1.300	500	--	3.081
Varios	280	321	256	197	1.054
TOTAL	**14.777**	**17.316**	**18.596**	**20.518**	**71.207**

Para ilustrar la magnitud de los programas de mejora de la calidad del servicio basta con señalar que, en el último contrato-programa entre el Consorcio y el Metro, que cubre el cuatrienio 90-93, está programada, y se está cumpliendo, una inversión de 71 mil millones de pesetas. Ese presupuesto, aproximadamente en un 50%, se ha destinado a la sustitución del material móvil, pero también ha abarcado otros muchos de los factores que determinan la calidad del servicio ofrecido por el Metro, por ejemplo, mejorando la velocidad comercial, la frecuencia, la regularidad, el confort y la seguridad. Para ello se ha invertido en programas de ventilación forzada, sistemas de seguridad en la circulación y conducción automática, control centralizado de estaciones, renovación de vía, remodelación de estaciones, seguridad a los viajeros, etc..

Por ilustrar el aspecto más relevante, solamente en renovación de material móvil, desde el año 85 (gráfico nº 8) la inversión es sistemáticamente creciente y, en esos 8 años, se ha invertido en nuevos trenes un total de 56 mil millones de pesetas. Eso ha permitido, no sólo dotar adecuadamente de material móvil a los 12 km de nuevas líneas, sino que, simultáneamente, se ha conseguido un significativo rejuvenecimiento del parque móvil del Metro, que en el año 86 tenía una edad

media de 22 años, y a finales del año en curso se habrá reducido a 10. Hoy, el Metro de Madrid tiene probablemente el material móvil de menor edad media entre las redes de las grandes ciudades europeas, salvo las de nueva creación.

El material móvil adquirido en los últimos años ha permitido retirar de la circulación todos los trenes que inauguraron las líneas más antiguas; pues todavía seguían circulando hace 3 años unidades del año 1.919. Como resultado, hoy, dos tercios del material móvil de las líneas antiguas y, en especial, todo el de las líneas 1, 2, 3 y 4, son coches tipo 2000, los más modernos de la red, perfectamente equivalentes y comparables, si no mejores, que el material que circula en redes de Metro similares.

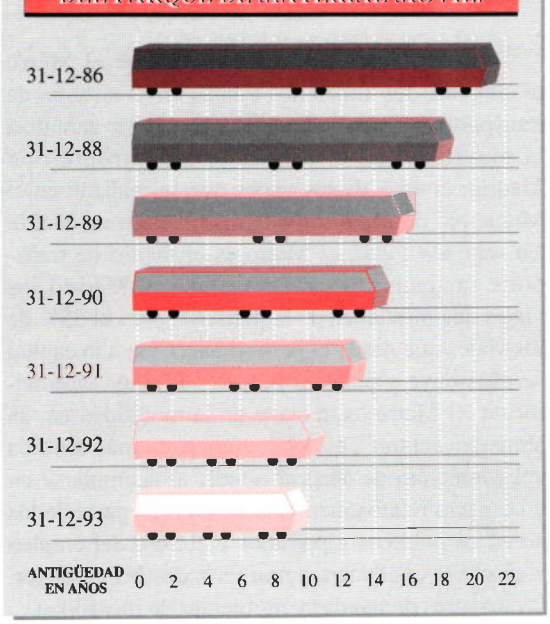
Como resultado de ese ambicioso programa de inversión, se ha conseguido una notable mejora de los índices de calidad. Para hacerse una idea del revolucionario cambio de la calidad del servicio que presta Metro a los viajeros, baste decir que, en el año 69, en el momento en que el Metro alcanzó la máxima demanda, el número de viajeros por coche-km producido era de 11, mientras que el año pasado ese índice se situaba en 5. Lógicamente, la evolución de ese índice indica una paralela reducción de la ocupación media de los trenes y, por tanto, un mayor espacio disponible por viajero.

Para valorar mejor estos datos suelo recordar que, en 1.970, los manuales que se estudiaban en la Universidad consideraban como un buen índice de la calidad ofrecida por un ferrocarril metropolitano una ocupación máxima de 7 viajeros por metro cuadrado. En este momento, y en la hora punta, solamente en un pequeño tramo de la red, entre Sol y Embajadores, se supera ligeramente la media de 5 viajeros por metro cuadrado, y en otros pocos tramos se alcanza entre 4 y 5. Los índices que la sociedad considera admisibles han cambiado tanto que casi no somos conscientes de la revolucionaria mejora de la calidad del servicio que se ha producido en estos años en el Metro de Madrid.

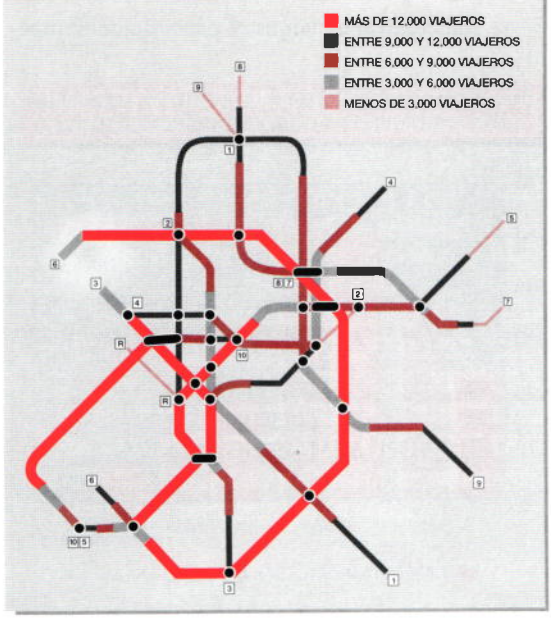
3. LA FUNCIÓN DEL METRO EN EL SISTEMA METROPOLITANO DE TRANSPORTE

La función que cumple el Metro en el sistema metropolitano de transporte público es bastante más importante que la que se deriva de su cuota de mercado en el conjunto del sistema. Para valorarla en su justa medida hay que considerar factores como los trasbordos, la longitud de los recorridos y los viajes intermodales.

8 • EVOLUCIÓN DE LA EDAD MEDIA DEL PARQUE DE MATERIAL MÓVIL.



9 • OCUPACIÓN EN HORA PUNTA.

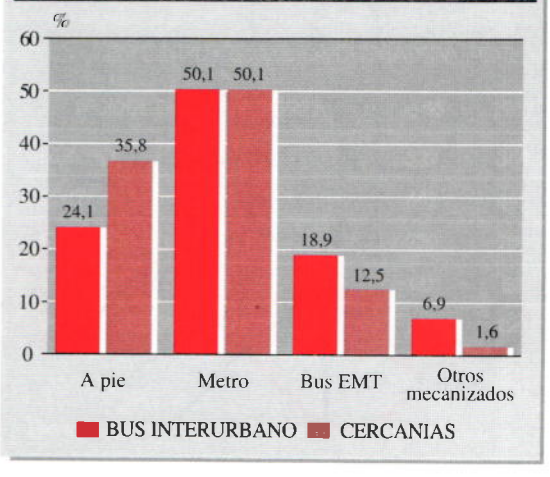


En primer lugar, en el Metro se producen diariamente en torno a 800.000 trasbordos entre líneas, es decir, un trasbordo por cada dos viajes en Metro. Comparando con la red de autobuses, se producen muchas más etapas, muchos más viajes en línea de Metro, que en línea de autobús. Sin embargo, en las estadísticas al uso, cuando un usuario de autobús utiliza una línea y a continuación trasborda a otra, se cuentan dos billetes y, en general, dos viajes; por contra en el Metro, cuando alguien realiza un trasbordo no necesita un nuevo billete y, en consecuencia, se suele contar como un único viaje, aunque también se estén utilizando dos líneas de transporte. Por tanto, en términos homogéneos, en etapas, dividiendo los viajes por sus trasbordos, el año pasado se realizaron en Metro 640 millones de etapas, un 40% más que en los autobuses urbanos.

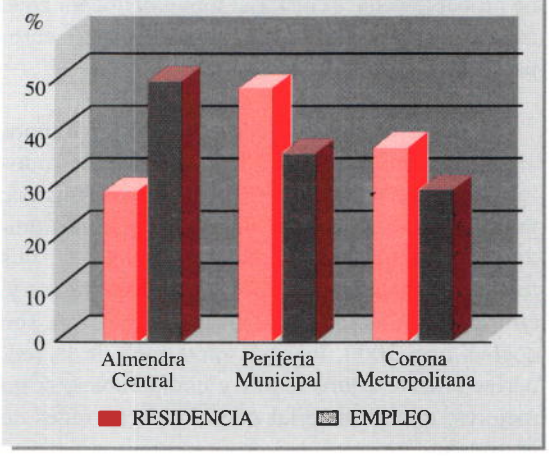
En relación con las distancias, la longitud del viaje en Metro está en la actualidad entre 5,5 y 6 km; bastante superior al recorrido medio en autobús, que supera ligeramente los 3 km. El autobús urbano, el de la EMT, se usa preferentemente en viajes de corto recorrido, de modo que su velocidad comercial baja no incida en exceso en el tiempo total de desplazamiento. En cambio, el Metro es más utilizado en los viajes de mayor longitud, pues su mayor velocidad comercial y fiabilidad permite acotar el tiempo total empleado en el desplazamiento. La consecuencia es que la distancia total recorrida en Metro por los madrileños duplica la que recorren en autobús.

Más relevante aún es el papel que desempeña el Metro en los viajes intermodales. El 46% de los viajes que se realizan en la región madrileña tiene alguna etapa en Metro. La mitad de los viajes en el que se usa el Metro son intermodales, es decir, se utiliza en combinación con otro medio de transporte, sea autobús, ferrocarril o, incluso, automóvil. Enfocando esta función desde otro ángulo, el Metro participa en el 85% de los viajes intermodales, es decir, en la mayoría de los viajes intermodales hay una etapa en Metro. En concreto, uno de cada seis viajes en autobuses de la EMT tiene otra etapa en el Metro, más del 50% de los desplazamientos en los que se usa la red de cercanías incluyen un trasbordo al Metro y la mitad de los viajes en la red de autobuses interurbanos se combina con una etapa en el Metro.

10 • MODO DE DISPERSIÓN EN MADRID DE LOS VIAJES CON ORIGEN EN LA CORONA METROPOLITANA.



11 • LOCALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN Y EL EMPLEO EN LA COMUNIDAD DE MADRID.



Esos datos permiten decir que el Metro desempeña dos funciones vitales en el sistema de transporte metropolitano. En primer lugar garantiza la movilidad en el centro de la metrópoli; en Madrid: el 45% de los viajes que se realizan en el Municipio de Madrid tiene alguna etapa en Metro. En segundo lugar, el Metro es el medio de transporte fundamental para distribuir en Madrid los viajes que provienen de la periferia, pues el 55% de los viajes que desde la periferia acceden a la capital se distribuye gracias al Metro. Y, muy especialmente, el Metro es la clave de la movilidad en "la almendra central", es decir, en la parte más céntrica del Municipio de Madrid donde, al acumularse en un espacio relativamente reducido gran parte de los servicios públicos y privados y el 50% del empleo regional se producen, como en todas las ciudades, las mayores demandas y problemas de movilidad.

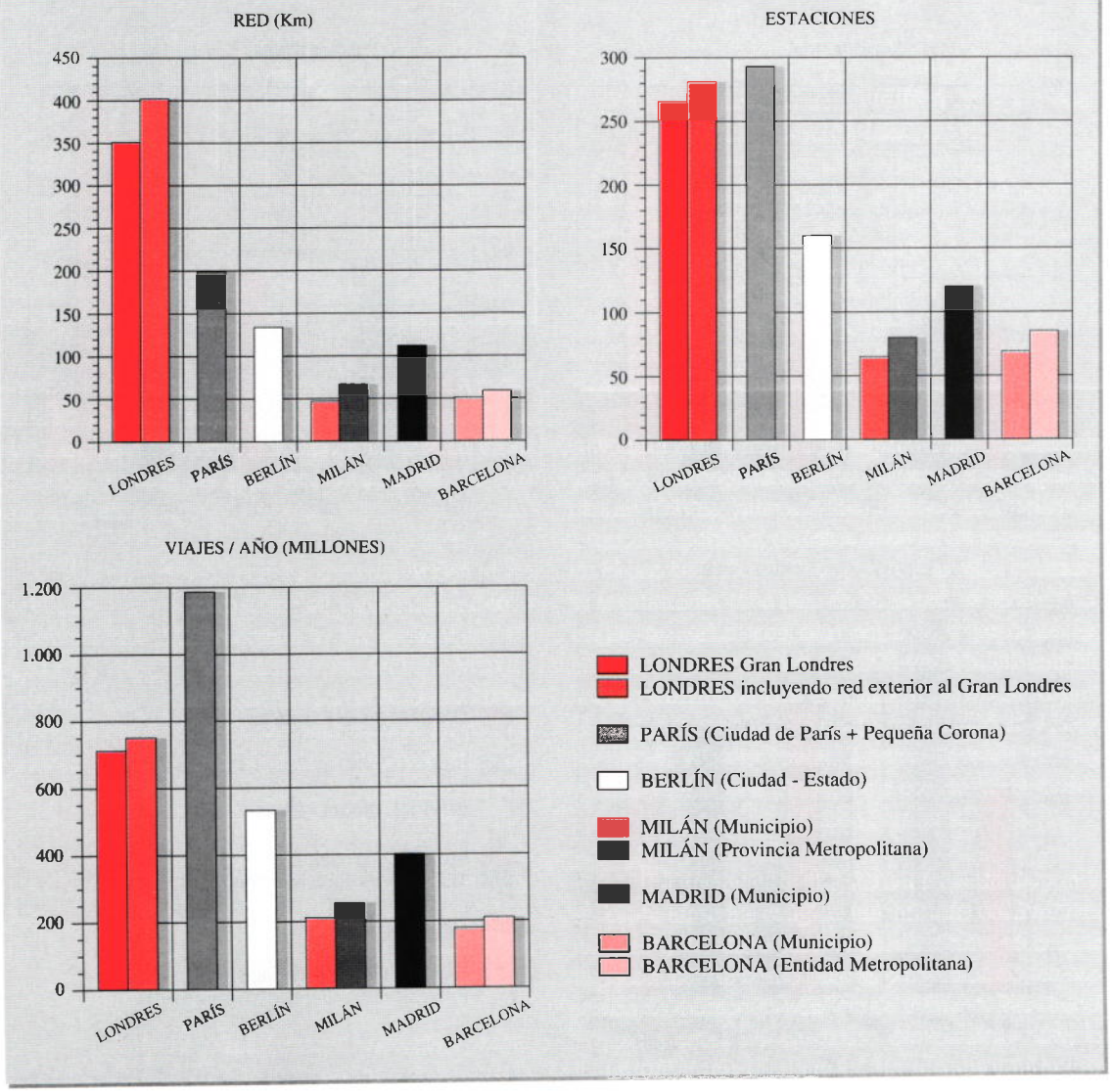
La independencia de la congestión viaria que proporciona el Metro y, por tanto, su mayor fiabilidad, es, sin duda, el factor principal para explicar su éxito en la captación de viajeros en el centro de Madrid. No es extraño pues que, cuando el Metro no funciona, lo que ocurre afortunadamente en muy contadas ocasiones, en general por conflictos laborales, se generaliza el caos en la superficie. De este modo, se puede concluir que el Metro es tanto el medio de transporte que garantiza la movilidad en el centro de la capital como el que garantiza la movilidad a los usuarios de la periferia que tienen que acceder a ese centro.

Es significativo resaltar que, incluso dentro del Municipio de Madrid, en las áreas donde todavía no llega el Metro, se produce una alta proporción de viajes combinados bus-Metro para poder acceder al centro, lo que lógicamente penaliza a los residentes en estos barrios de cara a su accesibilidad a los empleos y servicios de esas áreas centrales.

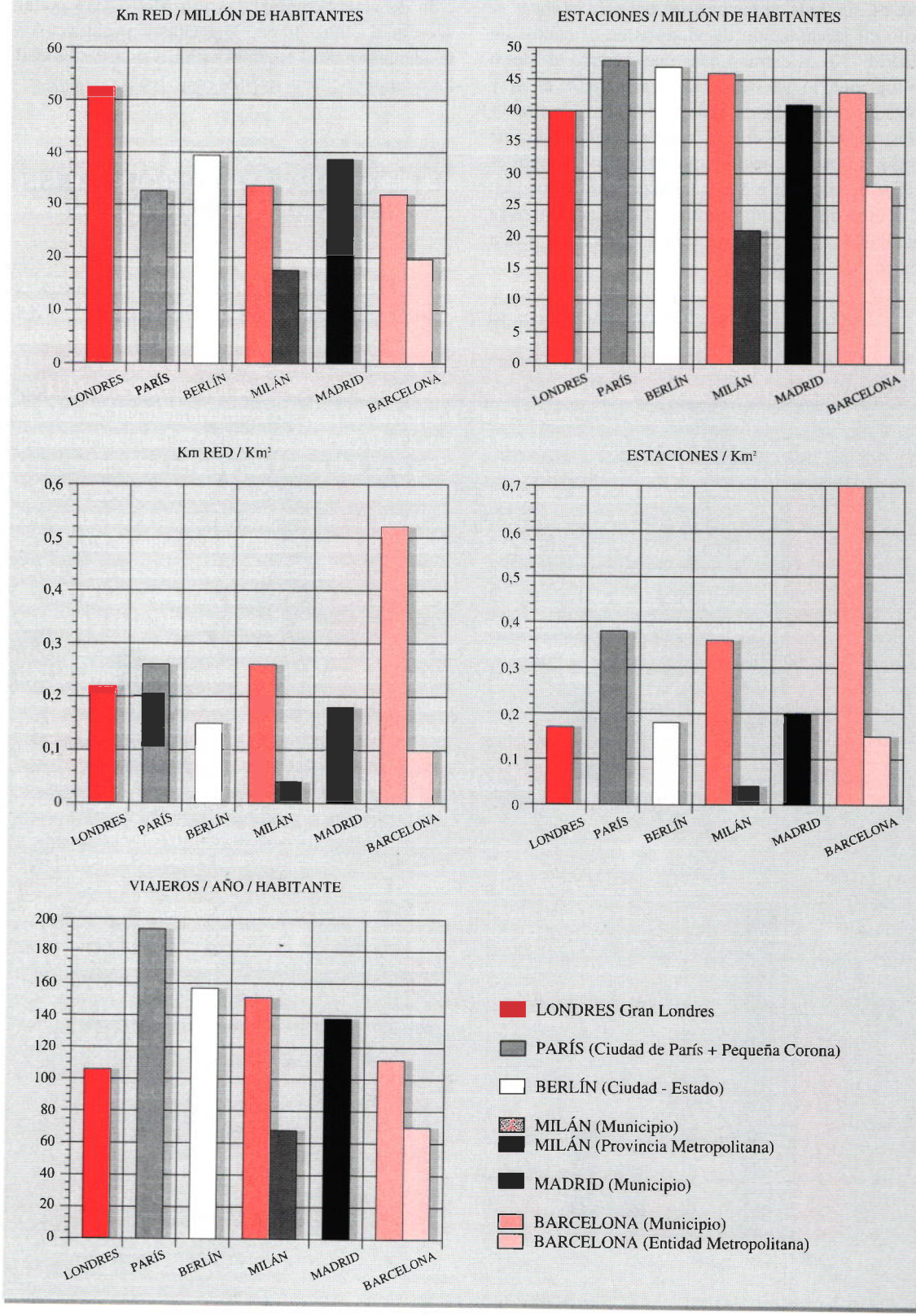
4. LA COMPARACION CON OTRAS REDES METROPOLITANAS

Dicho esto, me parece útil cuestionar la opinión generalizada de que es escasa la red del

12 • REDES EUROPEAS DE METRO
GRANDES CIFRAS (DATOS: 1991).



13 • REDES EUROPEAS DE METRO
ÍNDICES RELATIVOS (DATOS: 1991).



Metro de Madrid en comparación con la que debería tener una ciudad de su dimensión. Para ello he construido unos gráficos comparando seis grandes metrópolis europeas: Londres, París, Berlín, Milán, Madrid y Barcelona. Por supuesto son metrópolis de diferentes tamaños. Londres y París, en particular, son mucho mayores en población y superficie que Madrid. Sin embargo, las seis son metrópolis en el sentido de conformar un área metropolitana, no corresponderse exclusivamente con una ciudad central, y contar con ámbitos metropolitanos que sobrepasan en todos los casos los cuatro millones de habitantes.

En estas metrópolis, en general, el Metro sirve a espacios mayores que el propio municipio de la capital. Lo sobrepasa con mucho en Londres, de manera que los datos del gráfico están referidos al gran Londres, que es allí el ámbito de servicio del Metro, que incluso lo sobrepasa ligeramente. En París, el Metro no sólo sirve a la ciudad-capital, sino también a los municipios incluidos en la "pequeña corona", un ámbito mucho más amplio. En Milán y en Barcelona el espacio servido por el Metro sobrepasa ampliamente los límites de estas ciudades. En concreto, en Barcelona el Metro atiende a varios de los municipios de la Entidad Metropolitana, como Cornellá, Hospitalet, San Adrián o Santa Coloma. Sólo en Berlín y en Madrid el municipio capital se corresponde aproximadamente con el ámbito de servicio del Metro.

En cifras absolutas, la red de Metro de Madrid, con sus 112 Km, es bastante menor que la de Londres o la de París, incluso que la de Berlín.

Sin embargo es notablemente mayor que la red de Milán y la de Barcelona, lo cual ya es significativo, sobre todo en el primer caso, porque el área metropolitana de Milán es más amplia que la de Madrid. Para medir la cobertura espacial que presta la red se puede también comparar el número de estaciones. Las cifras guardan una proporción similar entre las distintas ciudades a la que expresa la longitud de la red. Cuando se compara la demanda, el número de viajeros, Madrid viene también por detrás de Londres, París e incluso Berlín, y, por contra, delante de Barcelona y Milán.

Sin embargo, si estas cifras se ponen en relación con la población y la extensión de las ciudades, resultan unos indicadores bastante diferentes. En cuanto a la oferta, comparando estaciones por millón de habitantes, la ciudad de Madrid está en índices absolutamente equivalentes a los de las otras grandes metrópolis y, si al comparar con Barcelona y Milán se consideran sus ámbitos metropolitanos, bastante por encima de ellas. Lo mismo ocurre si se establece la relación en kilómetros de red por millón de habitantes, aunque en el caso de Londres, al tratarse de una red muy extensa y con interestaciones muy largas, es preferible comparar el índice de estaciones por población que, se observa, es bastante menor que el que corresponde a Madrid.

En cuanto a la demanda, la única de las grandes metrópolis estudiada que sobrepasa significativamente la demanda por habitante de Madrid es París. El resto de las ciudades está en índices equivalentes o menores que Madrid.

Al comparar los indicadores de oferta y demanda en relación con la superficie de las diferentes ciudades, los datos son bastante heterogéneos y, en particular, se disparan en el caso de Barcelona, porque el término municipal de Barcelona es bastante reducido. No obstante, si los índices de Barcelona se ponen en relación con la entidad metropolitana, el índice baja notablemente. En Madrid, al comparar superficies, habría que considerar la singularidad de que casi un tercio del municipio es el monte del Pardo, zona protegida, por lo que no sería lógico que el Metro se entendiera hasta allí. Haciendo esas salvedades, Madrid tiene una dotación de red y de estaciones por superficie equivalente a las ciudades mejor dotadas, especialmente Paris.

En resumen, de los datos anteriores se puede inferir que los índices de cobertura del Metro en Madrid no son malos, a pesar de cierta tendencia de los madrileños a decir que tenemos un Metro pequeño. Disfrutamos de un Metro bastante proporcionado al tamaño de nuestra ciudad. A la misma conclusión se llega al comparar la demanda que capta este medio de transporte.

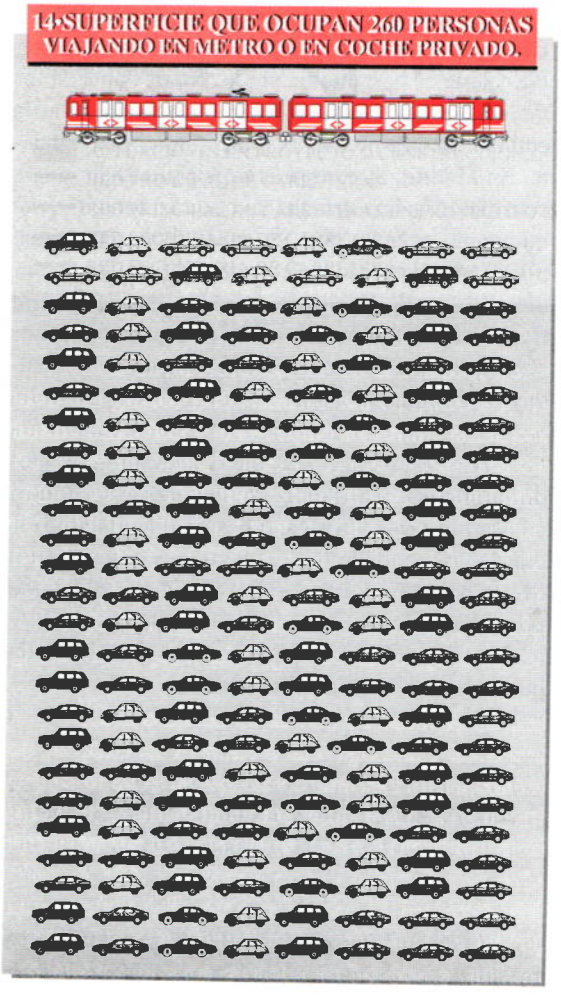
5. LA APUESTA POR UN METRO MAYOR Y MEJOR

Dicho lo anterior, no ha de concluirse que hayamos de conformarnos con el Metro que tene-

mos. En particular, la Comunidad de Madrid, apuesta por continuar la ampliación de la red de Metro, por múltiples razones, y en primer lugar por las grandes ventajas comparativas que tiene el Metro como modo de transporte en una gran metrópoli.

Es bastante interesante volver a reflexionar sobre un gráfico del tipo del nº 21: 270 personas desplazándose en Metro, con un índice de 4 personas por metro cuadrado, un índice nada congestivo, ocupan dos coches tipo 2.000, de gálibo reducido. Ese mismo número de personas para moverse en automóvil necesita 200 vehículos, teniendo en cuenta que en la ciudad de Madrid, como en cualquier otra gran metrópoli, la ocupación media del coche en una hora punta es del orden de 1,3 viajeros. Satisfacer las necesidades de desplazamiento en coche privado supone plantearse unas superficies de circulación y de estacionamiento desmesuradas, que no es posible proporcionar en una ciudad europea. El gráfico habla pues por sí solo.

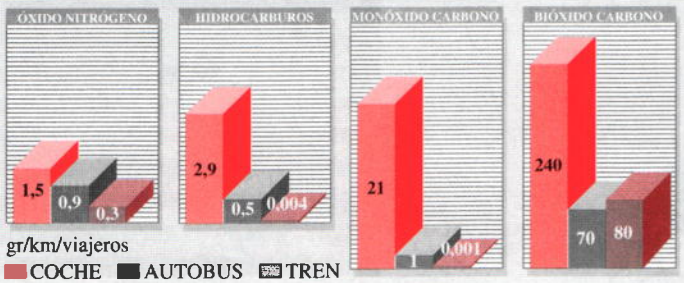
14-SUPERFICIE QUE OCUPAN 260 PERSONAS VIAJANDO EN METRO O EN COCHE PRIVADO.



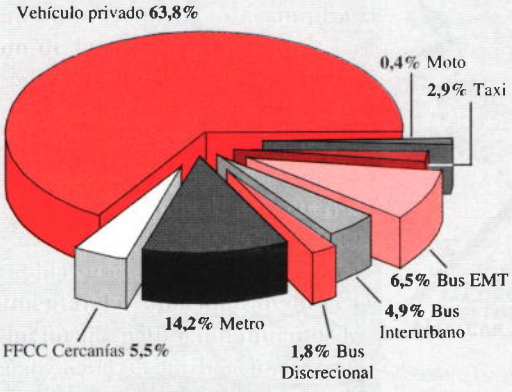
No es una opción realista pretender que en el centro de Madrid puedan satisfacerse las necesidades de movilidad de la población si el modo prioritario de movilidad fuera el automóvil. Esa hipótesis es absolutamente contradictoria con la propia naturaleza del automóvil y las superficies que necesita para desplazarse y estacionar. Cualquier gran ciudad europea, Madrid u otra de ese tamaño, con los condicionantes que impone su historia, admite una ampliación de infraestructuras muy limitada so pena de destruir la propia ciudad. Por mucho que se intente ampliar la superficie de rodadura con pasos inferiores, o ampliar el número de aparcamientos con obras subterráneas, se llega pronto a un límite físico, más allá del cual no sólo se disparan los presupuestos necesarios, sino que desaparece el concepto europeo de ciudad, ese espacio de convivencia que nos ha legado la historia. En Madrid es imposible introducir muchos más coches de los que ya circulan, y es bastante difícil, si no también imposible, proporcionar un aparcamiento satisfactorio no ya a ese aumento de vehículos, sino a los que se mueven en la actualidad por el centro, como indica la triste experiencia de la profusión de dobles y triples filas de vehículos estacionados a lo largo de nuestras calles.

Esa utilización abusiva del automóvil tiene repercusiones muy graves sobre muchos aspectos de la calidad de vida en la ciudad. Los propios vehículos estacionados en doble fila, ocupando todo el perímetro del bordillo en las esquinas o, peor aún, sobre las aceras, producen un serio deterioro del valor de uso de la ciudad para el ciudadano de a pie. O, desde otros puntos de vista, los índices de contaminación atmosférica, emisión de ruidos e intrusión visual del automóvil son alarmantes, y no resisten la comparación con los del transporte público, muy en particular el ferroviario: el ferrocarril, y más si es subterráneo, puede presumir de índices de impacto ambiental notablemente mejores que el coche. Comparar otros costes sociales, como el consumo energético, lleva a un resultado similar pues, a pesar de que en automóvil privado solamente se satisface en la región de Madrid el 40% de los desplazamientos, casi dos tercios del consumo energético en transporte corresponde al automóvil, mientras que el Metro, participando en el 45% de los viajes, solamente consume el 14% de la energía total del sistema de transporte.

15 • CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PRODUCIDA POR EL TRANSPORTE.

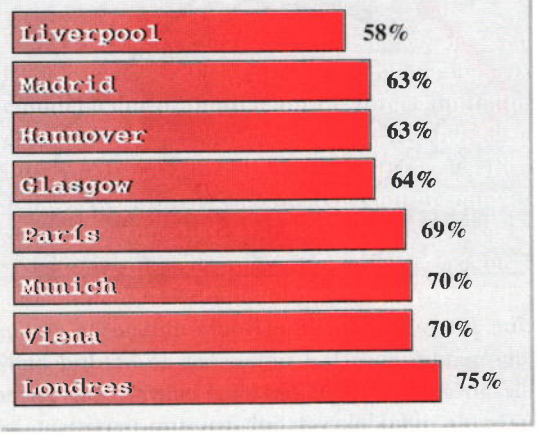


16 • CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MADRID.



FUENTE: CONSORCIO DE TRANSPORTES DE MADRID

17 • UTILIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN EL CENTRO URBANO Y EN HORA PUNTA.



Es verdad que en una región tan concentrada como Madrid todavía se produce, afortunadamente, una utilización global del transporte colectivo bastante amplia: el 58 % de los desplazamientos. No obstante, si se limita el análisis al ámbito donde el transporte público es más útil y donde más inconvenientes plantea el uso del automóvil, que es el centro urbano, todavía Madrid es una ciudad con una alta utilización del coche privado.

En el centro, y especialmente en la hora punta, el uso del transporte colectivo en Madrid es bastante bajo en relación a ciudades como París, Munich, Viena o Londres; comparando pues no con ciudades del tercer mundo, sino con algunas de las grandes metrópolis europeas. En todas ellas la proporción de uso del transporte público para el acceso al centro es mucho mayor que en Madrid. Muy en particular, en el caso de la mayor metrópoli europea: Londres, y en la hora punta, sólo acceden al centro en automóvil el 16% de los ciudadanos que tienen allí un empleo, mientras que la utilización del Metro y ferrocarril sobrepasa el 60%.

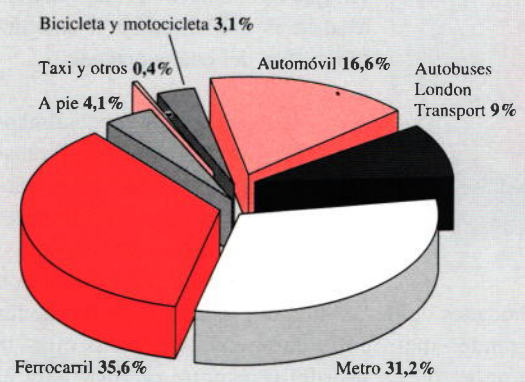
En consecuencia, la Comunidad de Madrid considera que hay que seguir priorizando el Metro como modo de transporte urbano y, muy en particular, impulsando su mayor utilización en el centro de la ciudad. Para conseguirlo, se propone seguir actuando en dos frentes paralelos: la ampliación de la red y la mejora de la calidad del servicio.

6. LOS OBJETIVOS DE LA AMPLIACION: LA ESTRUCTURACION DE LA RED

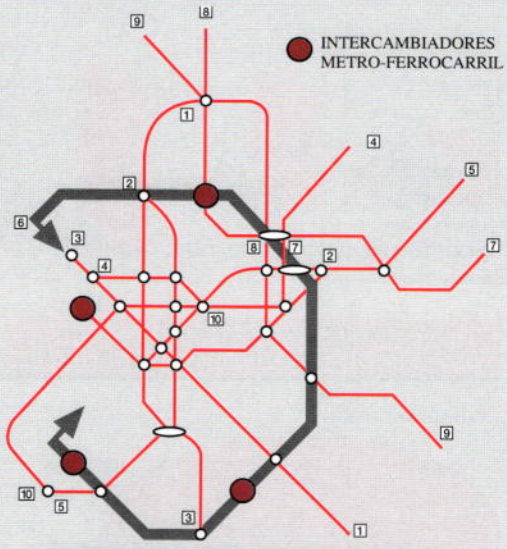
Cuando el Consorcio de Transportes se hizo cargo del Metro, detectó que los principales problemas del trazado de la red estribaban en sus defectos de estructura, por falta de vertebración y conectividad, pues algunas líneas son cortas y ofrecen pocos trasbordos, y en su insuficiente cobertura espacial, siendo crítico el primero de ellos. Los defectos de conectividad resaltan al observar una línea con vocación circular, pero incompleta, y tres líneas radiales centro-periferia, pero no pasantes.

En efecto, la línea 6 es una línea circular incompleta y, por tanto, distribuye muy mal los

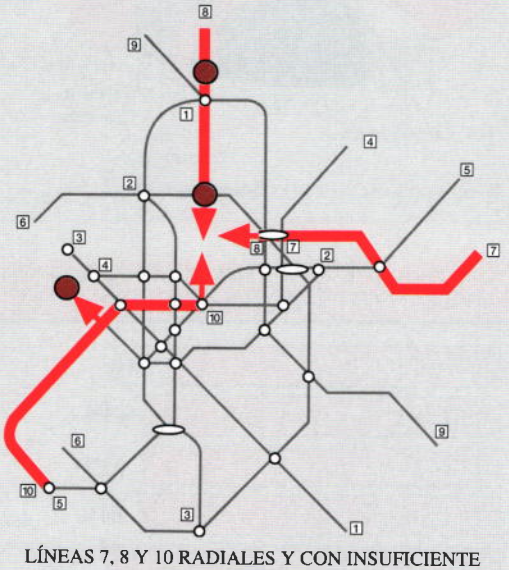
18 • REPARTO MODAL DE LOS VIAJES AL CENTRO DE LONDRES POR MOTIVO DE TRABAJO.



19 • RED DE METRO. PROBLEMAS DE VERTEBRACIÓN Y CONECTIVIDAD DE LA RED.



LÍNEA CIRCULAR INCOMPLETA DIFICULTA LA VERTEBRACIÓN DE LA RED



LÍNEAS 7, 8 Y 10 RADIALES Y CON INSUFICIENTE CONECTIVIDAD

viajes. A pesar de ser la única línea que no tiene sentido radial, funciona en la práctica como tal, porque se produce una punta de mañana muy acusada en un sentido y en el opuesto por la tarde. Esa falta de vertebración se muestra también en la existencia de tres líneas que llegan de la periferia al centro y ahí terminan: la 7, 8 y 10. Son líneas cortas que, por no ser pasantes, tienen muy pocos destinos dentro de la línea y, además, muy pocas correspondencias, por lo cual ofrecen un servicio muy inadecuado a los barrios que atienden.

En función de este diagnóstico, cuando en 1990 la Comunidad de Madrid y el Consorcio Regional de Transportes firmaron con el Estado, dentro del Plan para la Mejora del Transporte en las Grandes Ciudades, el Convenio para la Financiación de la Nueva Infraestructura del Metro, se acordó que las primeras actuaciones tenían que centrarse en la resolución de esos problemas de conectividad de la red. Las dos actuaciones más ambiciosas, por su finalidad estructurante, incluidas en ese Convenio han sido el cierre circular de la línea 6 y la interconexión de las líneas 7, 8 y 10, desarrollando la Estrategia de Transportes en la Región Metropolitana elaborada en 1.988 por la Comunidad de Madrid.

No obstante, también se inició una política de ampliación de la cobertura del Metro hacia la periferia del municipio de Madrid, con la propia línea 6, que sirve a los barrios de Lucero y del Paseo de Extremadura, y la ampliación de la línea 1 hacia el barrio de Palomeras, en Vallecas. Esta fue precisamente la primera actuación que se emprendió pues la Comunidad de Madrid había desarrollado durante los años ochenta una operación de remodelación urbana muy importante en Palomeras, transformando un antiguo suburbio chabolístico en un barrio de la ciudad con viviendas dignas de promoción pública y tan bien dotado como cualquier otro. Sin embargo, a ese barrio, de una fuerte densidad demográfica, le faltaba el servicio de Metro y, para proporcionárselo, se

emprendió la ampliación de la línea 1 en dos km desde Portazgo, con tres nuevas estaciones, para atender a cerca de 70.000 personas.

El cierre de la línea 6, es decir, la creación de una verdadera línea circular, uniendo las estaciones de Ciudad Universitaria y Laguna, las actuales terminales de esta línea, va a transformarla en una línea fundamental y singular dentro de la red, por ese trazado anular. Va a convertirse con mucho la línea más larga, con 24 km y 27 estaciones, que ofrecerá cuatro oportunidades de conexión con la red de cercanías de Renfe, y siete con los puntos en que se concentran las terminales más importantes de las líneas de autobuses interurbanos que acceden desde la periferia, enlazando incluso con la mayor parte de las líneas de autobuses urbanos y en particular con la práctica totalidad de las que llegan desde la periferia de Madrid hacia el borde del centro de la ciudad.

Estas dos actuaciones, que construye la Consejería de Transportes de la Comunidad de Madrid, están muy avanzadas. La ampliación de la línea 1 se pondrá en servicio en la próxima primavera y, aproximadamente un año más tarde, estará concluido el cierre de la línea 6.

La segunda actuación en importancia, cuya primera fase va a contratarse en poco tiempo, responde a la necesidad de interconectar esas líneas cortas y de carácter radial de que antes se trataba. Consiste en la unión de la línea 8, que llega desde el norte (Fuencarral) hacia el centro (Nuevos Ministerios), con una prolongación provisional a Avda. de América, con la línea 10, que llega desde Aluche a Alonso Martínez. Se trata pues de la conexión de las estaciones de Nuevos Ministerios y Alonso Martínez para crear un gran eje Norte-Sur desde Fuencarral hacia la zona de Aluche y Campamento. Incorpora esta actuación un complemento muy importante consistente en una variante de la línea en su interestación más larga (Lago-Plaza España) para que pueda tener estación en el gran intercambiador de transportes que se construye en Príncipe Pío, donde confluyen también la línea 6 y el actual ramal a Opera, una línea de Renfe y una terminal de autobuses interurbanos.

La unificación de las líneas 8 y 10, junto con el enlace en Príncipe Pío, crea también una línea de gran relevancia desde el punto de vista de la conectividad, no sólo interna de la red de Metro, sino con los medios de transporte que acceden desde la periferia, porque facilita también el trasbordo en cuatro grandes intercambiadores con la red de cercanías y en otros cuatro puntos de correspondencia con las terminales de autobuses interurbanos. Se completará la actuación con la prolongación hacia el noroeste de la línea 7 desde Avenida de América, de modo que en una primera fase se cree una correspondencia entre ambas líneas en Nuevos Ministerios o en la futura estación de la plaza de Gregorio Marañón.

20 • PROLONGACIÓN Y CIERRE CIRCULAR DE LA LÍNEA 6.

21 • LA NUEVA LÍNEA 10: UNIDA A LA 8 Y POR PRÍNCIPE PÍO.

Las tres actuaciones citadas supondrán un incremento de los usuarios de la red de aproximadamente 150.000 ciudadanos. Si se tiene en cuenta tanto la red de Metro como la red de ferrocarril, el 70% de los vecinos de Madrid-capital quedarían servidos por una red ferroviaria. Al mismo tiempo, de las once nuevas estaciones, cuatro de ellas al menos serán estaciones de intercambio, tan importantes como Príncipe Pío, Moncloa o Argüelles. Y, aunque sea una pequeña digresión, es importante resaltar que se trata de estaciones de intercambio de avanzado diseño funcional, donde se ha cuidado al máximo la sencillez y brevedad de las correspondencias para hacer más atractivo su uso.

Al poner en servicio estas obras se ofrecerán más correspondencias en la red y sumultáneamente, la unificación de dos líneas reduce notablemente las necesidades de transbordo y distribuye mucho mejor los viajeros. Al aumentar con estas actuaciones el número de trasbordos posibles de 50 a 56, también aumenta notablemente la densidad de trasbordos en la red, porque no serían ya 50 trasbordos para 10 líneas, sino 56 para 9 líneas, con lo cual, el índice actual de 5 trasbordos por línea pasará a ser de más de 6 por línea. Mejora pues de forma significativa la funcionalidad de la red, en el sentido en que la red está mucho más vertebrada y mucho más interconectada entre sí; y lo mismo se produce al considerar la articulación con las redes de transporte complementarias, la de cercanías y las de autobuses.

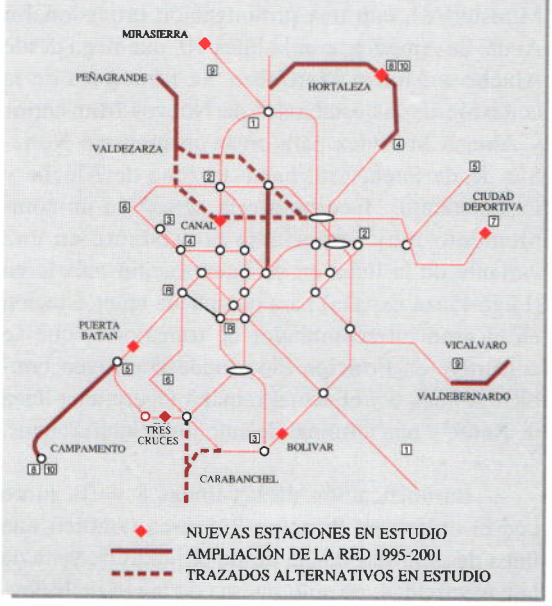
7. LA AMPLIACION DE LA COBERTURA ESPACIAL

Las tres actuaciones precedentes están incluidas, como se comentaba antes, dentro del Convenio para la ampliación de la red de Metro entre el Estado, la Comunidad de Madrid y el Consorcio Regional de Transportes, y suponen una inversión total de aproximadamente 60 mil millones de pts. En cualquier caso, la Comunidad no se plantea que la ampliación del Metro termine ahí, y en el marco de su Estrategia de Transportes para el 2001, se propone una nueva fase de ampliación del Metro, con un esquema de red que en este momento el Consorcio de Transportes está concretando en un plan de ampliación.

El objetivo de ese plan es atender a los barrios periféricos que en este momento tienen una gran densidad de población y, sin embargo, carecen de Metro o de servicio de ferrocarril equivalente. En primer lugar se trata de atender a todo el distrito de Hortaleza, con una prolongación de la línea 4 y otra de la línea 8, conectadas ambas en una estación terminal común. Igualmente en el servicio a los barrios de Valdezarza y Peñagrande, a través de una prolongación de la línea 7, para la cual se están estudiando varios trazados alternativos, que conllevan también que la línea 7 se transforme en una línea pasante, no una línea exclusivamente radial. Asimismo, de una prolongación de la línea 8 para servir al nuevo polígono de Valdebernardo y al distrito de Vicálvaro, con la terminal en la actual estación de ferrocarril próxima a este núcleo. Por último, en el suroeste del municipio, la creación de un ramal para atender a toda la zona de Carabanchel Alto, para el cual existen varias posibilidades alternativas de trazado, y una prolongación de la Línea 10 para atender al espacio ocupado por los actuales cuarteles de Campamento, donde está prevista una profunda remodelación para transformar ese área en un gran centro de servicios.

Este conjunto de ampliaciones suponen un total de 26 Km, que llevarán la longitud de red de Metro de Madrid a 149 Km. Se alcanzará así un

22 • PLAN DE AMPLIACIÓN DEL METRO 1995 - 2001.



indicador de aproximadamente 50 km. por millón de habitantes, significativamente superior a la mayor parte de las ciudades que se han citado. Por otra parte, se incrementaría en 350.000 el numero de madrileños que estarían servidos directamente por el Metro, es decir, se conseguirá un aumento del 18% de la población actualmente atendida. Se llegaría así a que el 75% de la población de Madrid tendría una estación de Metro accesible a pie.

También se propone en esta Estrategia Regional el estudio de la viabilidad de una serie de estaciones, tanto en la red de Metro, como en la de cercanías, algunas en terminales de línea y otras en puntos intermedios de alguna interestación, fundamentalmente cuando la interestación es larga. Estas actuaciones llevarían a atender el 85% de la población de Madrid con un servicio ferroviario.

23 • AMPLIACIÓN DE LA RED DE METRO. COBERTURA ESPACIAL DE LAS FUTURAS AMPLIACIONES.

- RED ACTUAL DE METRO
- RED ACTUAL DE FERROCARRIL DE CERCANÍAS
- RED DE METRO EN CONSTRUCCIÓN
- AMPLIACIÓN DE LA RED DE METRO
- AMPLIACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

Es el gráfico 30, se puede ver la localización aproximada de las nuevas estaciones tanto sobre las líneas existentes como en sus ampliaciones, y cómo atienden buena parte de los huecos que actualmente presenta el plano, en particular en las áreas más densas, que lógicamente son las prioritarias para atender con ferrocarril.

Es significativo comentar que algunas estaciones nuevas de la red de cercanías, por ejemplo la que se plantea entre Madrid-Sur y el Pozo, y otra al norte, en uno de los nuevos desarrollos que se plantean en el Avance del Plan de Madrid, permitirían ampliar el servicio ferroviario hacia otros barrios, con una utilidad similar a la del Metro, pues las frecuencias de los servicios de Renfe llegan ya a 4 ó 5 minutos en algunas líneas.

En ese sentido interesa, como ejemplo, comentar el gráfico nº 32. El distrito de Vallecas actualmente cuenta con tres estaciones de Metro: Puente de Vallecas, Nueva Numancia y Portazgo. Con la ampliación que la Comunidad está ejecutando se crean tres estaciones más, que discurren siempre bajo el eje de la Avenida de la Albufera; de manera que todo el norte del distrito quedará perfectamente atendido por el Metro. En la actualidad, una línea de cercanías, la línea de Alcalá, tiene estación en Entrevías y se hace la propuesta de una nueva estación junto a Madrid-Sur. Con la creación de esta estación más las tres nuevas estaciones de Metro, todo el distrito de Vallecas, el 98% de su población, queda servido por una red ferroviaria. Sirve de ejemplo para insistir en que, principalmente al fijar prioridades de inversión, debe considerarse la complementariedad entre el Metro y la red ferroviaria de cercanías.

El conjunto de ampliaciones de Metro enumeradas, con 26 km, está previsto que se puedan ejecutar en un plazo de ocho años si se llegan a concertar adecuadamente con el Estado en el marco de un segundo Convenio de Financiación, y

suponen una inversión estimada de 12 mil millones por año, con exclusión de la ampliación de la línea 10 hacia el área de Campamento, que estaría a cargo del propio desarrollo inmobiliario de esa zona. En el resto de las prolongaciones de líneas no tiene sentido una actuación de este tipo porque se dirigen hacia barrios consolidados, donde hay población asentada y no existen operaciones inmobiliarias a las que acudir para que financien la infraestructura.

8. LA MEJORA DE LA CALIDAD TOTAL

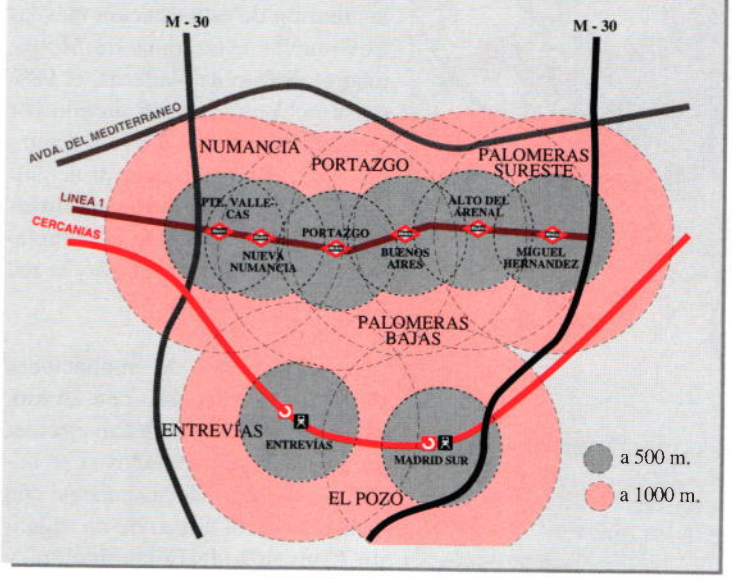
De cara al futuro del Metro, no basta ampliar la red; es tanto o más importante seguir mejorando la calidad del servicio. En ese sentido, dentro de esa Estrategia de Transportes se plantea el objetivo de que en ningún punto ni a ninguna hora existan tramos de Metro con una ocupación superior a cuatro viajeros por metro cuadrado, el índice de ocupación que se considera razonable en la actualidad, el exigible en este momento histórico. Para ello se propone continuar con la misma línea de programas de inversiones en mejora de la calidad que ha estado desarrollando el Consorcio de Transportes en los últimos años, con una inversión media de 15 mil millones anuales.

25 • PROGRAMA 94-97 DE INVERSIONES EN MEJORAS DE LA CALIDAD DEL SERVICIO.

CONCEPTO	PRESUPUESTO (EN MILLONES)
Material Móvil	
*Renovación del material móvil 1000 de línea 5 (94 unidades)	10.900
*Ampliación parque para atender prolongaciones de líneas	21.600
Remodelación y mejora de estaciones	4.500
Distribución de energía y subestaciones	4.200
Renovación vía y túneles	3.300
Señalización y comunicaciones	2.200
Ventilación líneas	4.400
Escaleras mecánicas - pasillos rodantes	2.300
Instalaciones de seguridad	2.200
Equipamiento centralizado estaciones	2.500
Equipamiento talleres	3.200
Otras inversiones	1.800
TOTAL PROGRAMA INVERSIONES EN CALIDAD	**60.300**

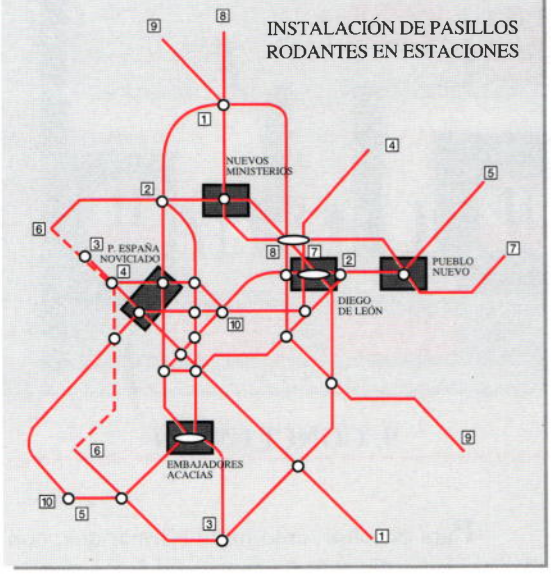
Este programa irá destinado en gran medida a proseguir la adquisición de nuevo material móvil, tanto para atender las nuevas líneas como para sustituir el material más antiguo en circulación, el que circula aún en las líneas 5 y 10, donde ya se ha iniciado la sustitución de los trenes más antiguos, con 30 años de servicio. Igualmente continuarán las actuaciones de remodelación de estaciones, incidiendo notablemente en la mejora de estaciones de intercambio. En ese sentido, siempre que es posible, se plantean actuaciones del tipo de la que se realizó en Oporto, es decir, simplificar notablemente las correspondencias para reducir el tiempo de trasbordo y, por lo tanto, la penalización que el trasbordo supone a los ciudadanos y, cuando no es posible, instalar pasillos rodantes similares al que precisamente la semana pasada se ha puesto en servicio en la estación de Pueblo Nuevo.

24 • AREAS DE INFLUENCIA DE METRO Y CERCANÍAS EN VALLECAS.



Se seguirá actuando también en mejoras de otro tipo que, en general, los ciudadanos, difícilmente perciben; por ejemplo, las grandes innovaciones que ha habido en ventilación y, por tanto, en la climatización del Metro. En este momento, en verano es más

26 • RED DE METRO. ACTUACIONES PARA MEJORAR LA CONECTIVIDAD INTERNA.

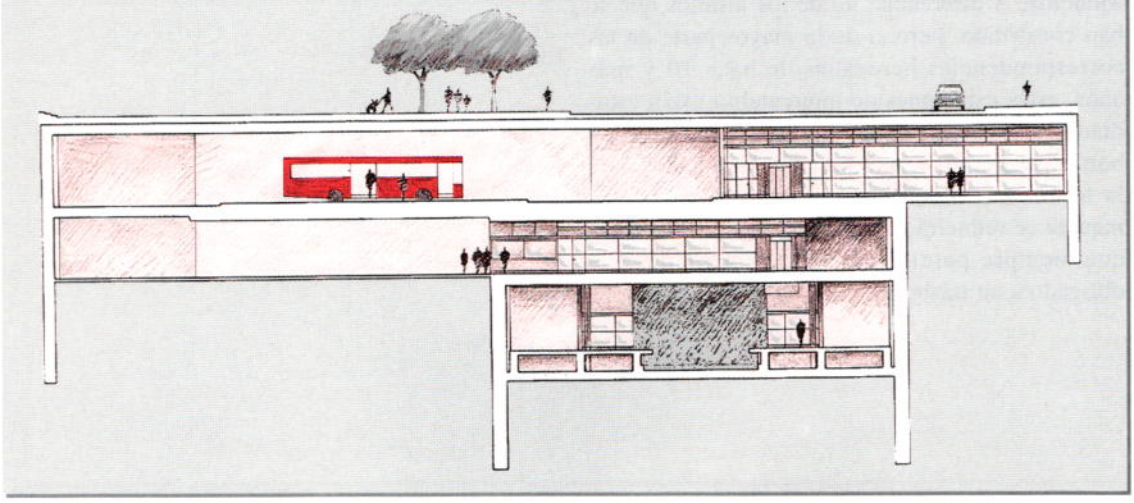


27 • MÁS Y MEJORES CORRESPONDENCIAS PARA UN METRO MEJOR.

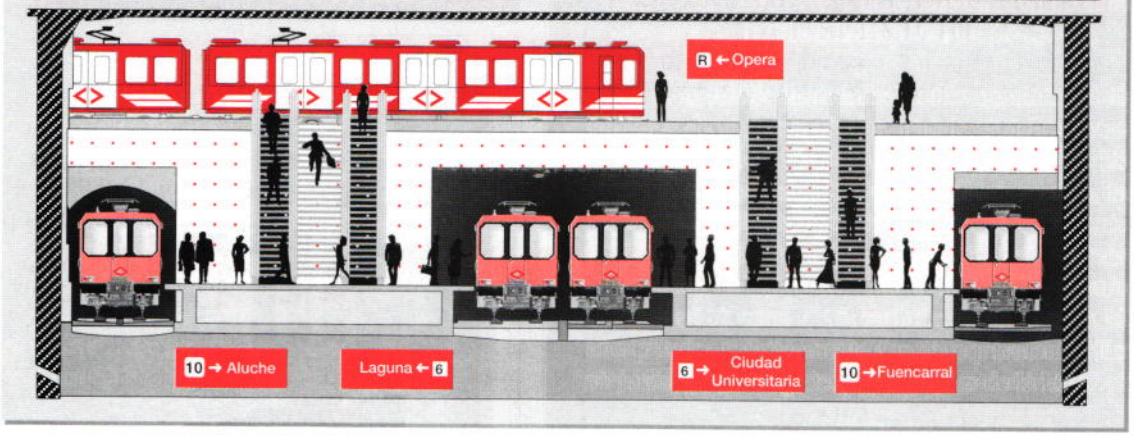
agradable la espera en las estaciones, aunque la mayor parte de los usuarios no recuerde que hace 10 años pasaba mucho más calor. Hay que continuar con esas mejoras de la ventilación, por ejemplo en la línea 5, donde más falta hace, e introducir incluso mejoras complementarias, como la refrigeración evaporativa en las estaciones de aquellas líneas, como la 1 y la 3, cuya densidad de usuarios así lo requiere.

Se programan también mejoras importantes de la señalización de la circulación, fundamentalmente para conseguir reducción del intervalo entre trenes y, por lo tanto, ampliación de capacidad en las líneas que en este momento están al borde de agotarla. Y se propone también una política progresiva de mejora de la accesibilidad al Metro a aquellas personas con movilidad reducida. Se plantea en dos líneas: primero, en todas las estaciones de la ampliación de la red en que todavía es posible, se están introduciendo ascensores, que faciliten el acceso a los andenes a todas las personas a las que las escaleras mecánicas planteen dificultades: ancianos, niños, usuarios con cargas, etc. Se plantea también, y se está tratando con el INSERSO, la posibilidad de

28 • ESTACIÓN DE INTERCAMBIO EN MONCLOA.



29 • ESTACIÓN DE INTERCAMBIO EN PRÍNCIPE PÍO.



introducir esos ascensores en algunas estaciones existentes, que permitan ir avanzando progresivamente para adecuar al uso por personas con movilidad reducida, sí no toda, por lo menos la parte básica de la red. Si se consigue llegar a un acuerdo pronto, la primera actuación, por tratarse de la estación de mayor número de viajeros y, por otra parte, la más emblemática de la red de Metro, sería la adecuación de la estación de Sol, instalando ascensores para facilitar el acceso a todos los andenes de la misma.

Y, por supuesto, tan importante como estas mejoras de la calidad de Metro, es seguir avanzando en la interconexión de las redes, y por lo tanto, en la política de creación ó, en su caso, adecuación de estaciones de intercambio entre varios modos de transporte. Por ejemplo, incorporados a la ampliación actual de la red de Metro, se han planteado intercambiadores de gran importancia estratégica en Príncipe Pío y en Moncloa. A diferencia, no de los últimos que se han construido, pero sí de la mayor parte de las correspondencias heredadas de hace 10 y más años, estas estaciones de intercambio están estudiadas funcionalmente de manera que los trasbordos se simplifican al máximo y se realizan de la forma más sencilla y rápida posible. De esta manera se reducirá notablemente la penalización que siempre percibe el usuario cuando se ve obligado a un trasbordo.

9. CONCLUSION

Para concluir, creo lícito afirmar que, con el conjunto de actuaciones previstas por la Comunidad de Madrid en su Estrategia de Transportes para los próximos ocho años, el futuro del Metro de Madrid no puede mirarse sino con optimismo. Este medio de transporte no solo seguirá desarrollando su fundamental función para garantizar la movilidad en la ciudad, sino que se habrá potenciado para desempeñarla significativamente mejor y en un ámbito de servicio más amplio, atendiendo a un mayor número de usuarios con unos parámetros de calidad cada vez más competitivos.

EL METRO EN LA MOVILIDAD METROPOLITANA

JESÚS RODRÍGUEZ MOLINA
Director Técnico del Consorcio de Transportes de Madrid

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. LA MOVILIDAD METROPOLITANA: PRESENTE Y FUTURO

3. EL REPARTO MODAL EN MEDIOS MECÁNICOS

4. IMPORTANCIA DE LA MOVILIDAD METROPOLITANA CANALIZADA EN METRO

5. LAS REDES DE CERCANÍAS Y DE LOS AUTOBUSES INTERURBANOS

6. LOS INTERCAMBIADORES COMO PIEZAS FUNDAMENTALES QUE ARTICULAN Y POTENCIAN EL MODO COLECTIVO

7. CONCLUSIONES

1. INTRODUCCIÓN

El Area Metropolitana y especialmente la corona metropolitana de la Región de Madrid viene registrando un aumento sostenido de la movilidad por varias causas, los crecimientos de población, la generación de mayor movilidad por habitante, el incremento contínuo del índice de motorización, el mayor volumen de hogares y especialmente de la vivienda unifamiliar, etc...

Además ha contribuído a la mayor movilidad, el crecimiento de la actividad económica en nuestra región con aumentos del PIB regional por encima del 4% durante muchos años que produjo un incremento de puestos de trabajo entre 1985 y 1990 de casi 200.000 nuevos empleos.

Otras características demográficas y sociológicas que han motivado los crecimientos de la movilidad son:

-El mayor peso de la población entre 15 y 64 años, que induce niveles más altos de movilidad, pasando del 63,5% (en 1975) hasta el 69% (en 1991).

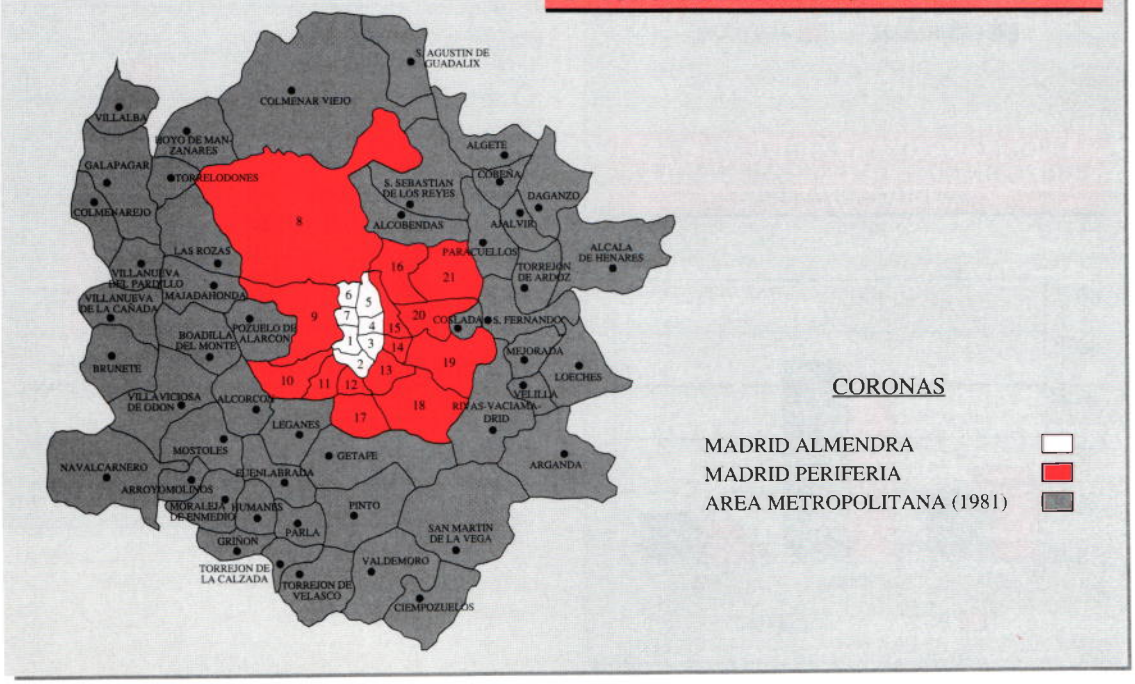
-El aumento del número de hogares y la disminución del tamaño de los mismos desde 3,5 personas (en 1981) hasta 2,97 personas (en 1991).

-La mayor incorporación de la mujer al mercado de trabajo evolucionando su tasa de actividad del 28,9% (en 1985) hasta el 32,1% (en 1991).

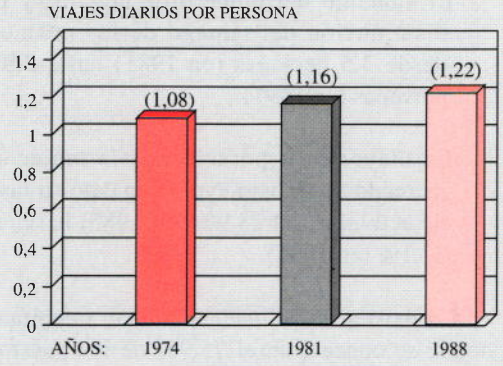
La existencia de una capital, tan importante, donde se concentran el 75,9% de los puestos de trabajo, el 60% de la población y la inmensa mayoría de servicios educativos, culturales, etc. y en menor medida comerciales, da lugar a una estructura radial de la mayor parte de la movilidad de la corona metropolitana, casi el 60% se relaciona con Madrid capital, y la mayor parte (52%) de la demanda radial se realiza en transporte colectivo frente a la demanda transversal, que por una clara mayoría (75%) se mueve en vehículo privado.

Analizando en mayor detalle la movilidad radial hacia la Almendra Central (zona interior a la autovía M-30) se canaliza más del 57% en transporte colectivo frente a solamente el 45% en

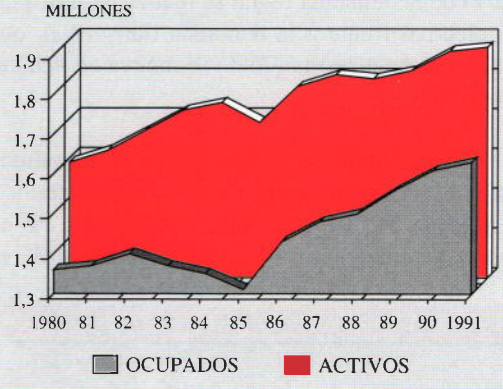
1 • CORONAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID.



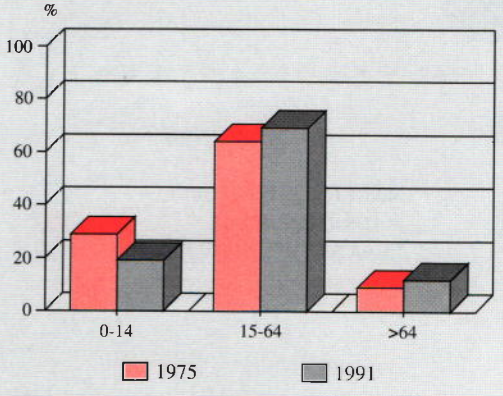
2 • AUMENTO DE LA MOVILIDAD EN MEDIOS MECANIZADOS.



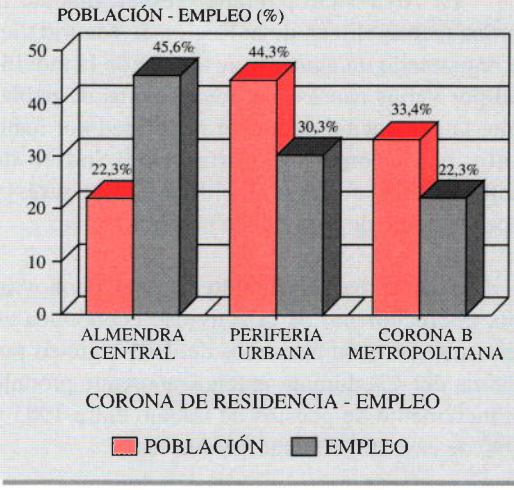
EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN ACTIVA Y OCUPADA EN LA COMUNIDAD DE MADRID (1980-1991).



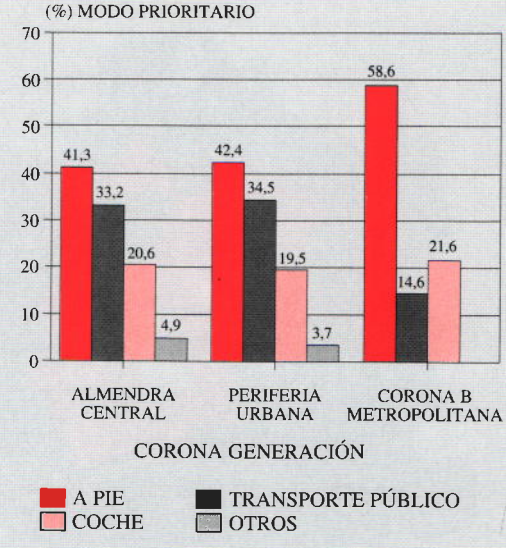
EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR GRUPO DE EDAD EN LA COMUNIDAD DE MADRID (1975-1991).



3 • LOCALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN Y EL EMPLEO SEGÚN CORONAS.



4 • MODO PRIORITARIO DEL VIAJE POR CORONA DE GENERACIÓN.



la periferia urbana de Madrid exterior a dicha autovía. La correlación entre estos resultados y la concentración de la red de metro en la Almendra Central es evidente, ya que en ella se concentran el 72,9% del número de estaciones de dicha red.

En los últimos años, desde la creación del Consorcio de Transportes (1986), se ha potenciado la utilización del transporte colectivo mediante acciones múltiples en las que han sobresalido las actuaciones en las redes ferroviarias de Cercanías de RENFE y METRO DE MADRID y la mejora de los transbordos mediante los INTERCAMBIADORES DE TRANSPORTES, que han abarcado un amplio abanico de beneficios:

-La introducción del ABONO DE TRANSPORTES.

-La construcción y mejora de los INTERCAMBIADORES DE TRANSPORTES: Aluche, Embajadores, Méndez Alvaro, Atocha- RENFE y, otros en construcción (Pza de Castilla, Príncipe Pío, Moncloa, Nuevos Ministerios, Pirámides, Delicias y Estación Sur de Autobuses).

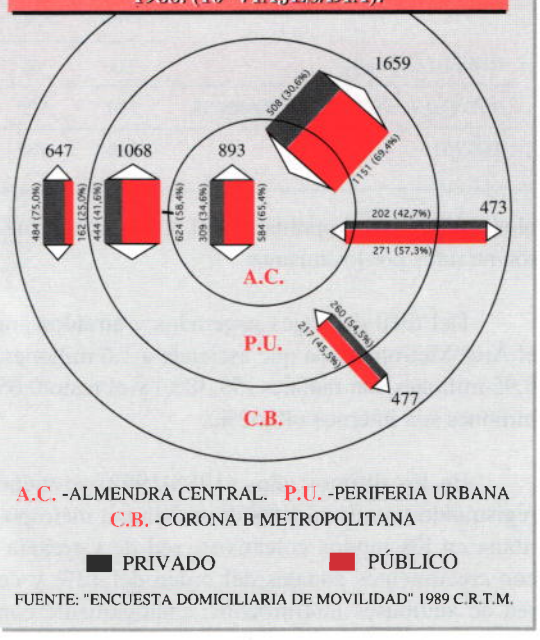
-La mejora y ampliación de las redes de cercanías de RENFE y Metro de Madrid.

-La mejora de la calidad y las reestructuraciones de oferta en la red de Autobuses Interurbanos, coordinada con Cercanías.

-Las reordenaciones y mejoras de la oferta de EMT, coordinando sus itinerarios con las demás redes de transporte para distribuir y concentrar mejor la demanda a través de todo el conjunto urbano de Madrid, renovando e introduciendo nuevos autobuses, articulados, de plataforma baja, con aire acondicionado, etc.

Por otra parte, la Red de Metro participa de una forma muy importante tanto en la movilidad urbana de la capital, como en la concentración y distribución en la ciudad de la movilidad radial entre la Corona Metropolitana y el Municipio de Madrid, y ello teniendo en cuenta que la zona de influencia, en un radio de 600 m. de su Red, sólo atiende al 57,7% de la población de nuestra ciudad.

5 • DISTRIBUCIÓN MODAL DE LOS VIAJES MECANIZADOS POR CORONAS 1988. (10³ VIAJES/DIA).

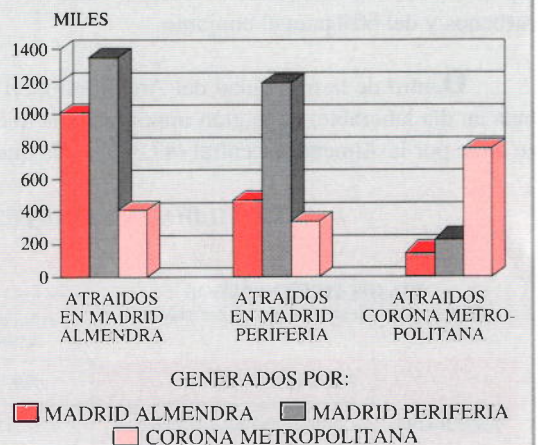


A.C. -ALMENDRA CENTRAL. P.U. -PERIFERIA URBANA
C.B. -CORONA B METROPOLITANA

PRIVADO PÚBLICO

FUENTE: "ENCUESTA DOMICILIARIA DE MOVILIDAD" 1989 C.R.T.M.

6 • VIAJES MECANIZADOS GENERADOS Y ATRAIDOS POR CORONAS.



2. LA MOVILIDAD METROPOLITANA: PRESENTE Y FUTURO

Los últimos datos conocidos sobre la movilidad metropolitana a nivel global datan de 1988.

Entre 1981 y 1988 se ha producido un aumento de la movilidad radial en medios mecanizados de casi medio millón de viajes en día laborable, de los que un 70% se generaron en los munici-

DEMANDA ANUAL EN MILLONES DE VIAJES.

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Δ1992 /1986 (%)
RENFE (cercanías)	60	60	69	81	96	106	121	102
RED DE BUSES INTERURBANOS	120	125	133	139	154	162	167	39
TOTAL	180	185	202	220	250	268	288	60

pios del Área Metropolitana y el 30% restante fueron atraídos por los mismos.

Del total de viajes generados y atraídos por el Área Metropolitana que asciende a 1,6 millones, 0,95 millones son radiales (59,38%) y el resto 0,65 millones son internos (40,62%).

En los últimos años (1988-1992) se viene registrando unos aumentos de movilidad metropolitana en los modos colectivos: red de Cercanías con crecimientos anuales del orden del 12% y de red de autobuses interurbanos, análogamente con incrementos del orden del 6%; ambos se han venido experimentando en los últimos cinco años, siendo los aumentos totales para cada modo del orden del 100% en Cercanías, del 40% en BUSES Interurbanos y del 60%para el conjunto.

Dentro de la movilidad del Área Metropolitana en día laborable, tiene gran importancia la que se atrae por la Almendra Central (47,30%) y la que se genera por la Corona Periférica Urbana (47,08%), ambas del Municipio de Madrid. La primera la forman los siete primeros Distritos Municipales y la segunda el resto del Municipio de Madrid, quedando la Corona Metropolitana como la parte del Area Metropolitana exterior a la capital.

Esta movilidad viene explicada por la gran cantidad de puestos de trabajo que se concentran en la Almendra Central, el 45,6% de toda el Area Metropolitana y el 60,1% de nuestra capital y la distribución antisimétrica de la población que se concentra en la Periferia Urbana, con el 44,3% del Area Metropolitana y el 66,5% de la ciudad de Madrid.

El peso de la movilidad urbana de Madrid en cuanto a número de viajes, es muy fuerte, el 66,88% de todos los viajes de la Región, y aún más si se relaciona con el Area Metropolitana, alcanzando el 67,96% de toda la movilidad metropolitana.

MOVILIDAD METROPOLITANA EN DÍA LABORABLE.

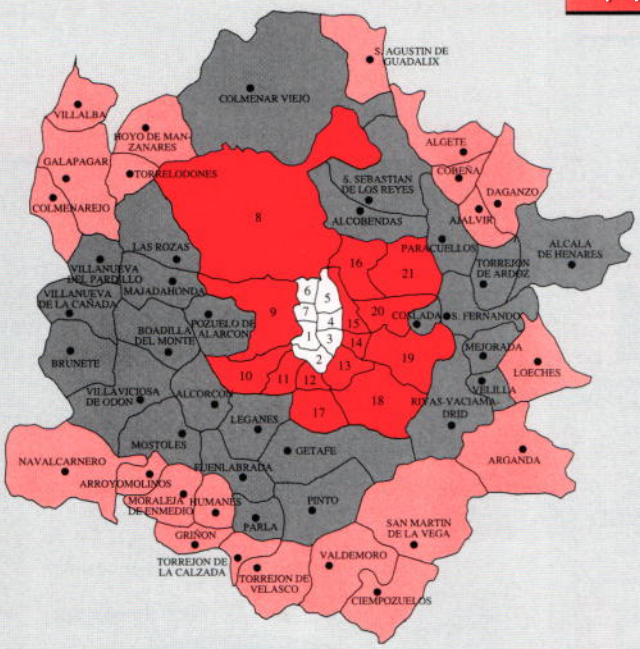
VIAJES MECANIZADOS
(Transporte colectivo + transporte privado)

		ATRAIDOS			
		Almendra central	Corona Periférica Urbana	Corona Metropolitana	SUMA GENERADOS
GENERADOS	Almendra central	969.456	423.919	93.826	1.487.201
	Corona Periférica Urbaba	1.323.500	1.164.874	200.904	2.689.278
	Corona Metropolitana	408.942	340.332	786.347	1.535.621
	SUMA ATRAIDOS	2.701.898	1.929.125	1.081.077	5.712.100

TRANSPORTE COLECTIVO

		ATRAIDOS			
		Almendra central	Corona Periférica Urbana	Corona Metropolitana	SUMA GENERADOS
GENERADOS	Almendra central	590.266	233.235	29.929	853.430
	Corona Periférica Urbaba	924.339	627.006	71.701	1.623.046
	Corona Metropolitana	241.317	145.909	162.605	549.831
	SUMA ATRAIDOS	1.755.922	1.006.150	264.235	3.026.307

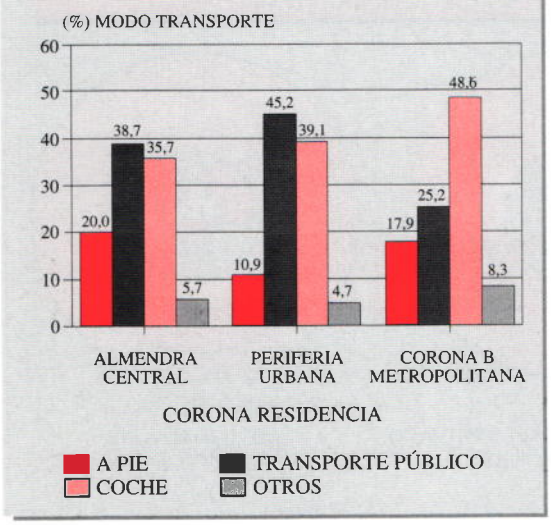
7 • AGREGACIÓN SEGÚN CORONAS.



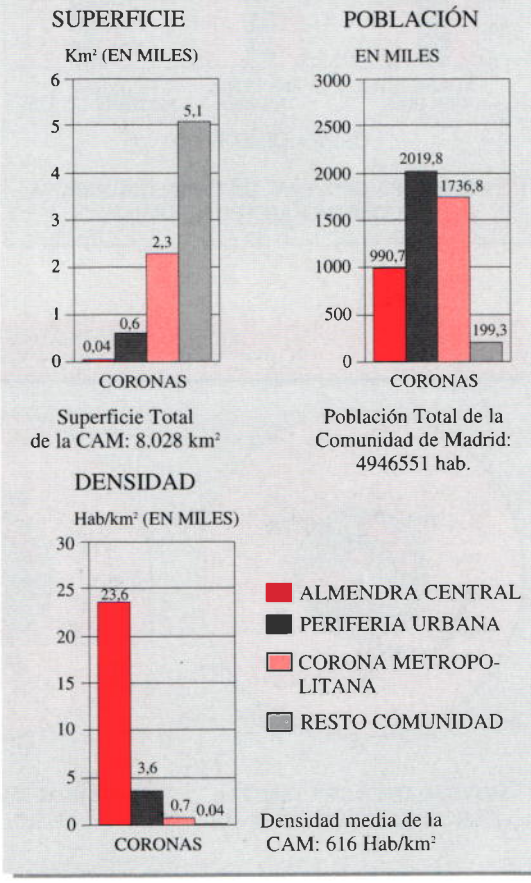
En los últimos años se viene produciendo un aumento en la demanda de viajes que canalizan fundamentalmente los dos grandes operadores dentro del Municipio de Madrid: Metro de Madrid y Empresa Municipal de Transportes de Madrid, siendo más representativa la suma de las dos empresas, ya que así se elimina, en buena medida, incidencias producidas en algunos años.

Pero la movilidad no se puede representar sólo por el número de viajes, ya que es muy dife-

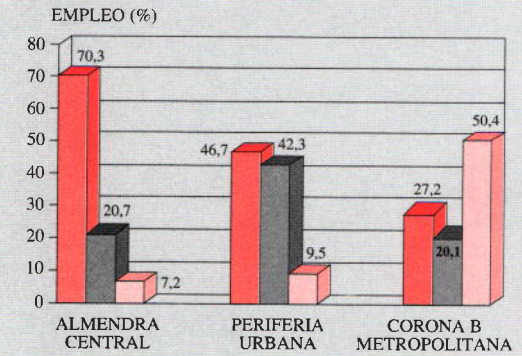
8 • MODO DE VIAJE AL TRABAJO EN FUNCIÓN DE LA CORONA DE RESIDENCIA.



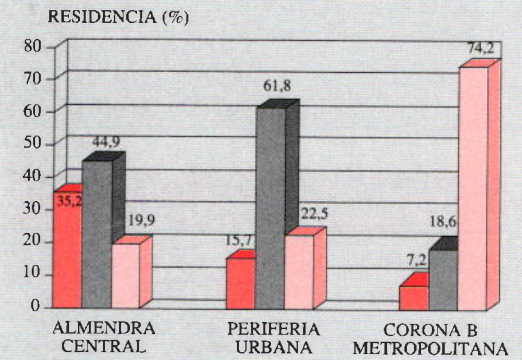
9• POBLACIÓN, SUPERFICIE Y DENSIDAD POBLACIÓN POR CORONAS.



10 • LOCALIZACIÓN DEL EMPLEO EN FUNCIÓN DE LA CORONA DE RESIDENCIA.



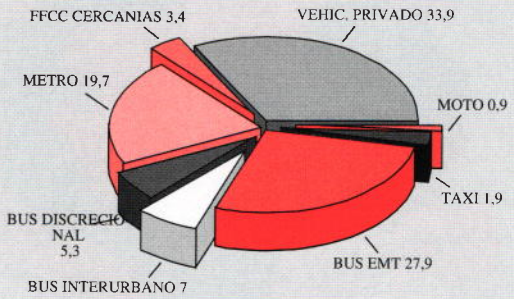
LOCALIZACIÓN DE LA RESIDENCIA EN FUNCIÓN DE LA CORONA DE EMPLEO



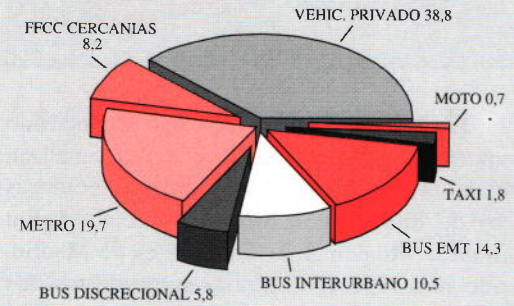
ALMENDRA CENTRAL ■ PERIFERIAURBANA ■ CORONA B METROPOLITANA

12 • MOVILIDAD DE MADRID.

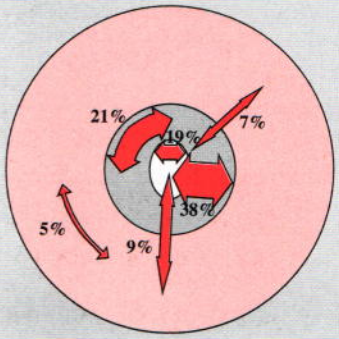
VIAJES MOTORIZADOS. Distribución por modos.



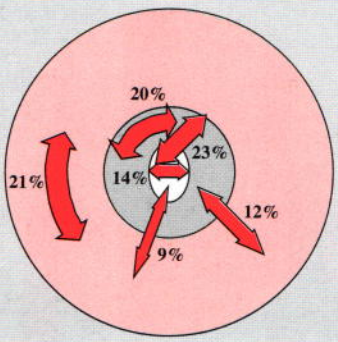
VIAJEROS * Km. Distribución por modos.



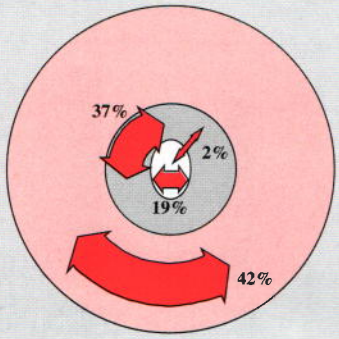
11 • FLUJOS DE MOVILIDAD POR CORONAS: A PIE, VEHÍCULO PRIVADO Y TRANSPORTE PÚBLICO.



MOVILIDAD EN TRANSPORTE COLECTIVO SEGÚN CORONAS



MOVILIDAD EN VEHíCULO PRIVADO SEGÚN CORONAS



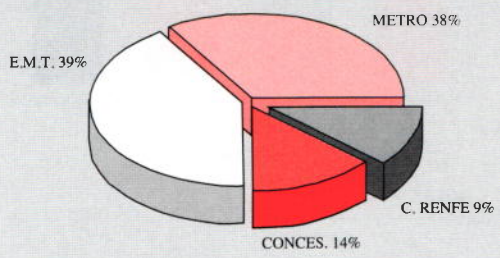
MOVILIDAD A PIE SEGÚN CORONAS

DEMANDA ANUAL EN MILLONES DE VIAJES*.

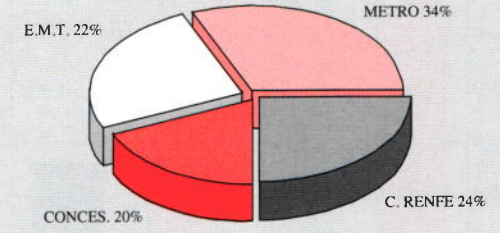
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Δ1992 /1986 (%)
METRO	329	344	371	395	416	401	421	22
EMT	441	445	456	455	434	481	422**	9
TOTAL	770	789	827	850	850	882	843	15

* La demanda en EMT son viajes x línea y en Metro son viajes x red.
** El año 1992 fue un año atípico en EMT por las incidencias que sufrió

13 • COMPOSICIÓN DE LA DEMANDA EN 1990 (Por modo de Transporte).



VIAJEROS



VIAJEROS KILOMETRO

EN MILLONES

OPERADORES	Movilidad anual (10⁶) viajes x km.	% s/TOTAL	Movilidad anual en (10⁶) etapas	% s/TOTAL
METRO DE MADRID	2.285	32,4	617	44,7
EMT DE MADRID	1.684	23,9	481	34,9
CERCANÍAS DE RENFE	1.584	22,4	119	8,6
BUSES INTERURBANOS	1.504	21,3	162	11,8
TOTAL	7.057	100,0	1.379	100,0

rente un viaje que implique más de 15 kilómetros de longitud y la realización de varias etapas, muchas veces en varios modos de transporte, que otro viaje que normalmente se realiza en una sola etapa y tiene una longitud que a veces no supera ni el kilómetro. Por ello es necesario analizar la movilidad con la unidad **viaje x km** ya que de este modo se pone en valor la contribución del sistema de transporte colectivo al funcionamiento de la vida metropolitana y urbana, y a los menores niveles de consumo de energía, de contaminación atmosférica y acústica, de utilización del espacio, de accidentes, etc., todos ellos relacionados con la longitud de los viajes y no solamente con el número de viajes.

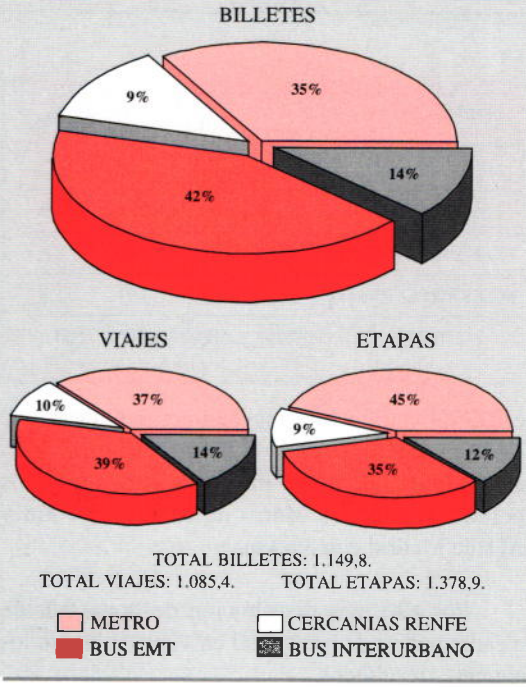
Si distinguimos las diferentes longitudes de los viajes según los modos, resulta que Cercanías de RENFE produce la mayor longitud media de viaje 14,9 km seguida de la Red de Buses Interurbanos con 9,7 km, y a mucha distancia por los operadores urbanos Metro de Madrid 5,7 km y EMT de Madrid con 3,5 km.

Por ello, una distribución de la aportación de cada modo a la movilidad en viajes x km da los siguientes resultados.

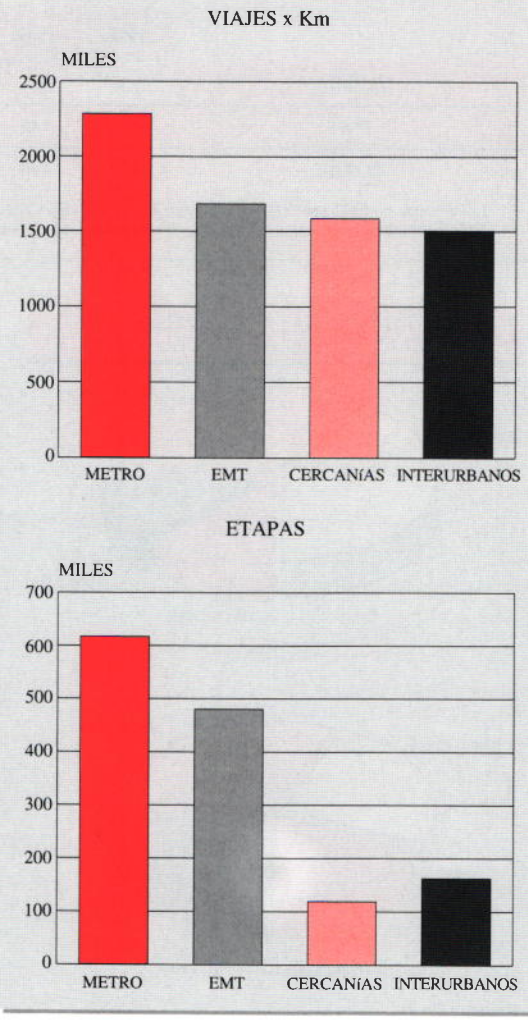
Esta primera clasificación ya nos demuestra el mayor peso que tienen los modos metropolitanos cuando se considera la longitud de los viajes, encontrándose muy próximos a la importancia de la EMT de Madrid y siempre precedidos por Metro de Madrid que representa el modo que soporta la mayor contribución en el Sistema de Transportes de Madrid, y ello tiene mayor mérito si se considera que a diferencia de la red de EMT que llega a prácticamente todo el Municipio de Madrid, 99,8% de su población, (a excepción de El Pardo) la red de Metro sólo atiende directamente en la actualidad al 57,7% de los ciudadanos de Madrid.

Una clasificación que relacione la movilidad con el origen y destino de los viajes al considerar la movilidad metropolitana no debería tener en cuenta los viajes que genera y atrae la Corona C, llamada Corona Regional y pará conocer la importancia de la Corona Metropolitana habría que

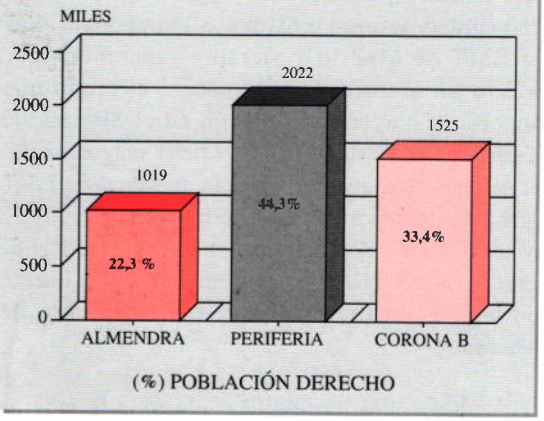
14 • DEMANDA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN 1991.



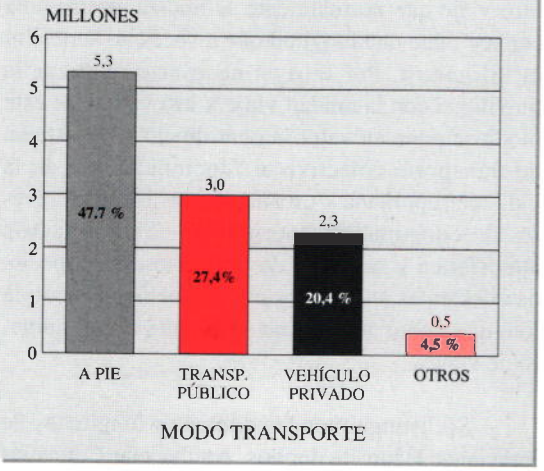
15 • MOVILIDAD ANUAL SEGÚN OPERADORES.



17 • NÚMERO DE HABITANTES SEGÚN CORONAS.

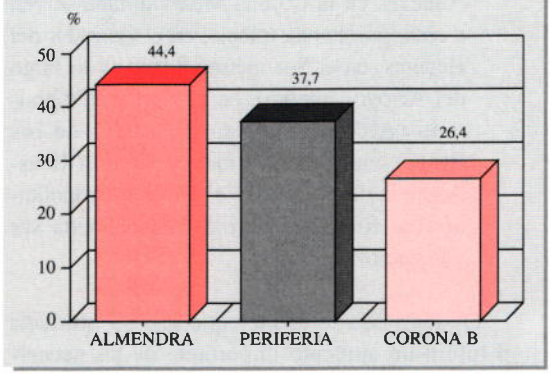


16 • VIAJES TOTALES.

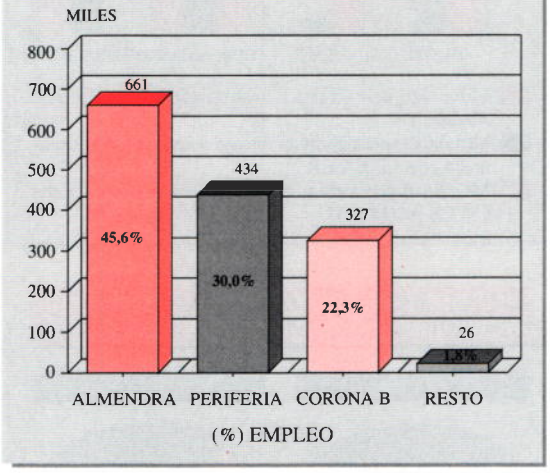


	(106) Viajes x km / año					
	EN METRO	EN EMT	EN CERCANÍAS	EN BUS INTERURBANO	SUMAS	% S/TOTAL
Movilidad con origen y destino en el Municipio de Madrid A→A	1.882,2	1.590,3	193,9	14,8	3.687,2	52,25
Movilidad Metropolitana interna a Corona Metropolitana con origen o destino en Corona Metropolitana A→B B→A B→B	370,4	89,2	1.363,0	1.256,7	3.079,3	43,63
Movilidad generada o atraída por la Corona Regional C→A C→B A→C B→C y C→C	26,4	4,5	27,1	232,5	290,5	4,12
TOTAL	2.285,0	1.648,0	1.584,0	1.504,0	7.057,0	100,0

18 • % FAMILIAS SIN VEHÍCULO SEGÚN CORONAS.



19 • NÚMERO DE EMPLEOS SEGÚN CORONAS.



separar la movilidad con origen y destino dentro del Municipio de Madrid y finalmente el resto de la movilidad metropolitana, tanto la interna a dicha corona como la que se genera por los ciudadanos que viven en dicha corona y tienen su destino en Madrid capital, y también la que se genera por los ciudadanos de esta ciudad que viajan a su destino en la Corona Metropolitana.

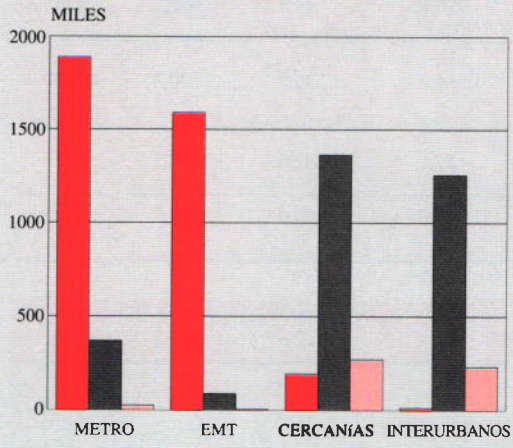
Los resultados de esta clasificación aparecen en la tabla, teniendo en cuenta que algunos viajes constan de varias etapas en diferentes modos.

Del análisis de este cuadro se deduce que la importancia en la red de transporte colectivo de los **viajes x km** tiene un peso más parecido a la movilidad metropolitana con origen y destino en el Municipio de Madrid que el resto de la movilidad metropolitana, (54% y 46%) frente a la comparación en viajes que era (68%-32%) y que debido a la mayor longitud de los viajes con origen o destino en la Corona Metropolitana es muy eficiente la captación del mayor volumen posible de estos ciudadanos al modo colectivo, puesto que los beneficios sociales, ya descritos, en relación con los menores: consumo de energía, contaminación de todo tipo, accidentes, ocupación del espacio, etc. y en general a la consecución de una mayor calidad de vida, tienen una gran influencia que estos viajes tan largos se realicen en el modo colectivo en lugar de realizarse en vehículo privado.

De cara al futuro conviene señalar lo siguiente:

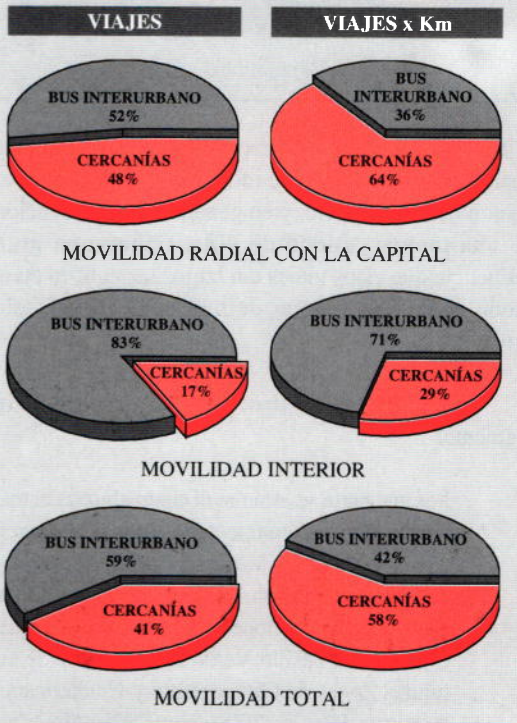
-Por una parte se están realizando algunas actuaciones que van a aumentar el peso del Municipio de Madrid en la concentración de puestos de trabajo como son las Areas de Terciario del Campo de las Naciones, de la Zona de Plaza de Castilla, del Pasillo Verde Ferroviario y de las futuras Zonas de Campamento y Ciudad Aeroportuaria Barajas 2000, como ejemplos más significativos y, más recientemente, se anuncia una nueva actuación en la zona de Chamartín.

20 • MOVILIDAD EN VIAJES x Km x AÑO RELACIONANDO LA GENERACIÓN DE LOS VIAJES Y SU ENCADENAMIENTO MODAL.



- Movilidad con origen y destino en el municipio de Madrid AA
- Movilidad metropolitana interna y con origen o destino en ella AB BA BB
- Movilidad generada o atraida por la Corona Regional CA CB AC BC CC

21 • MOVILIDAD DE LA CORONA METROPOLITANA EN MODOS COLECTIVOS.

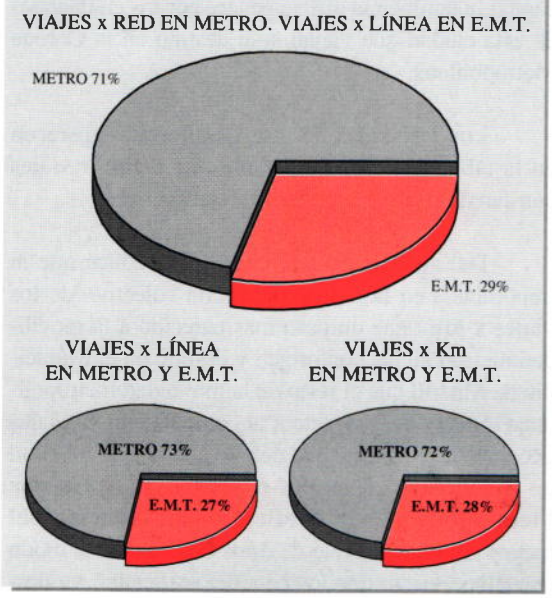


-Por otra parte, es previsible un crecimiento de la población en la Corona Metropolitana y una lenta pero continuada reducción de la población en el Municipio de Madrid. Ello se viene produciendo desde hace varios años. Así en 1975 la población de la capital era el 75% del total de la región y actualmente sólo alcanza el 60%. Además, la considerable menor edad media de la población en la Corona Metropolitana hace que el dinamismo demográfico sea positivo en este ámbito territorial. De los 575.000 ciudadanos de la región con más de 65 años, más del 78% se concentran en Madrid capital.

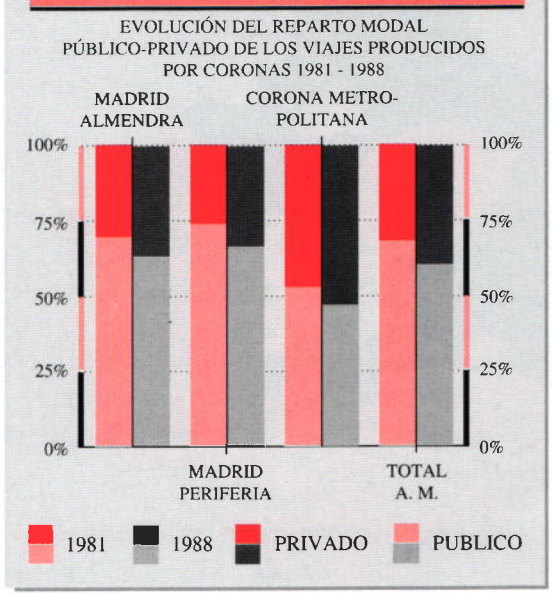
-Además, en la Corona Metropolitana se van a crear puestos de trabajo: en el Corredor del Henares, en el Sur metropolitano (a lo largo del Arroyo Culebro), en el Norte metropolitano (Alcobendas-San Sebastián de los Reyes), en el Sureste metropolitano (Rivas-Arganda del Rey) y en el Oeste metropolitano (Las Rozas, El Barrial, Majadahonda Sur y Pozuelo).

De todo ello se deduce que se va a producir en el futuro un aumento importante de las necesidades de movilidad metropolitana que, como ya se ha descrito, requiere etapas tanto en los modos propiamente metropolitanos como en los modos

22 • MOVILIDAD RADIAL EN DÍA LABORABLE CANALIZADA POR METRO Y E.M.T.



23 • DISTRIBUCIÓN MODAL DE LA MOVILIDAD.



urbanos de Madrid. Para atraer mejor a esta movilidad se necesitará, por una parte, ampliar la red de metro, para ir completando la capacidad de distribución y concentración de orígenes y destinos en nuestra capital, y, por otro lado, mejorar las estaciones de intercambio TREN-METRO y BUSES INTERURBANOS-METRO, mediante modernos y eficaces INTERCAMBIADORES que minimicen el transbordo físico, una vez que desde hace ya muchos años se han despenalizado tarifariamente los transbordos para los usuarios habituales que utilizan el ABONO DE TRANSPORTES.

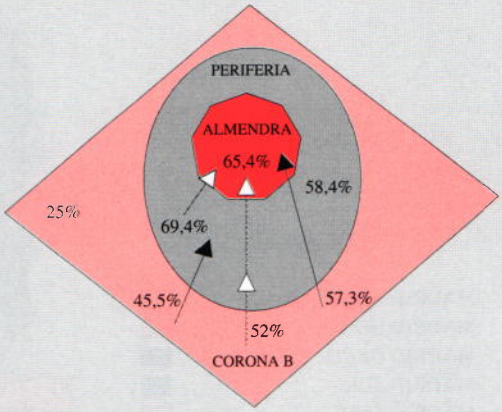
3. EL REPARTO MODAL EN MEDIOS MECANIZADOS

Analizando en profundidad la distribución entre transporte colectivo y vehículo privado se obtienen los siguientes resultados para el Area Metropolitana.

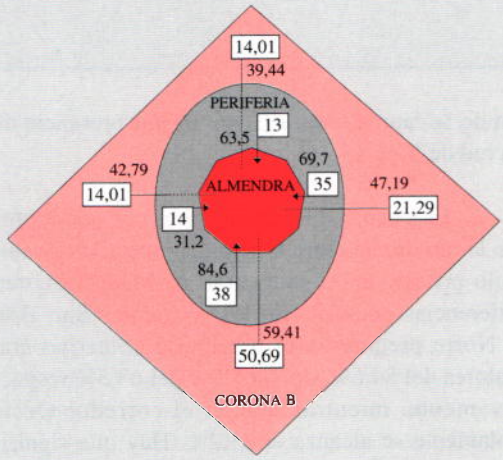
En la Almendra Central (interior a la M-30), donde se concentra la red de Metro y existen las mayores posibilidades para el transporte colectivo, este medio canaliza el 65,4% de todos los viajes interiores a dicho núcleo.

En cuanto a la Periferia Urbana de Madrid, que forma la corona del Municipio de Madrid exterior a la Almendra Central, se produce en trans-

24 • REPARTO MODAL: PÚBLICO - PRIVADO NIVEL ESPACIAL POR CORREDORES.



25 • REPARTO MODAL: PÚBLICO - PRIVADO NIVEL ESPACIAL POR CORREDORES.

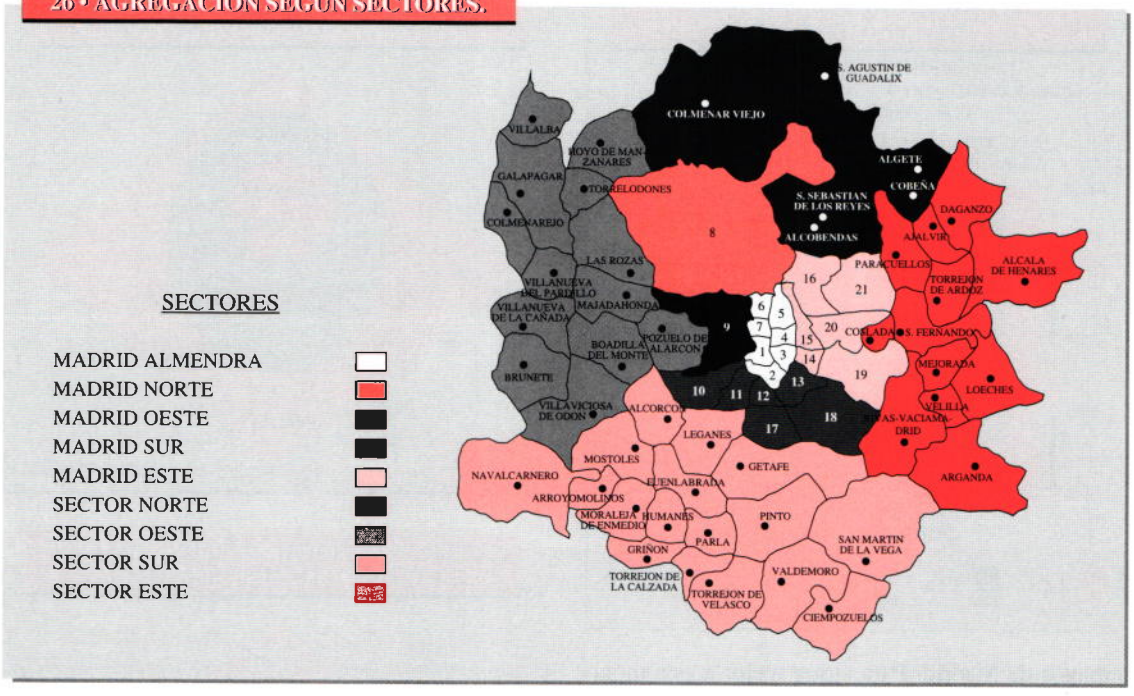


-Desarrollo de la Red de Cercanías
-Niveles de renta
-Índices de motorización
-Saturación de las carreteras y autovías, tiempos de viaje en autobús
-Estaciones de Intercambio: Plaza de Castilla, Moncloa y Príncipe Pio

porte colectivo el 58,4% de los viajes internos a esta corona, el 69,4% de los viajes entre la Periferia y la Almendra Central y el 45,5% de los viajes que relacionan la Periferia con la Corona Metropolitana.

Finalmente, en la Corona Metropolitana, los viajes internos sólo canalizan en transporte colectivo un 25% de esta movilidad, mientras que se eleva al 52% en la movilidad radial siendo el 57,3% para los viajes entre esta Corona y la Almendra Central de la capital, y el 45,5% para los viajes que se relacionan con la Periferia Urba-

26 • AGREGACIÓN SEGÚN SECTORES.



na de la capital, donde existe menor presencia de la red de Metro.

En cuanto a la distribución por corredores de la movilidad entre transporte colectivo y vehículo privado en el Municipio de Madrid existen diferencias notables. En los corredores Sur, Este y Norte predomina el transporte colectivo con valores del 84,6%, del 69,7% y del 63,5% respectivamente, mientras que en el corredor Oeste solamente se alcanza el 31,2%. Hay que significar que además existe un reparto de la movilidad total muy diferente en el sur y el este con el 38% y 35% respectivamente y en cambio en el norte y el oeste sólo se alcanza el 13% y 14% por este orden.

En la Corona Metropolitana, como se ha visto, la distribución entre transporte colectivo y vehículo privado es muy diferente según sea radial o interior, así mientras en los viajes radiales el 52% se realiza en transporte colectivo, solamente se alcanza 25% en los viajes internos a la Corona Metropolitana, ello se explica por la dificultad que tienen losl modos colectivos para atender demandas dispersas que dan lugar a ofertas con intervalos poco atractivos.

Por otra parte, si analizamos la movilidad radial de la Corona Metropolitana en cuatro sectores, sólo en el sector Sur, que canaliza el 50,69% de toda la movilidad radial, participa mayoritariamente el transporte colectivo con el 59,41%. Para los restantes sectores estos valores van decreciendo desde el 47,19% en el sector Este, pasando al 42,79% en el sector Oeste, hasta el menor peso, del 39,44%, en el sector Norte. La movilidad que se canaliza por estos corredores es más reducida que en el sector Sur, alcanzando el 21,29% en el sector Este y la misma participación de los otros dos sectores Oeste y Norte con el 14,01% cada uno. Ello pone de manifiesto que, aparte de otras causas donde existen mayores niveles de movilidad, la captación del transporte colectivo tiene mayor peso.

Como se ha descrito, dentro de la movilidad radial es muy diferente la distribución transporte colectivo-vehículo privado entre los diferentes corredores. Ello se explica por las siguientes diferencias:

-El desarrollo de la red ferroviaria de cercanías.
-Los niveles de renta.
-Los índices de motorización.
-El grado de saturación de la red de carreteras y su influencia en los tiempos de viaje en autobús, especialmente cuando no existe ferrocarril.

Además, en ello puede influir la conexión, actualmente deficiente, de las redes de Cercanías, de Buses Interurbanos, de Metro y de EMT, que por el norte y el oeste se realiza en la Estación del Norte, en Plaza de Castilla, y en Moncloa y que cambiará radicalmente cuando estén terminados los Intercambiadores de Príncipe Pío, de Plaza de Castilla y de Moncloa, así como la conexión del Pasillo Verde con Pirámides, Delicias, Méndez Alvaro y Atocha, poniendo en relación muy directa al Oeste y al Norte con varias líneas de Metro que optimizarán los tiempos de viaje en los modos colectivos para muchas de estas relaciones; así como la próxima inauguración de la calzada BUS-VAO, que va a potenciar notablemente la oferta de transporte colectivo desde su puesta en servicio y mucho más cuando esté terminado el intercambiador de MONCLOA, que va a posibilitar la distribución de viajeros a través de la línea 6, prolongada y cerrada en anillo, y la conexión con la red de Buses Interurbanos, mediante una nueva estación subterránea para estos autobuses y para algunas líneas de EMT.

4. IMPORTANCIA DE LA MOVILIDAD CANALIZADA EN METRO

La movilidad de la Corona Metropolitana que se relaciona con el Municipio de Madrid, tanto la generada por la Corona como la que tiene su origen en Madrid, es mayoritariamente concentrada o distribuida según el sentido del viaje por la red de Metro de Madrid.

En la encuesta domiciliaria, los viajes canalizados en Metro se consideran como viaje x red es decir cada viaje puede suponer la realización de uno o más viajes en línea, como valor medio resulta 1,52 viajes x línea/viajes x red, mientras que los viajes canalizados por EMT se consideran como viaje x línea, y además, como ya se ha citado, la red de EMT abarca la práctica totalidad del Municipio de Madrid (99,8% de su población) mientras que la red de Metro sólo atiende directamente al 57,7% de los ciudadanos de nuestra capital. Pues bien, a pesar de esas limitaciones, Metro de Madrid canaliza el 72% de los viajes que se realizan en la ciudad de Madrid por Metro y EMT, por la movilidad radial entre Corona Metropolitana y Madrid Capital. Si se tradujeran los viajes x red a **viajes x línea** o a **viajes x km,** para un análisis más riguroso, el resultado sería aún más favorable a Metro ya que se alcanzaría el 80% de todos los viajes

La importancia que representa la red de Metro para recoger y distribuir la demanda entre la Corona Metropolitana y nuestra capital tiene su explicación en las siguientes razones:

-La inmensa mayoría de la movilidad radial entre las coronas A hacia B y B hacia A está motivada por viajes de trabajo y de estudios, lo que hace que la mayor velocidad y regularidad de la red de metro sea muy apreciable, aunque implique más transbordos.

-La movilidad analizada comporta una longitud de viaje muy elevada con valores medios en el modo interurbano de 14,9 km y de 9,7 km según que el viaje interurbano se realice mediante la red de Cercanías de RENFE o a través de la Red de Buses Interurbanos, lo cual estimula la utilización del modo de transporte urbano que minimice el tiempo de viaje o sea la red de Metro de Madrid.

Movilidad radial en día laborable canalizada por Metro y EMT	En Metro viajes x red	En EMT viajes x red	TOTAL	En Metro viajes x línea	En EMT viajes x línea	TOTAL	En Metro viajes x km	En EMT viajes x km	TOTAL
Movilidad desde Corona a Madrid	114.165	46.354	160.519	173.531	46.354	219.885	650.741	162.239	812.980
Movilidad desde Madrid a Corona	117.888	44.069	161.957	179.190	44.069	223.259	671.962	154.242	826.204
TOTAL	232.053	90.423	322.476	352.721	90.423	443.144	1.322.703	316.481	1.639.184
% s/TOTAL	71,96	28,04	100,00	79,60	20,40	100,00	80,69	19,31	100,00

	En Metro viajes x km	En EMT viajes x km	TOTAL	En Metro viajes x línea	En EMT viajes x línea	TOTAL
Movilidad urbana (10^6) en día laborable canalizada por Metro y EMT	8,32	6,98	15,3	2,21	1,99	4,2
% s/TOTAL	54,38	45,62	100,00	52,62	47,38	100,00

-Una explicación especial, se produce cuando el encadenamiento de los viajes es posible a través del modo ferroviario es decir entre Cercanías de RENFE y la Red de Metro, entonces la canalización de Metro alcanza el 84%.

Por otra parte, como ya se ha expuesto en la Introducción, la red de Metro absorbe la mayor parte de la movilidad urbana del Municipio de Madrid cuando se mide en una misma unidad.

Sin embargo, los resultados son menos brillantes que cuando se analizaba la movilidad radial. Ello se debe a varias razones:

-Por una parte el Metro sólo atiende directamente al 57,7% de los ciudadanos de Madrid.

-Además, la existencia de sólo diez líneas de Metro obliga en muchos casos a la realización de transbordos. Diariamente se realizan entre líneas de Metro unos 900.000 intercambios.

-Algunas estaciones de metro están muy profundas, especialmente las de las líneas de gálibo ancho, entre los números 6 y 9, destacando las estaciones de línea 6: Cuatro Caminos (a - 48 metros) y Guzmán el Bueno (a - 46 metros).

-Los intercambios entre modos no están todos bien resueltos y entre algunas líneas implican recorridos muy largos e incómodos: Diego de León, Nuevos Ministerios, Embajadores-Acacias, Plaza de España-Noviciado, especialmente.

	En Metro	En EMT	TOTAL
Movilidad urbana	8,32	6,98	15,30
Movilidad entre Corona Metropolitana y Capital	1,32	0,32	1,64
SUMA	9,64	7,30	16,94
% s/TOTAL	56,91	43,09	100,00

Integrando las movilidades urbanas y entre la Corona Metropolitana y la Capital, resultan los siguientes valores en (10^6) **viajes x km**.

Por lo tanto, puede concluirse que la importancia del Metro en la movilidad metropolitana es ya importante. Del orden del 57% se canaliza por su red y sobre todo tiene una tendencia al crecimiento, ya que la red de Metro tiene un futuro de mayor desarrollo mediante los planes de ampliación. Para atender cada día a más barrios residenciales y puestos de trabajo de nuestra ciudad (actualmente se amplían las líneas 1, 6 y 10) y se están realizando muchas inversiones para mejorar los Intercambiadores de Transportes y la oferta de todo el Sistema de Transportes de la Región de Madrid, todo lo cual hace que la importancia de la Red de Metro siga aumentando y colaborando muy eficazmente a la mayor captación de demandas para el Transporte Público.

Movilidad diaria de la Corona Metropolitana en modos colectivos	EN BUSES INTERURBANOS		EN CERCANÍAS		TOTAL	
	Viajes	Viajes x km	Viajes	Viajes x km	Viajes	Viajes x km
Movilidad radial con la capital	317.941	3.084.028	291.775	5.510.805	609.716	8.594.833
Movilidad interior	157.310	1.162.350	32.845	467.191	190.155	1.629.541
Movilidad total	475.251	4.246.378	324.620	5.977.996	799.871	10.224.374
% s/TOTAL	59,42	41,53	40,58	58,47	100,00	100,00

5. LAS REDES DE CERCANÍAS Y DE LOS AUTOBUSES INTERURBANOS

Si bien los datos de la última Encuesta Domiciliaria datan de 1988, y cualquier comparación de la movilidad global tiene que referirse a dicho documento, la movilidad en transporte colectivo puede actualizarse a través de aforos y encuestas realizadas en el ámbito de los operadores de transporte. Ello ha permitido conocer mejor la movilidad actual que se está realizando a través de la Red de Cercanías y de la Red de Autobuses Interurbanos mediante las mediciones realizadas en 1992.

Comparando la movilidad radial de la Corona Metropolitana en modos colectivos en 1992 con la existente en la Encuesta Domiciliaria de 1988, resultan las siguientes observaciones:

-En el conjunto de ambas redes, Autobuses y Ferrocarril, se ha producido un incremento del 50,09%.

-Para la Red de Cercanías de Renfe el aumento ha sido muy fuerte, del 101%.

-Para la Red de Autobuses Interurbanos el crecimiento fué del 21,8%.

-En número de viajes, la mayor captación se produce en la Red de Autobuses Interurbanos, que obviamente llega prácticamente a todos los Municipios, con el 59,4% de toda la movilidad y el 52.1% de la movilidad radial.

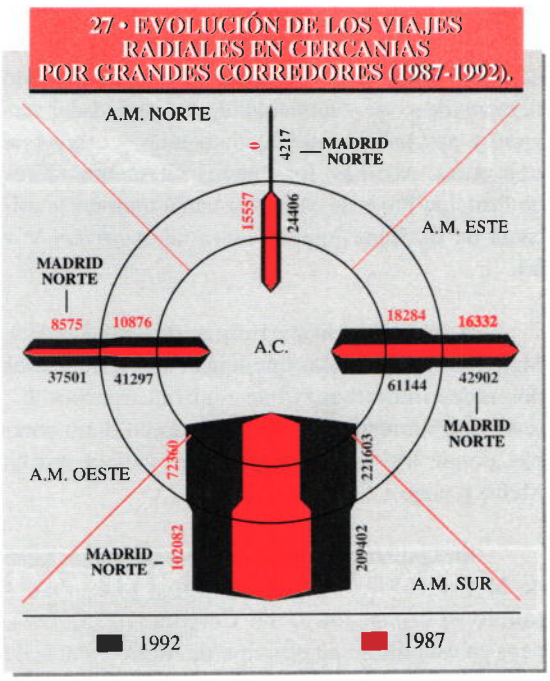
-En cambio, en **viajes x km** la participación de la Red de Cercanías es notablemente superior, tanto en la movilidad total con el 58,5% como en la movilidad radial con un resultado espectacular del 64,1%. Ello tiene un notable mérito si se relaciona con la cobertura de esta red que deja fuera de su ámbito a numerosos Municipios del Area Metropolitana.

De cara al futuro se van a producir mejoras en ambas redes y no es fácil evaluar cual de ellas va a producir más atractivo.

Por una parte, la red de Cercanías va a aumentar y mejorar su red. Como ejemplos pueden señalarse el Pasillo Verde Ferroviario, la futura

Movilidad en Metro y EMT por la demanda radial	Metro viajes	EMT viajes	TOTAL viajes
BUSES INT + METRO	157.693		157.693
BUSES INT + METRO + EMT	15.965	15.965	31.930
BUSES INT + EMT		60.374	60.374
SUBTOTAL	173.658	76.339	249.997
% S/SUBTOTAL	69,46	30,54	100,00
CERCANÍAS + METRO	166.997		166.997
CERCANÍAS + METRO + EMT	12.788	12.788	25.576
CERCANÍAS + EMT		44.302	44.302
SUBTOTAL	179.785	57.090	236.875
% S/SUBTOTAL	75,90	24,10	100,00
TOTAL DOS REDES	353.443	133.429	486.872
% S/SUBTOTAL	72,59	27,41	100,00

27 • EVOLUCIÓN DE LOS VIAJES RADIALES EN CERCANIAS POR GRANDES CORREDORES (1987-1992).



Movilidad en Metro y EMT por la demanda radial	Metro	EMT	TOTAL
Viajes x km a través de BUSES INTERURBANOS	989.851	267.187	1.257.038
% S/TOTAL	78,74	21,26	100,00
Viajes x km a través de CERCANÍAS DE RENFE	1.024.775	199.815	1.224.590
% S/TOTAL	83,68	16,32	100,00
Viajes x km en AMBAS REDES	2.014.626	467.002	2.481.628
% S/TOTAL	81,18	18,82	100,00

conexión con Alcobendas y San Sebastián de los Reyes, los nuevos apeaderos, las mejoras de los Intercambiadores de Transporte que obviamente van a potenciar la utilización de esta Red, tanto por sí misma como por el efecto multiplicador que tiene su mejor coordinación con la Red de Metro.

La red de autobuses interurbanos está sufriendo las dificultades de circulación que se producen en las entradas y salidas de las carreteras y autovías radiales que llegan a Madrid capital. Actualmente, se encuentra en construcción la calzada BUS-VAO de la Autovía Nacional VI que va a inaugurarse en su primer tramo entre Aravaca y Puerta de Hierro antes de los próximos dos meses y otras mejoras para la circulación de autobuses se están estudiando en la Autovía Nacional 401 y en la Autovía Nacional V y con carácter general en otras Autovías de Acceso a Madrid, lo que permitirá aumentar la velocidad comercial y la regularidad de los autobuses interurbanos, disminuyendo tiempos de viaje y aumentando la calidad del servicio y previsiblemente las demandas y ofertas de transporte. Además, los nuevos intercambiadores de Príncipe Pío y de Moncloa van a mejorar la eficacia de las líneas que sirven a las Autovías V y VI.

Analizando la participación de la red de Metro en las demandas que llegan a Madrid, en las dos redes interurbanas que realizan transbordos, resulta lo siguiente para la demanda en día laborable, donde los valores representan viaje x red en Metro y viaje x línea en EMT.

En la distribución se observa un mayor peso de Metro tanto con la red de Buses Interurbanos (69,46%) como con la de Cercanías (75,90%), pero en esta última la elección de Metro es más de seis puntos superior. Por otra parte, disminuye mucho la captación cuando se utilizan los dos modos urbanos, menos del 7% en la Red de Buses Interurbanos y menos del 6% en la Red de Cercanías.

Por ello, el Sistema de Transportes podrá aumentar la captación de viajes entre la Corona Metropolitana y la capital cuando se prolongue la red de Metro, ya que se aumentará el atractivo para realizar los largos viajes metropolitanos en transporte colectivo minimizando los tiempos de viaje y disminuyendo los transbordos hoy obligados en muchas ocasiones por la inexistencia de red de Metro en muchos Barrios, donde hay viviendas o puestos de trabajo y estudios.

Estos valores son aún más favorables para Metro cuando se homogeneizan las unidades, por ejemplo a **viajes x km.**

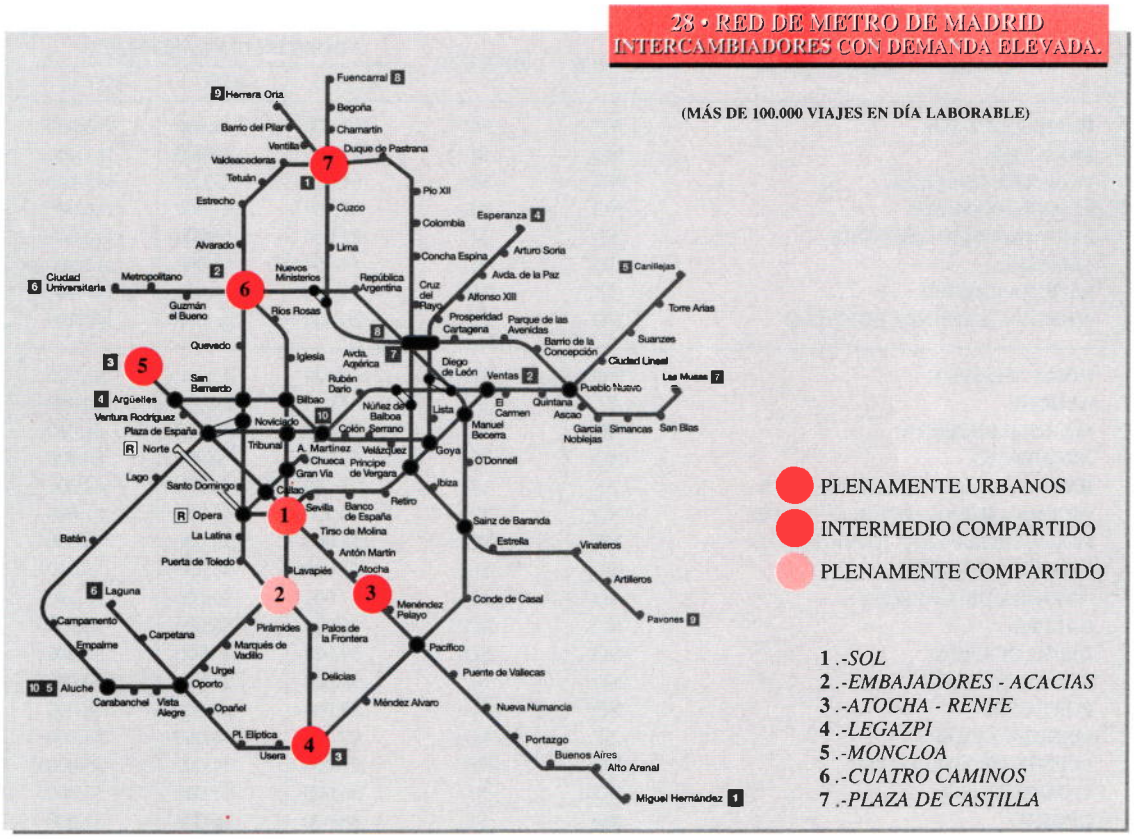
Los resultados son lo suficientemente rotundos para concluir que la participación de Metro en la canalización de la demanda radial metropolitana es muy alta y tiene tendencia a continuar subiendo, ya que las futuras ampliaciones de la Red de Metro por una parte, las mejoras de oferta de las Redes Interurbanas por otra y finalmente la construcción de nuevos Intercambiadores, van a potenciar el aumento global de la movilidad en el modo colectivo y la mayor participación de la Red de Metro.

6. LOS INTERCAMBIADORES COMO PIEZAS FUNDAMENTALES QUE ARTICULAN Y POTENCIAN EL MODO COLECTIVO

Es evidente que las ventajas de utilización del vehículo individual se centran en general en la privacidad del viaje con lo que ello significa de confort personal, música y temperatura elegidas, etc. y en la realización de cualquier viaje en un solo modo cuando así se desea.

El transporte colectivo para dotar de frecuencias atractivas en sus redes tiene que concentrar las ofertas y ello obliga a la realización de transbordos para conectar unas redes con otras, lo cual se puede favorecer cuando se conciben las estaciones de intercambio para minimizar los recorridos entre trenes, entre trenes y autobuses o entre diferentes autobuses y las diferencias de cotas a salvar entre unos y otros medios. Si el Abono de Transportes despenaliza tarifariamente los transbordos, los modernos y eficaces Intercambiadores minimizan físicamente los cambios entre medios de transporte. A veces no resulta fácil ni barato realizar un intercambio atractivo pero a la larga las inversiones se amortizan si así se consigue una mayor captación de viajes al modo colectivo.

Existen Intercambiadores que integran los cuatro modos, Cercanías de RENFE, Buses Inte-



rurbanos, Metro y EMT, y otros en los que existen dos o tres modos sólamente. Para analizarlos se ha realizado una clasificación según el volumen de captación de demanda en las redes urbanas.

A la vista de la capacidad de captación de los cincuenta Intercambiadores resalta lo siguiente:

-Existen varios Intercambiadores exclusivamente urbanos que captan demandas muy importantes como SOL, GOYA, MANUEL BECERRA, PLAZA DE ESPAÑA, CALLAO, DIEGO DE LEÓN, PORTAZGO, PUENTE DE VALLECAS y BILBAO que articulan entre cincuenta mil y más de ciento sesenta mil viajes diarios.

-De ellos hay cinco en los que predomina el peso de Metro: SOL, PLAZA DE ESPAÑA, DIEGO DE LEÓN, PORTAZGO y BILBAO, dos en los que tienen más participación la demanda de EMT: MANUEL BECERRA y PUENTE DE VALLECAS y los otros dos que están muy equilibrados: GOYA y CALLAO.

-En cuanto a los Intercambiadores Metropolitanos, llama la atención el enorme peso que tienen ATOCHA-RENFE y ATOCHA-SANCHEZ BUSTILLO, que si se fusionaran darían lugar a la mayor demanda, con más de 200.000 viajes diarios, siendo el primero marcadamente volcado al Metro y el segundo simétricamente hacia EMT.

-Los grandes Intercambiadores Metropolitanos (por encima de los 100.000 viajes) MONCLOA, PLAZA DE CASTILLA, CUATRO CAMINOS, EMBAJADORES y LEGAZPI presentan una participación equilibrada de Metro y EMT.

-En los siguientes, entre cincuenta mil y cien mil viajes, ALUCHE, ARGÜELLES, CIUDAD LINEAL, NUEVOS MINISTERIOS, AVENIDA DE AMÉRICA, CONDE DE CASAL, MÉNDEZ ÁLVARO, CAMPAMENTO, OPORTO y OPERA es claramente superior la participación de Metro.

-En cuanto a los Intercambiadores Urbanos entre 20.000 y 50.000 viajes, predomina cla-

INTERCAMBIADORES	RENFE	BUS INT.	VIAJES EN DÍA LABORABLE		
			METRO	EMT	TOTAL
PUERTA DEL SOL	NO	NO	115.000	48.000	163.000
MONCLOA	NO	SI	72.000	89.000	161.000
PLAZA DE CASTILLA	NO	SI	64.000	85.000	149.000
CUATRO CAMINOS	NO	SI	62.000	64.000	126.000
EMBAJADORES - ACACIAS	SI	SI	65.000	50.000	115.000
LEGAZPI	NO	SI	54.000	58.000	112.000
ATOCHA - RENFE	SI	NO	73.000	34.000	107.000
ATOCHA - SANCHEZ BUSTILLO	NO	SI	20.000	80.000	100.000
GOYA - FELIPE II	NO	NO	46.000	47.000	93.000
ALUCHE	SI	SI	61.000	29.000	90.000
MANUEL BECERRA	NO	NO	32.000	52.000	84.000
ARGÜELLES	NO	SI	65.000	18.000	83.000
BANCO DE ESPAÑA - RECOLETOS	SI	SI	27.000	55.000	82.000
CIUDAD LINEAL - PUEBLO NUEVO	NO	SI	46.000	35.000	81.000
PLAZA DE ESPAÑA - NOVICIADO	NO	NO	55.000	25.000	80.000
NUEVOS MINISTERIOS	SI	NO	44.000	33.000	77.000
AVENIDA DE AMÉRICA	NO	SI	57.000	19.000	76.000
CALLAO	NO	NO	36.000	36.000	72.000
DIEGO DE LEÓN	NO	NO	39.000	27.000	66.000
CONDE DE CASAL	NO	SI	38.000	22.000	60.000
PORTAZGO	NO	NO	35.000	23.000	58.000
MÉNDEZ ÁLVARO	SI	NO	49.000	6.000	55.000
PUENTE DE VALLECAS	NO	NO	21.000	34.000	55.000
CAMPAMENTO	NO	SI	36.000	17.000	53.000
OPORTO	NO	SI	35.000	16.000	51.000
BILBAO	NO	NO	44.000	7.000	51.000
ÓPERA	NO	SI	29.000	21.000	50.000
ALONSO MARTÍNEZ	NO	NO	38.000	10.000	48.000
PRÍNCIPE PÍO - NORTE	SI	SI	31.000	16.000	47.000
CIUDAD UNIVERSITARIA	NO	SI	28.000	18.000	46.000
TIRSO DE MOLINA - BENAVENTE	NO	NO	22.000	22.000	44.000
PLAZA ELÍPTICA	NO	SI	25.000	16.000	41.000
PACÍFICO	NO	NO	25.000	16.000	41.000
COLÓN - RECOLETOS	SI	NO	11.000	28.000	39.000
PALOS DE LA FRONTERA	NO	SI	36.000	--------	36.000
SAINZ DE BARANDA	NO	NO	20.000	16.000	36.000
VENTAS	NO	SI	24.000	11.000	35.000
PAVONES	NO	SI	18.000	15.000	33.000
CARABANCHEL	NO	SI	24.000	8.000	32.000
PUERTA DE TOLEDO	NO	NO	11.000	15.000	26.000
O´DONNELL	NO	NO	18.000	8.000	26.000
AVENIDA DE LA PAZ	NO	NO	14.000	10.000	24.000
GARCÍA NOBLEJAS	NO	SI	11.000	12.000	23.000
CANILLEJAS	NO	SI	15.000	7.000	22.000
SAN BERNARDO	NO	SI	21.000	--------	21.000
CHAMARTÍN	SI	SI	18.000	2.000	20.000
BEGOÑA	NO	SI	13.000	--------	13.000
FUENCARRAL	NO	SI	9.000	--------	9.000
PUENTE ALCOCER	SI	SI	--------	7.000	7.000
CARTAGENA	NO	SI	5.000	--------	5.000
TOTAL			1.757.000	1.267.000	3.024.000
% S/TOTAL			58,10		

ramente Metro en tres de ellos: ALONSO MARTINEZ, PACIFICO y O'DONNELL y existe equilibrio en los cuatro restantes: TIRSO DE MOLINA, SAINZ DE BARANDA, PUERTA DE TOLEDO y AVENIDA DE LA PAZ.

-Respecto al resto de los Intercambiadores Metropolitanos, cuando existe Metro éste predomina notablemente: PRÍNCIPE PÍO, CIUDAD UNIVERSITARIA, PLAZA ELÍPTICA, VENTAS, CARABANCHEL, CANILLEJAS, CHAMARTÍN, ya que EMT sólo es mayoritaria en COLON y existe equilibrio en PAVONES y GARCÍA NOBLEJAS. Además, existen en este grupo Intercambiadores donde sólo existe intercambio con Metro como son los de PALOS DE LA FRONTERA, SAN BERNARDO, BEGOÑA, FUENCARRAL y CARTAGENA y finalmente uno, PUENTE ALCOCER, donde sólo existe intercambio con EMT.

-Finalmente, a nivel global la participación de Metro es del 58,1% que homogeneizado a **viajes x km** se elevaría hasta el 69,3%.

En la actualidad están construyéndose dos nuevos Intercambiadores muy importantes como son Príncipe Pío, en el que se espera captar en Metro casi el triple de los viajes que actualmente se realizan, y Moncloa, donde se ha estimado duplicar la demanda de viajes en la Red de Metro respecto a la situación actual.

Además, se están construyendo nuevos Intercambiadores en Plaza de Castilla y Estación Sur de Autobuses (cerca a Méndez Alvaro), que el Ayuntamiento de Madrid tiene pendiente de realizar y otros que están relacionados con el Pasillo Verde Ferroviario de RENFE en Pirámides y Delicias, así como la potenciación de Príncipe Pío, Méndez Alvaro y Atocha-RENFE. Además, el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente está mejorando los Intercambiadores de Recoletos y Nuevos Ministerios para facilitar la conexión RENFE-METRO.

Todo ello va a permitir próximamente una mejora de la articulación de los viajes metropolitanos de mayor longitud que se ven muy facilitados cuando se consigue una mejor relación con la Red de Metro como red básica de la movilidad urbana para concentrar y distribuir la demanda de viajes con origen y destino en nuestra capital.

7. CONCLUSIONES

*La movilidad que genera y atrae la Corona Metropolitana tiene una gran importancia cuando se mide en **viajes x km**.

*Esta movilidad presenta una clara tendencia al crecimiento y tiene su repercusión en la movilidad urbana que colabora concentrando o distribuyendo las etapas de la cadena de transporte que se realizan en la capital.

*El trasvase de viajes del vehículo privado a los modos colectivos, contribuye de forma muy eficaz a la disminución del consumo de energía, de la contaminación atmosférica y acústica, de los accidentes, de la ocupación del espacio, de los tiempos de viaje, etc. y ello tiene mayor eficacia cuando se consigue atraer a los viajes de mayor longitud.

*Es necesario continuar con los planes de ampliación de la Red de Metro para contribuir a la potenciación del Sistema de Transportes.

*Es muy importante construir nuevos Intercambiadores que despenalicen físicamente los transbordos y poder atraer a los viajes más largos, que necesariamente precisan de realizar transbordos, y así aumentar la participación de los modos colectivos en los viajes metropolitanos.

*Para aumentar el atractivo de la Red de Buses Interurbanos es fundamental dotarlos de infraestructuras propias en las autovías radiales, para disminuir los tiempos de viaje y ofrecer una mejor regularidad y calidad del servicio.

*Finalmente, quiero resaltar la trascendencia que tienen los modos ferroviarios, Cercanías de RENFE y su articulación con la Red de Metro, para captar los mayores flujos de viajes, por lo que será prioritaria la ampliación y mejor conexión de estas Redes y su coordinación con las redes de autobuses, para conseguir el desarrollo armónico y cada vez más capaz y eficiente de nuestro Sistema de Transportes.

EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO

RAMÓN LÓPEZ-MANCISIDOR DEL RIO
Presidente del Consejo de Administración de Metro de Madrid

EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO

Voy a tratar de resumir un poco lo que es el Metro por dentro. Es decir, se ha hablado de lo que el Metro transporta, de lo que el Metro contribuye a la movilidad de la ciudad, pero todo esto hay que conseguirlo mediante unos sistemas de explotación y mediante unos sistemas de mantenimiento, que voy a tratar con ayuda de unas transparencias.

El Metro de Madrid se inaugura en el año 1919, como compañía privada, continuando como compañía privada hasta el año 1978, en que se produce la intervención de la compañía por el Estado; previamente se había llegado a un acuerdo, en el 55, sobre la construcción de la infraestructura de las nuevas líneas a cargo del Estado.

En el año 1985 se crea el Consorcio de Transportes, y en el año 1986 se produce el traspaso de las Acciones el 75% al Ayuntamiento y el 25% a la Comunidad que, a su vez, las ceden temporalmente al Consorcio.

Los datos generales más importantes de la red pueden verse en la tabla adjunta. Una longitud de 112 km., 155 estaciones, destacaré también el número de escaleras mecánicas, que son 649 en funcionamiento, el 10% de las existentes en toda España.

Los viajeros en 1992 fueron 413 millones. Aquí quiero añadir, que alguna de las causas que se han dado para la disminución del número de viajeros que se produjo desde el año 72, que fue el máximo, con 514 millones, hasta los 320 que hubo en el año 85, se ha debido, no sólo a lo que se ha indicado anteriormente, de la potenciación del automóvil, sino también al número de viajes que efectúa cada persona. Es decir, en los años 70, y en los años 80, a principios, el número de viajes de cada persona pasó de 4 a 2, con motivo de las jornadas continuas.

Desapareció el trabajo de los sábados, y aumentó, en cambio, el número de personas que viajaban fuera de Madrid a su segundo domicilio. Todo esto hizo que el número de viajes cayera.., también por el aumento de la movilidad, como es natural, pero ciertamente se vió muy influenciado por esta disminución del número de viajes por persona.

En cuanto al trazado de la red, cabe diferenciar dos redes; la red de gálibo estrecho, constituida por la líneas, 1 a 5 y la 10; y las líneas de gálibo grande, 6, 7, 8 y 9 que se inauguró, la primera de ellas, la 7, en el 74. El motivo de esta variación en el gálibo fue un estudio realizado, en el que se llegó a la conclusión de que era casi imposible realizar lo mismo que se había hecho en la línea 1, es decir, alargar las estaciones, pasarlas de 60 a 90 metros. Se consideró que era imposible en la red antigua el hacerlo, y que ya en la red nueva era conveniente el partir de unas dimensiones mayores; para eso se pasó a unas estaciones de 115 metros, y a un gálibo para el material móvil, que pasó de 14 metros de longitud, y 2,40 de anchura, a 18 metros y 2,80.

En la tabla adjunta están las características principales de ambas redes-. El parque de material móvil, en este momento..., exactamente a 31 de Diciembre del 92, estaba constituido por 976 coches, con una antigüedad media de 11 años. Y sobre esto hay otros pedidos de material móvil, de 72 coches, tipo 5.000, y 78 de tipo 2.000, que están recibiéndose. Con lo cual el parque, en estos momentos, pasaría de los 1.100 coches, si tenemos en cuenta éstos.

En cuanto a los sistemas de explotación, deben destacarse tres de ellos: El puesto de mando de circulación; el despacho de cargas, o sea, el telemando de subestaciones eléctricas; y el puesto de control de estaciones y seguridad.

En lo referente a la circulación el sistema de control automático de trenes consta de tres subsistemas. El subsistema de protección automática del tren, que es el que verdaderamente da la seguridad, es decir, luego veremos que la característica principal es que impide el rebase de una señal cerrada, y además, fija también unos códigos de velocidad, que si son superados por el conductor -en el caso de que vaya en este modo de conducción- el tren se frena de forma automática.

El subsistema de conducción automática, que está ahora en funcionamiento en las líneas 6 a 9, en la 3, y en estos momentos se está montando en la 1; y el subsistema de supervisión, que está constituido principalmente por el telemando, telemando de circulación.

El subsistema "ATP", que -como hemos dicho- es el que da la seguridad, supervisa la marcha del tren, establece automáticamente los límites máximos de velocidad, en función, por una parte, de los parámetros de la red, es decir, del radio de las curvas, de la situación de las agujas, etc..; y por otro lado, de la posición dinámica de los trenes, es decir, concretamente del tren precedente.

El subsistema de "ATO", que es el sistema de conducción automática del tren, es el que limita las funciones del conductor únicamente a la apertura y cierre de puertas, y a apretar dos botones en la estación, y entonces el tren desarrolla la marcha, aplica deriva, aplica freno, y frena en un punto fijo de la estación. Se podría decir, y de hecho ya existe en otros Metros, que la presencia del conductor no es necesaria, sin embargo se considera, que en un metro que puede transportar 1.200 personas en un tren, es conveniente que vaya una persona. Esta persona podría ir conduciendo, o podría ir realizando otras funciones, como simplemente vigilancia dentro del tren.

Entre las ventajas de la conducción automática destacan: el ahorro de energía, mediante distintos programas de marcha -como vamos a ver en un gráfico-, conseguir una mayor regularidad de marcha, y una mejor disposición de la vía, puesto que todos los trenes pasan por los mismos puntos, a la misma velocidad. Se podría decir que el sistema de conducción automática iguala, iguala no supera, a la conducción de un buen conductor, pero evita el que un mal conductor, o que en un momento determinado pueda no conducir bien, provoque unas perturbaciones en la línea, que en el caso de conducción automática no se dan.

En cuanto a lo que hemos dicho de la influencia de la conducción automática y de la variación de la marcha, en función del consumo de energía, puede verse en este gráfico, que está hecho para una distancia media de 750 metros entre estaciones, y en horizontal, que si llamamos 100 al consumo correspondiente a un tiempo de recorrido de 70 segundos, si conseguimos una marcha con un tiempo de recorrido de 75 segundos, es decir, 5 segundos más, el consumo de energía es, aproximadamente, el 82,5%; mientras que si intentamos que ese recorrido se efectúe en 65 segundos, el consumo de energía pasaría a ser del orden del 160%

Es decir, esto implica que en líneas no saturadas, o en horas no punta de líneas saturadas, es conveniente introducir unos sistemas de conducción que produzcan un ahorro de energía. Es decir, que aumentando el tiempo de recorrido, ligeramente, se producen unos ahorros importantes de energía.

Este programa de regulación automática lo tenemos ya instalado en algunas líneas.

El subsistema de supervisión, establece una serie de alarmas, forma itinerarios, regula el intervalo entre trenes, regula el tiempo de parada, varía el programa de marcha automática, etc...

El sistema de radio-telefonía, tren tierra, que se instaló por primera vez en la línea 3, continuando por la 7, y que en este momento funciona en toda la red, permite una comunicación entre cada uno de los trenes y el puesto de mando.

Es un sistema que no da por sí la seguridad, pero puede contribuir a ella en un momento determinado. Funciona mediante un cable radiante, que va tendido por el túnel. Y este mismo sistema se ha aplicado, en este momento, a todas las estaciones de la red. Es decir, se ha tendido un cable radiante, que permite la comunicación de cada agente que lleva -digamos un mensáfono-, que se comunica por el cable radiante, con un puesto central de mando, de estaciones y de seguridad. Esto se emplea, tanto por los agentes, como por los vigilantes de seguridad.

El otro sistema que existe es el telemando de subestaciones eléctricas para 38 subestaciones, y que cubre las funciones normales de este tipo de casos.

En el servicio de estaciones de la red se ha ido a una descentralización, distribuyendo todas las 155 estaciones en 12 gerencias, y al frente de cada unos gerentes y completándose con jefes de sector, jefes de vestíbulo y agentes de taquilla.

En cada una de estas estaciones, hay un puesto de control local que controla las distintas escaleras, ventiladores, alarmas de protección contra incendios, vigilancia por televisión en circuito cerrado, y también la información al viajero, tanto por megafonía, como la propia comunicación que pueden tener el viajero y el agente, con el puesto local de control, mediante los interfonos.

-Esto, por ejemplo, es una vista de los equipos que existen en este puesto de control local, en una estación.-

En cuanto a los sistemas de seguridad, aparte del ATP -del que ya hemos hablado- en el puesto central tenemos la radiotelefonía, la megafonía, la telefonía automática, y el sistema centralizado de alarma antiintrusión en las cabinas de estación.

Esto lo tenemos en todos los puestos de control local, y se está extendiendo también a todas las máquinas billeteras, es decir, poner una alarma, que en el momento en que se intente forzar una máquina suene una alarma en el puesto control local, y en el puesto central de estaciones y seguridad.

Esto ha evitado una serie de robos que se producían en estas máquinas automáticas, y que prácticamente han desaparecido desde el mes de Abril, en que esto entró en funcionamiento.

En cuanto a la seguridad, a la seguridad ciudadana, es realmente el máximo problema que tiene en estos momentos el Metro de Madrid. Es decir, la seguridad técnica está prácticamente superada, se puede decir que desde el año 83 no tenemos ningún accidente importante, mientras que antes, desgraciadamente, había por lo menos 7 u 8 cada año, entonces, desde el año 83 -insisto- no ha habido ninguno, y en cambio tenemos problemas de inseguridad ciudadana.

Se está luchando contra ello, -aquí, por ejemplo, se puede ver una serie de sistemas que hemos montado en los puestos locales-. Hemos contratado vigilantes jurados, del orden de 140; tenemos una oficina policial, de policía nacional, en la estación de Sol; una colaboración de la policía municipal; y luego 20 agentes nuestros, en un servicio que se ha creado especial y se llama de "Protección Civil y Seguridad".

De todas maneras..., es cierto que la inseguridad existe, pero la sensación de inseguridad es mucho mayor todavía que la seguridad real. Es decir, el número de delitos que se cometen en Metro de Madrid es muy inferior al de la calle, y podríamos decir que muy inferior al de la mayoría de los Metros. Pero, sin embargo, esos pasillos largos y esas correspondencias son las que crean esa situación de inseguridad, al impedir que una persona pueda, en un momento determinado, cruzar de acera, pedir socorro, cuando tiene un pasillo muy largo y no ve a nadie. Es decir, esta sensación de inseguridad es muy importante, y es la que hay que combatir.

En el cuadro adjunto, por ejemplo, se ven las cifras tan altas de desalojo en las estaciones, de algún tipo de personas. Debo señalar la de los vendedores ambulantes, que es un verdadero problema para Metro, porque ocupan un lugar, que en una situación de emergencia puede ser necesario, aparte de otros problemas que hay de tipo comercial. Y la causa es que los vigilantes jurados los pueden desalojar de las instalaciones de Metro, pero no les pueden decomisar la mercancía, por lo que, en el momento en que el vigilante jurado desaparece vuelven a entrar.

Precisamente la UITP, la UNIÓN INTERNACIONAL DE TRANSPORTES PUBLICOS, ha hecho una serie de recomendaciones en la lucha contra el vandalismo y la inseguridad, y algunas tienen que ver con temas de construcción del propio Metro. Es decir, que se tienen que tener en cuenta en el momento de la construcción. Por ejemplo, la utilización de materiales modernos, de paneles de vidrio, en paredes y ascensores, el evitar los pasillos largos -como es natural-. En resumen, hay una serie de factores, unos considerados muy importantes, y otros menos, y que, en todo momento, pretendemos tener en cuenta.

Con esto, pasamos rápidamente al tema de tipos de conservación, vamos a hablar de la conservación en el Metro. La conservación, y los encargados de la misma, la verdad es que siempre se llevan la peor parte. Es decir, los encargados del mantenimiento son aquellas personas que si todo va bien, es lo normal, y que en cuanto que va mal son los que sufren las consecuencias, y para quienes van todos los palos. Sirva esta conferencia, pues para reconocer un poco su labor,

que creo que es digna del mayor elogio, aunque, como es natural, todos podamos cometer fallos.

Los tipos de conservación en Metro son los normales en casi todos los sitios. Pero podríamos decir que se están aplicando algunos sistemas nuevos ahora, sobre todo en la parte de subestaciones y en material móvil, de conservación predictiva, es decir, que consisten en determinar ciertos parámetros que pueden hacer presagiar la producción de una avería en el futuro.

Los tipos de conservación la verdad es que han cambiado enormemente, sobre todo en el material móvil, con la introducción cada vez más de elementos electrónicos. Es decir, las clásicas revisiones mecánicas que existían están desapareciendo... -luego veremos en un cuadro, que se han llevado a unos kilometrajes muy elevados- y en cambio aparecen estos elementos electrónicos, que no tienen conservación, y que producen unas averías que son normalmente indeterminadas.

Es decir, no se puede predecir cuándo se va a producir esta avería, y por mucha conservación preventiva que se intente hacer no se consigue nada. Se consigue algo con la predictiva en la conservación, según ciertos parámetros que se miden previamente, se hace también en escaleras mecánicas. En el Metro de París se emplea bastante....

Los criterios para la planificación de la conservación, pueden ser por número de operaciones efectuadas, como por ejemplo por coches kilómetro en el material móvil; de billetes vendidos por máquinas; pasos controlados por torniquetes, etc...; por desgaste: en el hilo de trabajo, en el perfil de rueda; por engrase o lubrificación; y por último, por experiencias propias, como puede pasar en el caso del reconocimiento de túneles y de obra civil.

Precisamente se contrató un estudio, a una empresa especializada, para ver el estado de todos los túneles, teniendo en cuenta que el Metro se había inaugurado en el año 1919. Se hizo un estudio de toda la red antigua, y se determinaron distintas zonas en las cuales convenía una actuación urgente, y en otras a medio plazo. En todas estas actuaciones urgentes ya se realizaron dos, una en Bilbao- Tribunal, y otra que se ha realizado este verano entre San Bernardo y Quevedo. Hay previstas algunas más.

Uno de los problemas que tenemos en el Metro de Madrid es el horario de servicio, que se extiende, teóricamente, desde las 6 hasta la 1,30 de la madrugada, pero que en realidad ni se abre a las 6, sino que se abre antes puesto que los trenes tienen que salir de los depósitos y situarse en distintas estaciones de línea, con lo cual a las 5,15 prácticamente la línea se queda ya inútil para trabajos de conservación y, por el contrario, a la 1,30 sale el último tren de cada terminal, pero tarda, en ocasiones, tres cuartos de hora en llegar al otro terminal. Y por lo tanto, el tiempo de conservación es prácticamente de 2,15 a 5,15, es decir, 3 horas.

En esas tres horas hay una serie de instalaciones que no hay más remedio que atender... -aquí figura una relación de todas ellas,- quizás hay alguna más- y luego hay otras, en cambio, que requieren un funcionamiento continuo, como son las subestaciones y los puestos de mando.

Entonces, todo esto exige una programación cuidadosa, puede decirse que todos los trabajos nocturnos se programan día a día, es decir, cada día hay una reunión, una comisión de trabajo, que es la que predetermina los trabajos nocturnos a realizar esa noche, y los cortes de tracción y de tensión correspondientes.

En cuanto a la realización de la conservación, uno de los principales temas que surgen en cualquier Metro y en cualquier empresa de este tipo de servicio público es, si la conservación debe realizarse con personal propio o con personal contratado. Cada caso y, en cada momento, las circunstancias pueden ser distintas, y pueden requerir una conservación contratada, o una conservación propia, o una mezcla de ambas en algunos casos.

-Hay hay una serie de elementos que hay que considerar en cada caso-. El Metro de Madrid, en estos momentos, tiende a conservar por sí mismo, debido a que en algunos estamentos existe un exceso de personal que se está tratando de reconvertir a otros puestos y, por lo tanto, se trata de absorber contratas exteriores, lo cual no significa que éste sea el mejor procedimiento. Es decir, si ahora fuera un Metro nuevo, posiblemente la conservación, en algunas cosas, se haría contratada.

En el Metro de Madrid, en este momento, las contratas, que existen, son la correspondiente a limpieza de estaciones y trenes; los vigilantes de seguridad; una parte de escaleras mecánicas, que precisamente se va a tratar de absorber ahora; pequeñas instalaciones, trabajos esporádicos de reparación, y luego las grandes inversiones.

Como un ejemplo que hemos dicho antes de conservación, de la planificación de la conservación, he traído la del material móvil, donde se puede ver que la revisión general de los nuevos tipos de material móvil, que son el tipo 2.000, y el tipo 5.000, se va a realizar, porque la verdad es que todavía no se ha alcanzado casi en ningún caso el kilometraje..., cada millón ochocientos mil kilómetros, en el material 2.000; y cada millón quinientos mil, en el caso del material 5.000. Es decir, estas revisiones en los clásicos, había una revisión que se hacía cada cien mil kilómetros, luego se consiguió pasar a los doscientos mil. Bueno, pues éste es el equivalente al millón ochocientos mil, del material 2.000.

-Este es un ejemplo de cómo está programada la conservación en instalaciones fijas, el control de la producción de instalaciones fijas-.

DATOS DEL TRAZADO DE LA RED.

CARACTERÍSTICAS	Gálibo estrecho	Gálibo ancho
Longitud (km)	64,04	48,51
Número de estaciones	98	57
Distanc. media entre estaciones (m)	660,00	851,00
Radio curva mínima, vía general (m)	60,00	150,00
Pendiente máxima (0/00)	52,00	47,00
Longitud de andenes (m)	45-95	115,00
Profundidad media de estaciones (m)	11,00	23,00
Profundidad máxima (m)	41,00	48,00

PARQUE DE MATERIAL MÓVIL (Referido a 31.12.1992).

TIPO	Nº COCHES	ANTIGÜEDAD MEDIA
300	52	18
1000	188	23
2000*	464	3
5000**	272	12
TOTAL	976	11

*Técnica trifásica con recuperación de energía
**Técnica convencional o «chopper»

SUBSISTEMA A.T.O.

FUNCIONES

- Control de la línea por ordenador, variando los puntos de deriva según tráfico
- Ahorro de energía mediante programas de marcha económica
- Menor número de maniobras en equipos de control del tren
- Mayor comodidad y suavidad de marcha
- Circulación de los trenes a igual velocidad por los mismos puntos (mejor diseño vía)
- Mayor regularidad de marcha
- Incremento capacidad de tráfico por disminución tiempo de recorrido

DATOS GENERALES DE LA RED (Referido a 31.12.1992).

LONGITUD	112,5 Km de doble vía
ESTACIONES	155 (8 enlaces con RENFE)
SE ELÉCTRICAS	38
ESCALERAS MECANICAS	649
PASILLOS RODANTES	2
VENTILADORES TUNEL	261
PERSONAL	5.776
VIAJEROS 1992	413 millones
Abonos	48,4%
Bonos 10 viajes	46,3%
Billete sencillo	5,3%

SUBSISTEMA A.T.S./C.T.C.

FUNCIONES

- Supervisión y alarmas diversas
  - *Rebase señales en rojo
  - *Paradas anormales de trenes
- Formación de itinerarios
- Regulación intervalo entre trenes
- Regulación tiempos de parada en estaciones
- Variación de programas de marcha automática
- Horarios de trenes
- Autorización para mando local
- Comunicaciones

RADIOTELEFONÍA TREN-TIERRA.

FUNCIONES

- Rapidez de actuación en caso de incidentes en el tren
- Contribución a la rápida resolución de averías
- Contribución a la regularidad del servicio
- Contribución al aumento de seguridad
- Contribución al control total de la circulación desde el Puesto de Mando
- Evita la intervención del Personal de Estaciones

PUESTO DE CONTROL LOCAL.

ELEMENTOS DISPONIBLES

- Pantalla semigráfica en color para representación elementos a controlar
- Teclado
- Monitores en color para visualizar imágenes estación
- Micrófono para megafonía
- Microteléfono para diálogo con interfonos
- Telefonía general
- Impresora o diskettes

SISTEMAS DE SEGURIDAD.

PUESTO CENTRAL

- Sistema de Radiotelefonía de estaciones
  - Canal asignado
  - Llamada selectiva, de grupo o general
  - Llamada de emergencia
- Megafonía centralizada
- Telefonía automática con estaciones y dependencias
- Telefonía automática con Red Urbana
- Sistema centralizado de alarma antiintrusión en cabinas de estación
  - Introducción código de entrada «falso»
  - Intrusión por forzamiento
- Unidad de grabación de las comunicaciones

PUESTO LOCAL

- Interfonos de estación
- Televisión en cc
- Pulsador antirrobo con Puesto Central

PERSONAL DE SEGURIDAD

- Servicio de Protección Civil y Seguridad (20 agentes)
- Vigilantes Jurados (140 contratados)
- Oficina Policial de Sol
- Policía Municipal

DESALOJOS EN INSTALACIONES.

Nº DE HECHOS (1)	1993 SEPT.	1992 -----	1991 -----	1990 -----
Gamberros	227	381	456	343
Vendedores	34.474	34.428	31.429	16.055
Músicos	2.017	3.738	2.868	2.447
Mendigos	2.651	3.863	5.246	5.497
Vagabundos	4.388	5.818	4.845	3.305
Drogadictos	7.075	7.804	5.847	1.904
Reventas	508	442	289	86
Repart. Propaganda	272	328	256	257
Pegar carteles	8	9	25	(2)
Otros varios	1.123	1.141	1.151	720

(1) Incluyen estaciones y trenes.
(2) Se carece de datos.

ACTUACIONES EN SEGURIDAD CIUDADANA.

- Radiotelefonía en estaciones de toda la red.
- Puesto Central de Estaciones y Seguridad.
- Alarma intrusión en PCL de estaciones.
- Alarma intrusión en taquillas 2° vestíbulo.
- Alarma forzamiento máquinas billeteras automáticas.
- Cerradura magnética en PCL.
- Doble cerradura apertura cajas de recaudación.
- Instalación cámaras de TVCC. 1183 cámaras y 368 monitores.
- Dispositivo antipesca en cajas de recaudación.
- Interfonía para viajeros y agentes.

CRITERIOS PLANIFICACIÓN CONSERVACIÓN.

- Por número de operaciones efectuadas:
  - Coches x Km.
  - Billetes vendidos por máquinas.
  - Pasos controlados por el torniquete.
  - Maniobras motores de aguja.

Por tiempo de desgaste:

- Hilo de trabajo.
- Contactos.
- Perfil de ruedas.
- Carril.
- Lámparas.

- Por engrase o lubrificación:
  - Vía.
  - Elementos material móvil.
  - Escaleras.
  - Niveles aceite transformadores y disyuntores.
- Por experiencias propias:
  - Reconocimiento túneles y obra civil.
  - Estado de la vía.
  - Niveles de averías.

TIPOS DE CONSERVACIÓN.

– Predictiva
  - Subestaciones y Centros de Transformación: termografía.
  - Material Móvil: medida de parámetros.

– Preventiva
  - Revisiones periódicas de instalaciones y material móvil.
  - Engrase, reposición de lubricantes.

– Correctiva
  - Se realiza a la vez que la preventiva.
  - Repara o sustituye elementos antes de averiarse.
  - Ejemplos: ruidos anormales en escaleras mecánicas,deformaciones o desgastes anormales, etc.

HORARIOS PARA LA CONSERVACIÓN.

INSTALACIONES DE CONSERVACIÓN NOCTURNA

- Vía
- Obra civil en túneles
- Línea Aérea
- Escaleras mecánicas de mucha utilización
- Alumbrado de túnel
- Ventilación de túnel
- Bombas sumergibles situadas en el túnel
- Señalización y enclavamientos
- Cables a lo largo del túnel.

INSTALACIONES CON FUNCIONAMIENTO PERMANENTE

- Subestaciones Eléctricas
- Centros de transformación
- Puestos de Mando

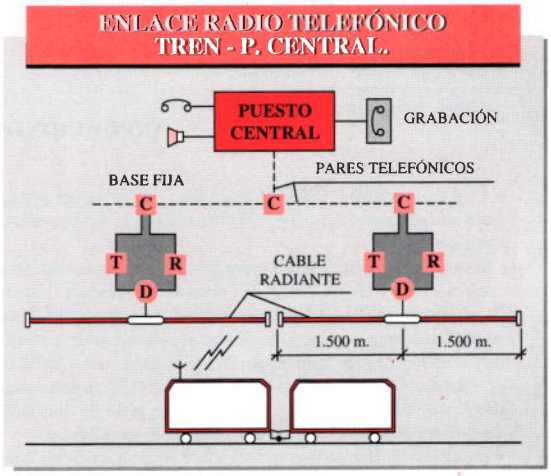
CONSERVACIÓN MATERIAL MÓVIL

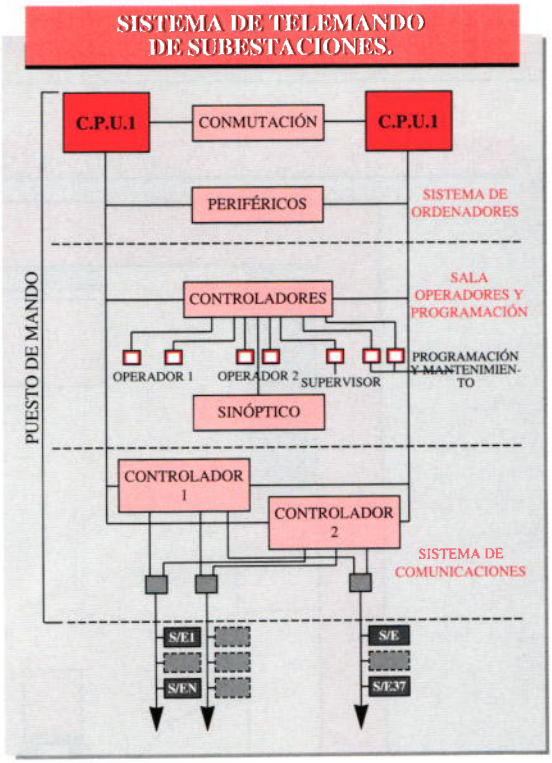
- Mantenimiento de ciclo corto.

PERSONAL PROPIO O CONTRATADO.

FACTORES A EXAMINAR

- Coste en cada caso
- Medida de la calidad
- Legislación laboral existente
- Tipo de trabajo: periódico o esporádico
- Urgencia en las reparaciones
- Existencia de personal propio
- Movilidad funcional
- Posibilidades de promoción del personal propio
- Problemas de tipo laboral del personal propio y de la Contrata
- Evitar miniplantillas
- Otros condicionantes





DIVISIÓN DE MATERIAL MÓVIL. OFICINA TÉCNICA

Períodos de Mantenimiento Nominales del Material Móvil destinado al servicio de viajeros (Situación al 01.06.93)

CICLO CORTO								CICLO LARGO	
TIPO DE M. MÓVIL	VISITA	REVISIÓN PERIODICA	LIMPIEZA TIPO "C"	LIMPIEZA TIPO "B"	LIMPIEZA TIPO "A"	DESIN-FECCIÓN	DESINSEC-TACIÓN	REVISIÓN INMEDIATA	REVISIÓN GENERAL
300	7 días	22.000 km	90 días	10 días	Diaria	20 días	60 días	400.000 km	1.200.000 km
1000	7 días	22.000 km						400.000 km	1.200.000 km
2000	14 días	120.000 km						600.000 km	1.800.000 km
5000	30 días	100.000 km						500.000 km	1.500.000 km

CONDICIONES DE APLICACION

• A los coches 5000 1ª se les efectuará una revisión parcial con un intervalo nunca superior a los 72.000 km, básicamente de carácter eléctrico.

• Se establece un plazo máximo para la realización de la visita, del doble del ciclo nominal citado. No obstante se tenderá a cumplir los plazos nominales establecidos, aplicándose la reserva de tiempo, si fuese preciso, ante situaciones de reducción de servicio (acumulación de días festivos, periodo de verano, etc). Quedarán exceptuadas de esta condición los coches tipo 5000 y aquellas unidades sometidas a ensayo de ampliación de ciclo de mantenimiento, que seguirán con el periodo establecido en el ensayo.

• Cada ciclo de mantenimiento indicado inscribe a los ciclos inferiores a él, cuestión que se tendrá en cuenta en las consistencias, cargas de trabajo y programaciones.

• Los intervalos nominales reseñados, tanto en días como en kilómetros, han de considerarse con un margen de aplicación de +20%; es decir, que los límites máximos para la realización de operaciones corresponden a los nominales multiplicados por 1,2.

• Para los ensayos de modificación de los ciclos nominales de mantenimiento establecidos, consultar fichas oficiales de ensayo.

• Para la determinación de los kilómetros nominales, se han tenido en cuenta los kilómetros máximos de referencia año, extrapolados a los plazos de mantenimiento y reducidos en un 20%, todo ello según los valores expuestos en el documento «Organización General y Operaciones de Mantenimiento Preventivo. Informe nº 44/86. División de Material Móvil. Mayo, 1986».

• Para la revisión de equipos especiales y actividades adicionales (pintura, revisión del equipo de aire acondicionado, etc), consultar Normas Técnicas sobre los ciclos de mantenimiento de los mismos.

• Los periodos indicados, tanto en tiempo, en kilómetros, como en las actividades que comporta cada ciclo, están sujetos en cada caso a posibles variaciones en función de datos experimentales, mejoras tecnológicas o cambios en la explotación.

PUESTO DE CONTROL LOCAL.

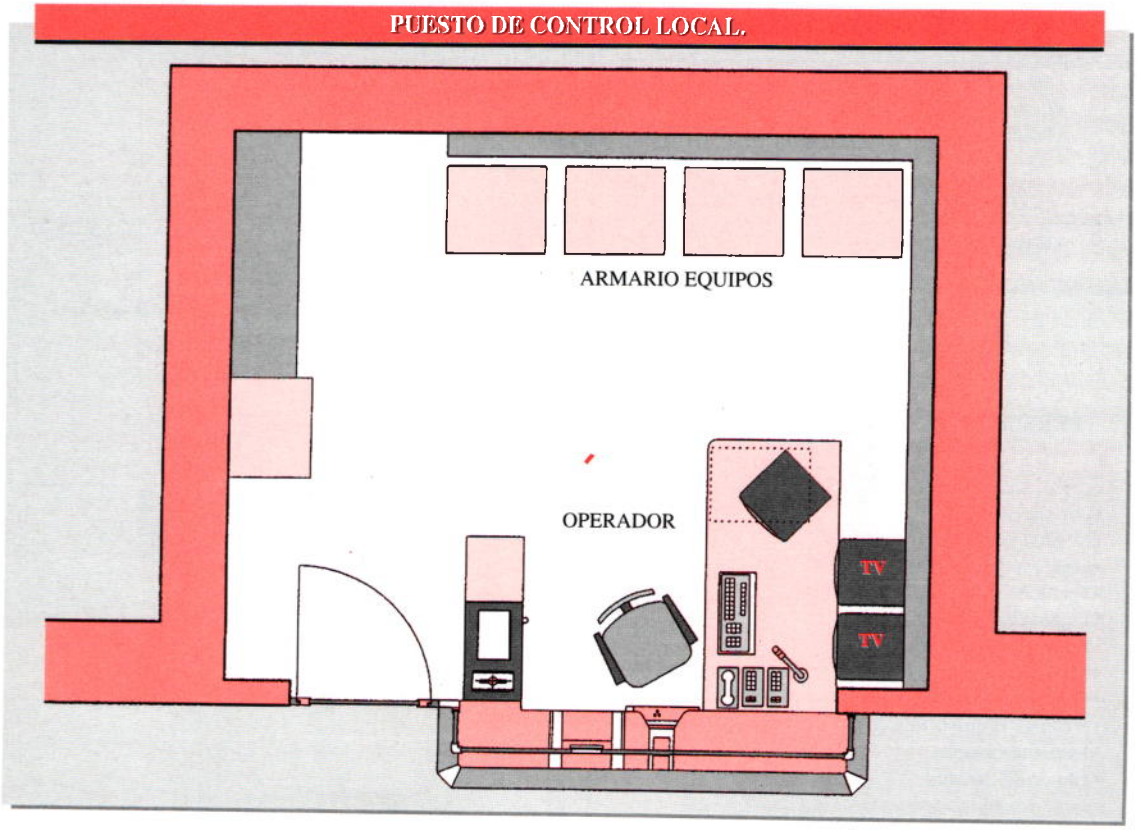
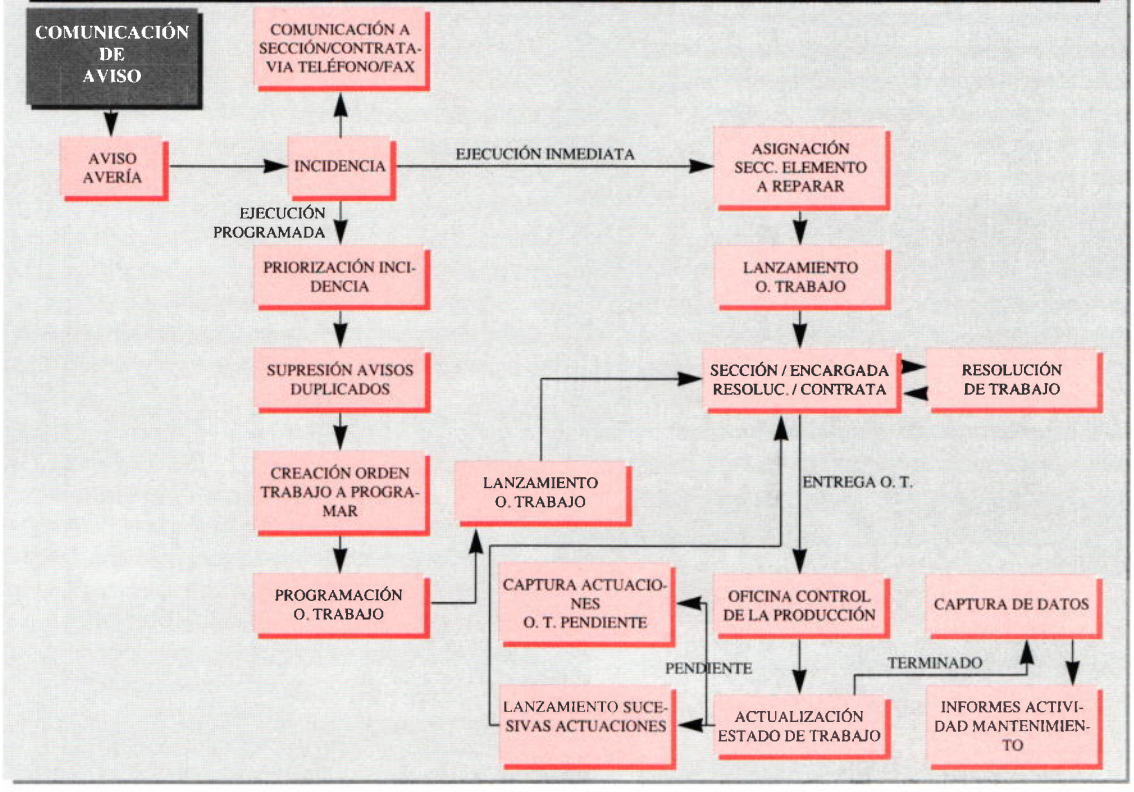
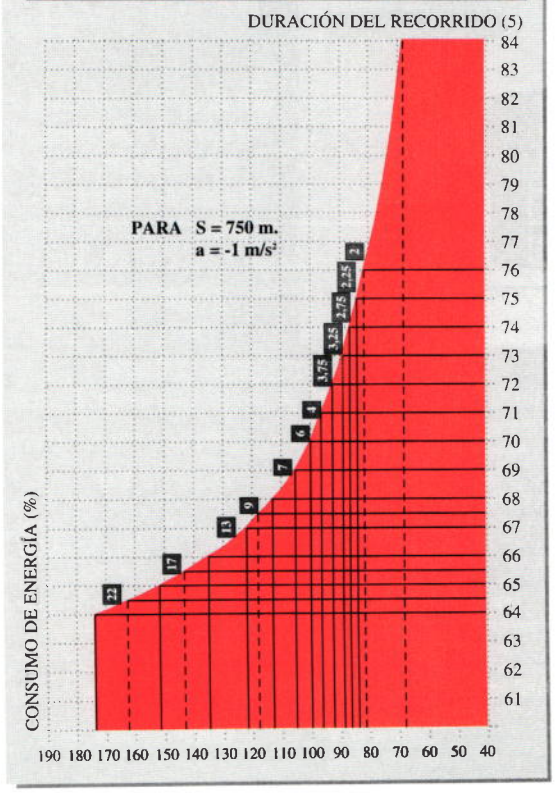


DIAGRAMA DE PROCESO Y RESOLUCIÓN DE INCIDENCIAS. MANTENIMIENTO CORRECTIVO. DIVISIÓN DE INSTALACIONES.



CONSUMO DE ENERGÍA-TIEMPO RECORRIDO.



CRITERIOS DE DISEÑO EN LAS NUEVAS LINEAS

ILDEFONSO P. DE MATIAS JIMENEZ
Jefe Servicio Coordinación de la Ampliación de la Red
Metro de Madrid

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. FACTORES DE EVOLUCIÓN

3. TIPOS DE CRITERIOS Y FASES DE APLICACIÓN

4. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL MOVIL

5. CRITERIOS POR ELEMENTOS
   5.1. EL TRAZADO
   5.2. EL TÚNEL
   5.3. LAS ESTACIONES
   5.4. LAS COCHERAS
   5.5. LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

6. EL IMPACTO AMBIENTAL

1. INTRODUCCIÓN

Antes de pasar a exponer los criterios con los cuáles se están proyectando en la actualidad las infraestructuras de las líneas de Metro de Madrid, es conveniente hacer una reflexión a nivel general acerca de la importancia que la selección de dichos criterios tiene sobre las actividades posteriores que se derivan de la ejecución de los proyectos de infraestructura.

Los criterios de diseño condicionan, en orden cronológico, a la obra de infraestructura, a la instalación de la superestructura, a la explotación y, como consecuencia más importante y resultado de lo anterior, a la calidad del servicio.

Es por ello, que si bien en cualquier desarrollo técnico de un proyecto, el fijar unos criterios adecuados tiene una importancia capital, en el caso que nos ocupa esto se acentúa más al tratarse de proyectos de obra subterránea ferroviaria y además para transporte público. Estos tres calificativos (subterránea, ferroviaria y de transporte público), hacen extraordinariamente complejas las acciones necesarias para corregir los efectos de criterios de diseño inadecuados que pueden condicionar la explotación de dichas instalaciones durante decenas de lustros.

Las acciones correctivas comportan generalmente costes económicos y sociales elevados. Los primeros porque, si ya de por si la construcción de túneles en núcleos urbanos lleva inherente una gran dificultad, la modificación en servicio de dichas infraestructuras añade aún más grados de la misma. Los segundos, porque las propias obras llevan aparejadas cortes del servicio a los usuarios que deben ser evitados por el gran impacto negativo que tienen en el sistema de transporte de la ciudad.

La consecuencia de todo lo anterior es que puede parecer que la evolución de los criterios de diseño es lenta, pero responde al hecho de que solo cuando las alternativas han sido sólidamente contrastadas es cuando deben ser implantadas para no correr los riesgos anteriormente mencionados.

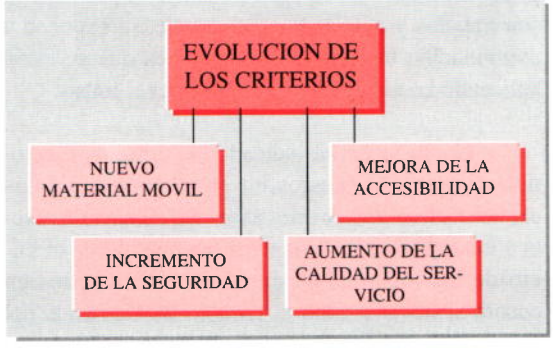
La falta de normativas aplicables en algunas de las áreas técnicas involucradas en el diseño ha dificultando aún más dicha evolución.

Sin embargo la sensación de que en el corto plazo poco o nada cambia queda disipada cuando, con una perspectiva mayor en el tiempo, se comparan antiguas instalaciones con las que se construyen actualmente.

A este respecto, la transferencia de conocimientos y experiencia entre todos aquellas organizaciones que están involucradas en la construcción y explotación de metropolitanos aparece como un factor importante para mejorar los diseños, con el fin de conseguir una explotación la más óptima posible y elevar los índices de calidad del servicio al usuario.

2. FACTORES DE EVOLUCIÓN

Los factores que influye en la evolución de los criterios pueden dividirse en cuatro grupos, que están interrelacionados :



1. El nuevo material móvil al introducir características geométricas y gálibos dinámicos distintos, condicionan el diseño de túneles y estaciones, así como el de cocheras y talleres por las nuevas condiciones de mantenimiento.

2. El usuario demanda mayor calidad en las instalaciones, lo que se traduce en mayores amplitudes en vestíbulos, accesos y cañones,

soluciones funcionales a la conectividad entre líneas y otros modos de transporte y mejora de las condiciones ambientales en el interior de las instalaciones.

3. El aumento en la seguridad tanto activa como pasiva lleva consigo diversas acciones: estaciones en recta, cañones cortos y sin quiebros, espacios para albergar los sistemas de detección y extinción de incendios, pasillos de evacuación, salidas de emergencia, etc.

4. La mejora de la accesibilidad comporta un estudio de optimización de itinerarios, con acceso rápido y cómodo hasta el andén. Asimismo a raíz de la publicación de la ley sobre supresión de barreras arquitectónicas en la Comunidad de Madrid, el 22 de Julio de 1993, la infraestructura debe permitir el acceso a las estaciones a personas con movilidad reducida (PMR).

3. TIPOS DE CRITERIOS Y FASES DE APLICACIÓN

Los criterios de diseño pueden dividirse en dos grupos: aquellos que vienen determinados por la explotación en general y el material móvil en particular, y los que afectan a los procedimientos constructivos. Dado que en otras ponencias estos últimos son tratados y analizados con detalle, se exponen a continuación los criterios funcionales que se están aplicando en los proyectos de las nuevas líneas.

Como ya se ha indicado los criterios funcionales vienen impuestos en gran medida por las características de la explotación. Su aplicación afecta a los trabajos técnicos prácticamente desde el inicio de los mismos, ya que deben ser tenidos en cuenta al llevar a cabo el Estudio de Demanda del Transporte y las alternativas de trazado.

Definido en éste, a nivel de anteproyecto, el trazado con la situación de estaciones, se redacta el Proyecto Funcional, que recoge los criterios funcionales, así como la definición de otras infraestructuras necesarias para la explotación de la línea y cuya necesidad se justifica en función de los resultados obtenidos de los Gráficos de Marcha, que aportan el número de trenes necesarios para cada intervalo de explotación y la alimentación eléctrica correspondiente.

Con todo ello se determina la necesidad de nuevas cocheras, su capacidad y ubicación, con el fin de dar una respuesta ágil a la puesta en circulación y retirada de trenes de la línea, según se está en horas punta o valle de demanda.

También se concretan las subestaciones y su ubicación, así como la localización de los aparatos de vía que permitan responder con rapidez a las incidencias en la circulación de trenes con la menor afección posible al servicio.

La información recogida en el Proyecto Funcional, conjuntamente con los criterios de tipo constructivo, son la base para el desarrollo del Proyecto de Construcción de la línea (ver croquis nº 2).

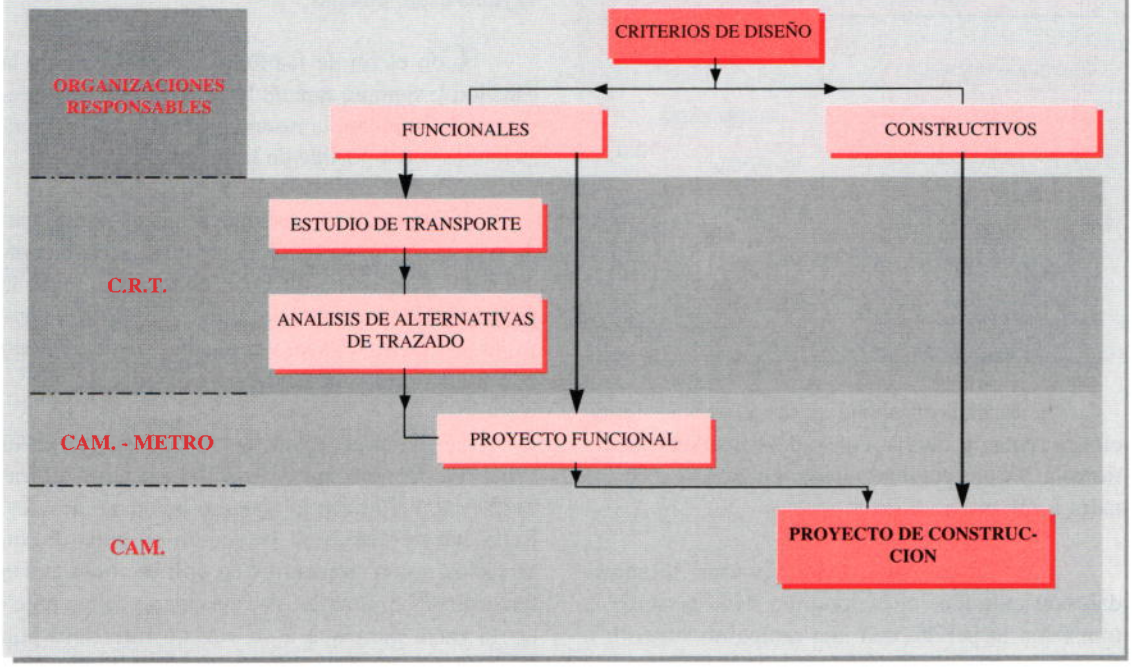
4. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL MOVIL

Se ha mencionado anteriormente la influencia que las características del material móvil tienen sobre los criterios de diseño. Las líneas nuevas de Metro se diseñan para permitir la circulación de trenes con coche de gálibo ancho, tipo 5000, ó gálibo estrecho tipo 2000. En el cuadro nº1 se recogen las características geométricas y operacionales más relevantes de cada

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL MOVIL (CUADRO 1).

CARACTERÍSTICAS / COCHE	ANCHO (m)	LARGO (m)	ALTO (m)	POSICIÓN HILO DE TRABAJO (m)	CAPACIDAD (VIAJEROS)	PESO TOTAL EN SERVICIO (Kg)	PENDIENTE MÁXIMA (milésimas)	VELOCIDAD MÁXIMA (Km/h)	LONG. ESTACIÓN PARA 6 COCHES (m)
2000	2,30	14,72	3,34	3,80	135	27.300	45	65	90
5000	2,80	17,40	3,55	4,10	230	32.500	35	70	115

2 • DIAGRAMA DE FLUJO DE APLICACIÓN DE CRITERIOS.



tipo. La definición del gálibo a utilizar en cada línea es función de las capacidades necesarias para satisfacer la demanda recogida en el estudio de transporte.

De todas estas características las que influyen de forma directa en la infraestructura son principalmente el ancho de las plataformas de los coches, que determina la dimensión transversal del túnel conjuntamente con otros factores que se detallaran a continuación, las pendientes y rampas máximas que pueden salvar y que condicionen los trazados, y la longitud de los coches, que determina la longitud necesaria de estación y distancias de frenado.

A la vista de los valores recogidos en el cuadro se deduce que las líneas con coches tipo 2000 permiten una flexibilidad mayor a la hora de efectuar los diseños de trazado e infraestructura, aunque hay una diferencia sustancial en cuanto a la capacidad de viajeros por coche a favor del tipo 5000 (un 70% más).

5. CRITERIOS POR ELEMENTOS

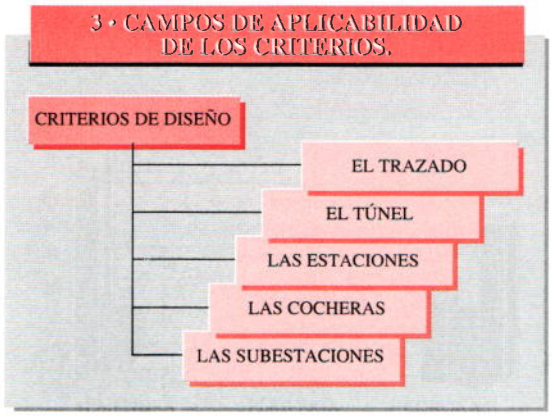
Se exponen a continuación los criterios que afectan a cada uno de los elementos que constituyen el Proyecto constructivo. Estos son (ver croquis 3):

1.- El trazado
2.- El túnel
3.- Las estaciones
4.- Las cocheras
5.- Las subestaciones eléctricas

5.1. EL TRAZADO

Los trazados se definen en planta y alzado, teniendo en cuenta los condicionantes que se indican seguidamente a la hora de ajustar la traza y situación de estaciones a la teórica que determina la distribución de áreas de demanda máxima. En algunos casos dichos condicionantes pueden dar lugar a situaciones contradictorias, que el diseñador deberá compatibilizar, buscando una solución de equilibrio de forma que satisfaga lo mejor posible la demanda y que su ejecución no implique la utilización de técnicas complejas que en general derivan en riesgos e indeterminaciones en la fase de construcción.

Las especificaciones de material móvil definen las pendientes y rampas máximas que puede tener la rasante de la vía. Estas deben ser iguales o menores a treinta y cinco milésimas en los trenes 5000, pudiendo llegar excepcionalmente a cuarenta milésimas. Para los trenes del tipo 2000 el valor de este parámetro puede llegar a cuarenta y cinco milésimas.



El trazado en planta se resuelve con alineaciones rectas y curvas con radios iguales o superiores a 300 m. pudiendo llegar en casos excepcionales a 250 m.

Las alineaciones rectas y curvas se acuerdan con clotoides cuya longitud debe permitir la transición al peralte con una rampa no superior a 1,5 mm/m. El peralte máximo es de 150 mm.

Para garantizar una conducción suave se limita la aceleración sin compensar a 0,065 g´s.

Los parámetros de los acuerdos verticales (kv.) serán iguales o superiores a 2000 m.

La explotación exige que las estaciones estén situadas en horizontal y que su alineación sea recta; las razones para ello están relacionadas con la optimización de la potencia necesaria para el arranque y frenado del tren, la seguridad en la conducción del mismo al facilitar la labor de apertura y cierre de puertas, y la limitación de las distancias entre la plataforma del coche y andén, tanto en horizontal (13 cm.) como en vertical.

La longitud de las estaciones para composiciones de 6 coches es de 115 m. para coches 5000 y 90 m. para coches 2000.

Los fondos de saco tendrán una longitud aproximada de 180 m. en horizontal, a partir del piñón de salida de la estación. Esta longitud es la necesaria para poder realizar la maniobra de cambio de vía.

La instalación de diagonales de los tipos estandarizados en Metro de Madrid hace necesario disponer de tramos rectos de al menos 60 m. de longitud a la entrada o salida de estaciones donde vayan a estar situadas.

Con el fin de facilitar la accesibilidad a la estación y siempre que no haya otros condicionantes que lo impidan, la rasante de la misma se situará lo mas cerca posible de la superficie.

Siempre que sea posible se encajará el trazado o la mayor parte de él, dentro de terrenos competentes. Ello exige un buen conocimiento de la geotecnia de los suelos por donde discurrirá la traza, lo que facilitará a su vez la elección del método constructivo más adecuado.

Se deberán salvar las interferencias en el subsuelo, bien mediante variaciones ligeras del trazado o bien eliminando aquellas mediante desvíos. Estas interferencias se presentan en general con servicios o con estructuras de edificaciones o con ferrocarriles existentes. Así mismo se deberá ajustar la traza para que a su vez no interfiera con recorridos de proyectos futuros de ferrocarriles.

El trazado en planta deberá evitar el paso por debajo de edificaciones; se trata con ello de evitar posibles subsidencias en los edificios y no eliminar la posibilidad de construir el túnel a cielo abierto o de realizar tratamientos del terreno desde la superficie en el caso de que fuesen necesarios.

Dado que la construcción de túneles y estaciones crea en los espacios próximos a la traza y sobre ella ocupaciones de viales, cuya amplitud depende del método constructivo a emplear, se deberán valorar las afecciones sobre el tráfico de superficie tanto en cuanto al espacio como en cuanto al tiempo de la misma.

Por otra parte el trazado deberá minimizar el impacto ambiental, discriminando aquellas causas que pudieran provocar efectos de difícil eliminación mediante medidas correctoras.

5.2. EL TÚNEL

Una vez definidas las trazas en planta y perfiles longitudinales de los trazados es posible llevar a cabo el diseño de la sección del túnel.

El primer paso es calcular la ocupación cinemática que el material móvil "barre" al mover-

se por el trazado diseñado. La ocupación de testeros y secciones medias de los coches en las curvas de menor radio será la que definirá la ocupación cinemática máxima requerida (ver croquis 4).

El desplazamiento cinemático depende del tipo de material móvil, de la geometría y sustentación de la vía y del estado de ésta. Las sustentaciones sobre vía hormigonada y un buen mantenimiento de la vía reducen los desplazamientos dinámicos.

Cuando la alimentación se produce mediante hilo de tracción, como es el caso de Metro de Madrid, se debe tener en cuenta que la sección del túnel tiene que alojar en la zona de la bóveda los anclajes necesarios para sustentar el hilo. La posición de este para trenes 2.000 se sitúa a 3,80 m. sobre carriles y de 4,10 m. para trenes 5.000.

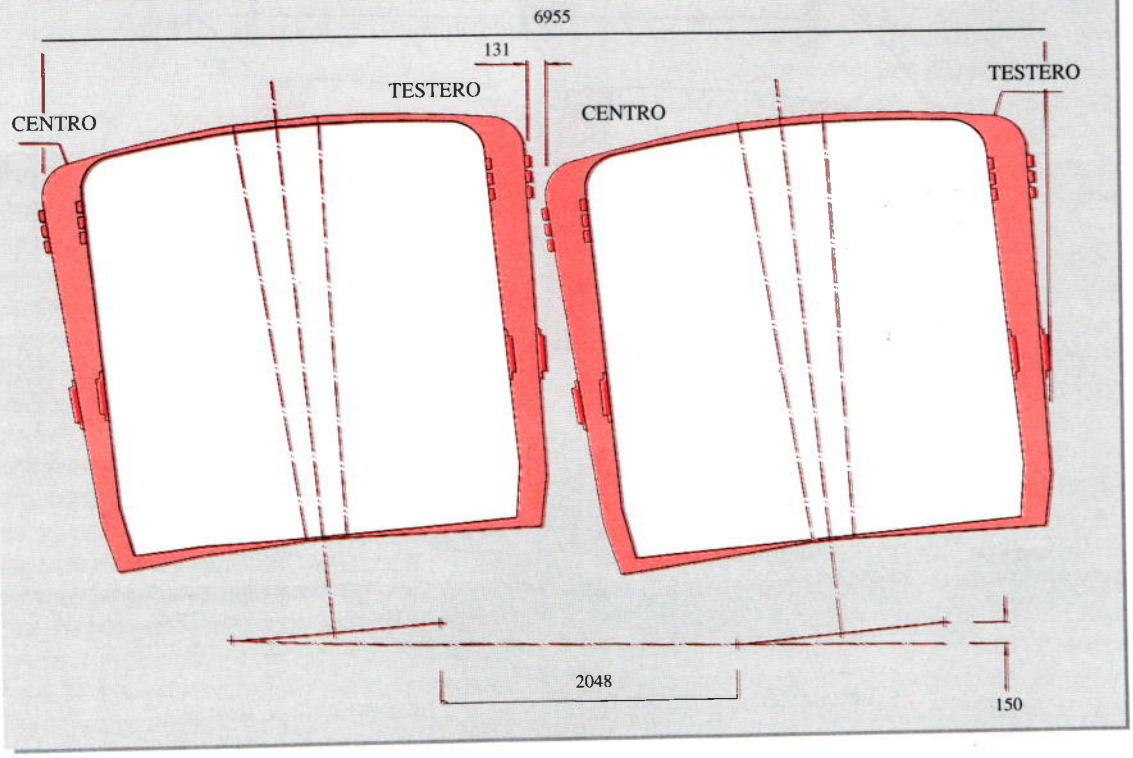
A la sección teórica mínima requerida en cuanto al ancho y altura sobre carriles, de acuerdo con los datos anteriores, se le debe de dar un sobreancho, que forman los resguardos laterales, para alojar los cables correspondientes a la alimentación eléctrica y la señalización (20 cm.) y para tener en cuenta las tolerancias en la construcción de los hastiales del túnel (20 cm.). Cuando la sustentación de vía es sobre balastro, se diseñan pasillos laterales de evacuación de 75 cm. de ancho. Estos pasillos se sitúan a nivel de la cabeza del carril, con el fin de no interferir con la entrada a los nichos existentes a lo largo del túnel.

Definido el espacio mínimo requerido por encima de la cota de carriles queda únicamente por fijar la posición de la contrabóveda con el fin de que sobre ella se puedan montar los elementos de sustentación de vía, dando a ésta la rigidez necesaria.

Para vía hormigonada se requieren 60 cm. por debajo de la cota de carril y para vía sobre balastro 30 cm. desde la cara inferior de la traviesa (ver croquis 5).

Las secciones geométricas que envuelven los espacios necesarios antes definidos, son analizados diseñando los espesores de los elementos estructurales de forma que puedan soportar las cargas de proyecto. En general, en el caso de túneles que se proyectan para construir en mina, los espesores de bóveda, hastiales y contrabóveda se diseñan de forma que se minimicen las zonas traccionadas, para

4 • OCUPACIÓN CINEMÁTICA.



evitar tener que utilizar ningún tipo de armadura. Estos diseños dan lugar a secciones de excavación, para túneles de vía doble, de 60 m² para trenes 2.000 y 80 m² para trenes 5.000, que se corresponden con secciones libres de 45 m² y 60 m² respectivamente, con anchos de túnel de 8 a 9 m. para trenes 5.000 y 7,50 m a 8 m. para trenes 2.000 y alturas desde cabeza de carril hasta la bóveda de 5,50 m. aproximadamente. Para túneles de vía sencilla estos valores son de 40 m² de excavación y 30 m² libres para trenes 2.000, 50 m² y 35 m² respectivamente para coches 5.000 (ver croquis 6 a 8).

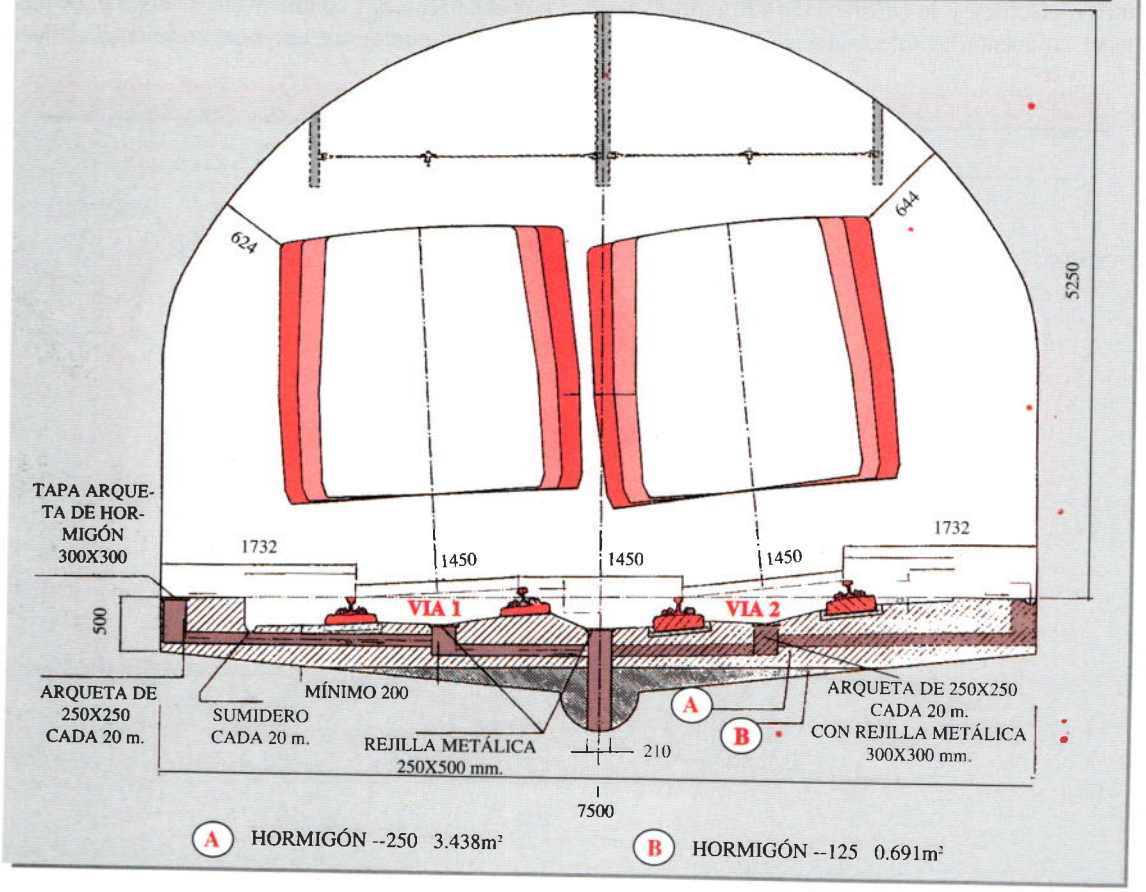
A lo largo del túnel, la sección tipo del mismo se ve modificada por la posición de otros elementos necesarios para la adecuada explotación. Estos elementos son los nichos, las cámaras de ventilación, los pozos de bombeo y las salidas de emergencia.

Los nichos son huecos dispuestos en los hastiales a nivel de vía, con una altura aproximada de 2 m, y de profundidad y anchura variable dependiendo de su función.

Los nichos de refugio se sitúan en ambos hastiales separados entre sí una distancia de 25 m; tienen un ancho de 1 m. y una profundidad de 0,80 m. Otros tipos de nichos son los necesarios para alojar los motores de agujas, los aparatos seccionadores de tensión del hilo de tracción, y los armarios de señales para regular la circulación de trenes, estos últimos con unas dimensiones de 3 m x 2 m x 1,50 m y situados en general a 9 m. del piñón de la estación.

El sistema de ventilación de estaciones y túneles requiere la construcción de pozos de inmisión, con secciones de 2,5 x 2,5 m², que se sitúan en la proximidad de los piñones de la estación y un pozo de extracción en cada interestación con secciones de 5 x 4 m² (ver croquis 9). Por estos últimos se expulsa el aire mediante ventiladores situados en una galería que comunica el túnel con el pozo. Esta galería tiene una sección aproximada de 6 m. de ancho y 2,20 m. de altura de hombros y 15 m. de longitud mínima. Las secciones de los pozos se diseñan de forma que se limiten las velocidades

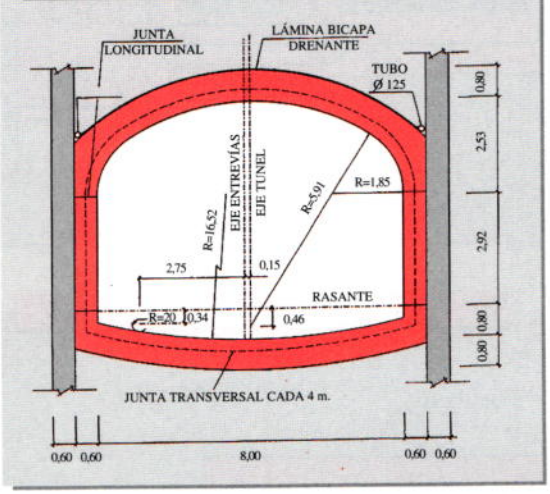
5 • SECCIÓN DE TÚNEL CON VÍA Y LÍNEA AEREA.



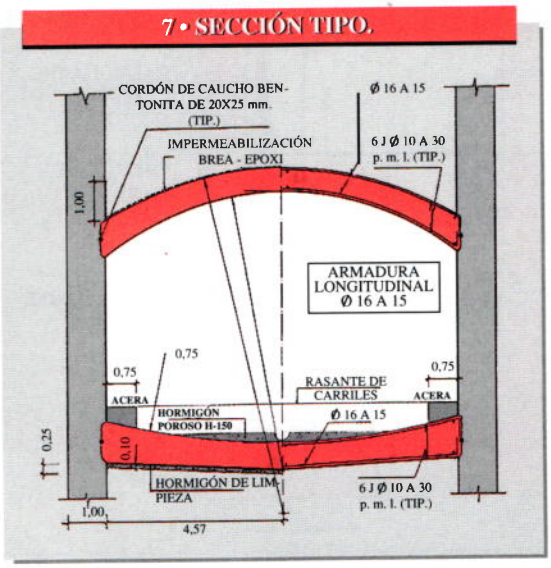
del aire en las rejillas entre 2,5 y 3,5 m/s en los de impulsión dependiendo de que estén situados en zona peatonal o no, y entre 3,5 y 5 m/s en los de extracción. Parte de la rejilla de los pozos de extracción es practicable para uso de bomberos, que pueden acceder hasta el túnel mediante una escalera situada en el interior del pozo. En este se monta también una columna seca desde el túnel hasta la parte inferior de la rejilla.

Los pozos de bombas se colocan en los puntos bajos de los recorridos, cuando la rasante de estos se sitúa por debajo de los sistemas de colectores. Los pozos se diseñan con entradas desde la superficie y desde el túnel, y con una sección de 4,5 x 4,5 m. aproximadamente y alojan tres bombas que mandan a la red de colectores el agua que llega al pozo a través del sistema de drenaje del túnel (ver croquis 10).

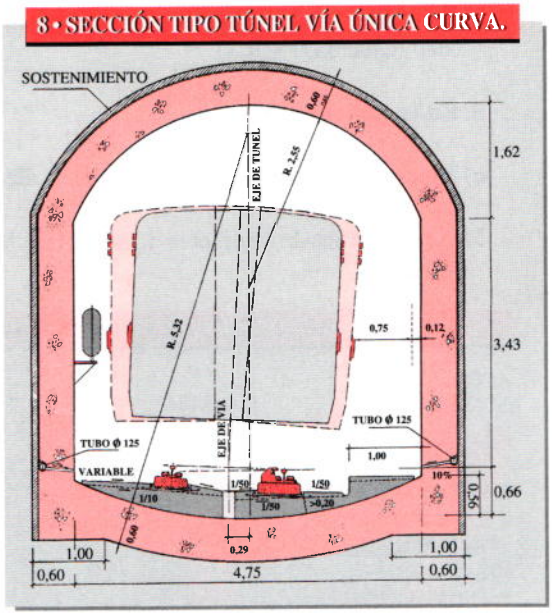
6 • SECCIÓN TIPO ENTRE PANTALLAS (EN RECTA).



7 • SECCIÓN TIPO.



8 • SECCIÓN TIPO TÚNEL VÍA ÚNICA CURVA.



Las salidas de emergencia se diseñan en interestaciones con un recorrido de más de 1.000 m. y con un ancho de al menos dos pasos de hombre. En general se aprovechan para las mismas las galerías y pozos construidos para la entrada de materiales durante la construcción del túnel.

5.3. LAS ESTACIONES

Como ya se apuntó anteriormente, es conveniente que la estación se sitúe lo más próxima posible a la superficie con el fin de mejorar la accesibilidad a la misma.

Esta posición de proximidad tiene, además, otros tipos de ventajas:

1. **En la construcción de la estación:**

a) Se eliminan incertidumbres al ejecutarse, en general a cielo abierto.
b) Se reducen las longitudes de los cañones de comunicación calle-vestíbulo-andénes.
c) La construcción del vestíbulo se integra en la ejecución de la estación.
d) Los pozos de ventilación (inmisión) son poco profundos.

2. **En el equipamiento:**
a) Menor número de escaleras mecánicas
b) Menor longitud de cableados

c) Accesos sencillos para personas de movilidad reducida (PMR´s).

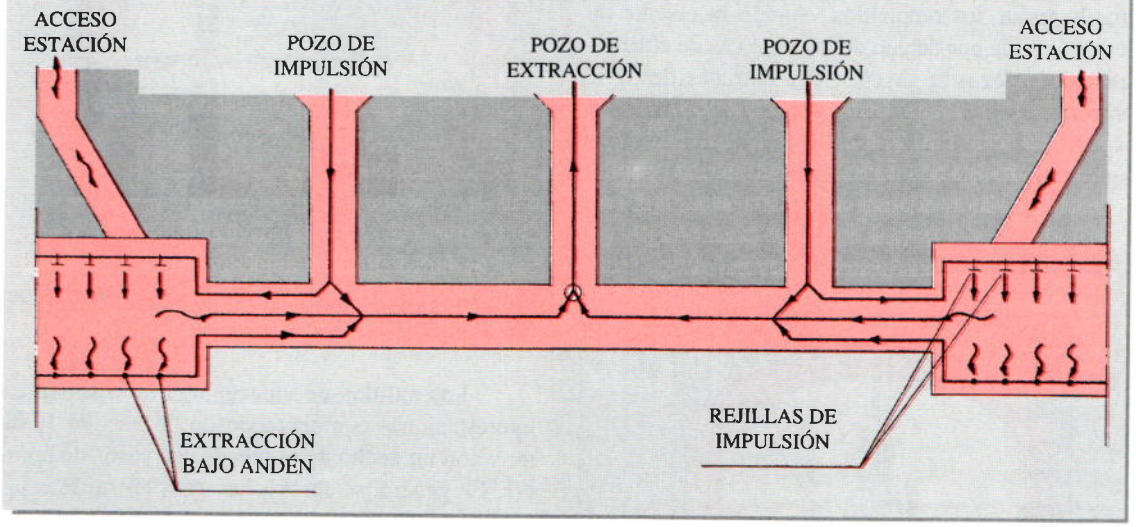
3. **En la explotación:**

a) Menor coste de mantenimiento de escaleras mecánicas.
b) Se simplifica la vigilancia y control de la estación
c) Menor coste de mantenimiento en iluminación, revestimientos, suelos y limpieza.

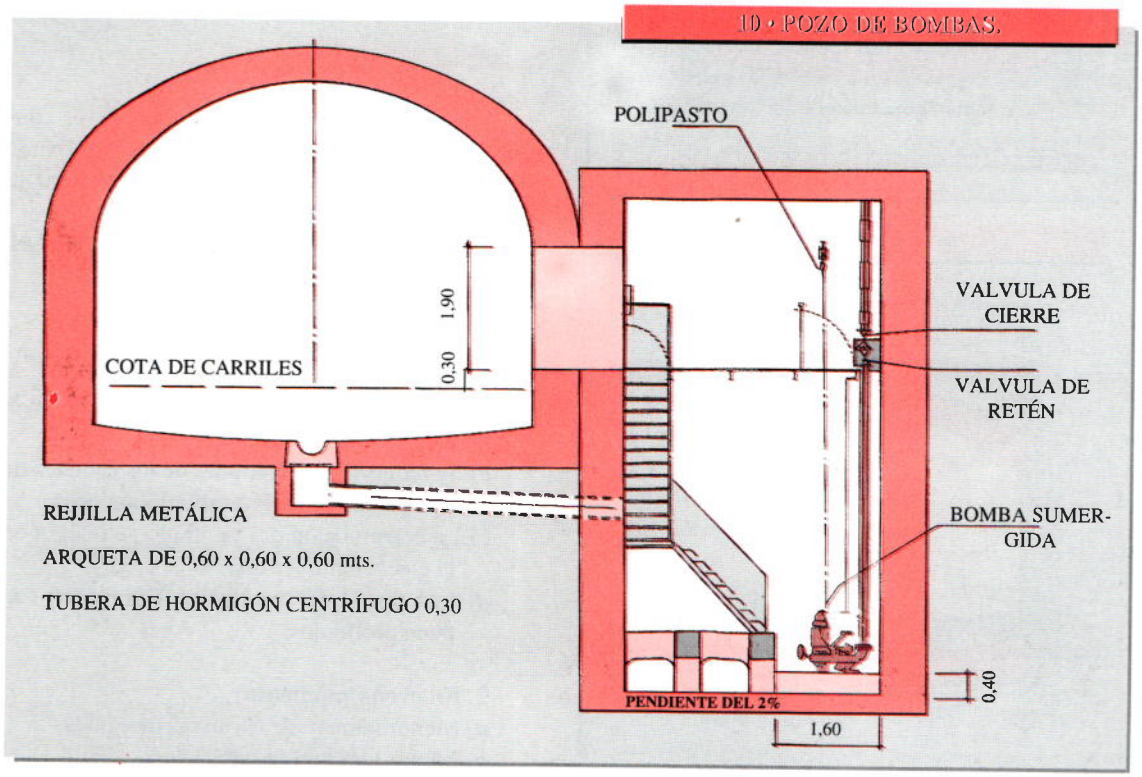
4. **Para los usuarios:**

a) Se reduce el tiempo de acceso entre superficie y andén
b) Reducción de la inseguridad ciudadana dentro de las instalaciones.

9 · DIAGRAMA DE PRINCIPIO DE VENTILACIÓN EN MÓDULO TIPO.



10 · POZO DE BOMBAS.



c) Reduce los tiempos de evacuación en caso de emergencia.
d) Estaciones y vestíbulos más amplios.

5. **Para el entorno:**

a) Posibilidad de utilizar los espacios residuales de la excavación de la estación para fines sociales o equipamientos urbanos.

Para poder construir las estaciones cerca de la superficie es necesario que las diferencias de cota con las estaciones contiguas no sean excesivas para que puedan salvarse con trazados que respeten las rampas y pendientes máximas de diseño.

Además, la situación en planta de la estación no deberá interferir con la edificación, y la incidencia que la construcción de la estación pueda tener sobre el tráfico de superficie y los impactos medioambientales deberán ser asumibles.

Las secciones de las estaciones vienen definidas por el ancho mínimo entre hastiales. Este ancho se descompone en el necesario para andénes (5 m. por andén) y la distancia entre bordes de andén (6,41 m. para trenes 5.000 y 5,34 m. para trenes 2.000). Los andénes se sitúan 1,05 m. sobre la cabeza del carril.

Todo lo anterior define un espacio con un ancho necesario entre 15-16 m. y alturas de bóveda entre 8 y 10 m (ver croquis 11).

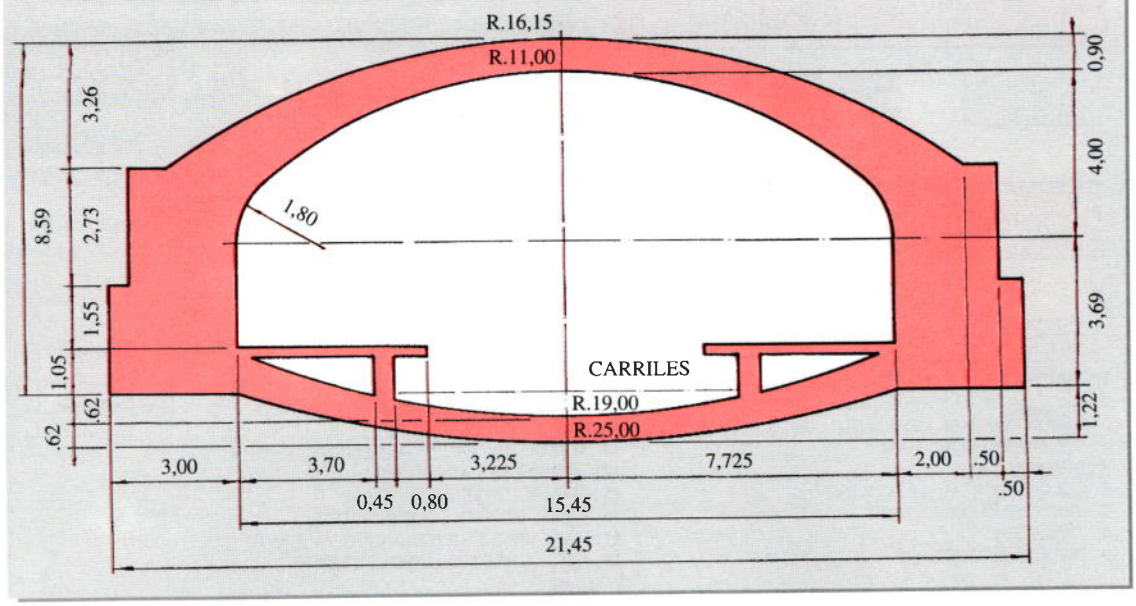
Las longitudes de estación para las nuevas líneas son de 115 m. para circulación de trenes 5.000 y de 90 m. para trenes 2.000, en ambos casos para 6 coches.

En los hastiales de la estación y a la altura de andénes se sitúan los cuartos técnicos de enclavamiento y comunicaciones, con una superficie de 20 m², y los de transformación, con el doble de superficie que los anteriores.

Para definir la sección de los cañones de comunicación, se parte de los datos suministrados por los estudios de transporte del Consorcio Regional de Transportes. Se analizan los datos de demanda prevista, obteniéndose el flujo de viajeros de entrada a la estación en la hora punta. Asimismo, se calcula el flujo de viajeros, que sale en la estación, teniendo en cuenta la llegada simultánea de trenes en las dos direcciones, durante los diez minutos de mayor carga dentro de la hora punta.

El número de viajeros entrando y saliendo de la estación por minuto define la geometría del cañón, pues la capacidad del mismo es función directa de su anchura. En general se considera que para cañones con flujos de doble dirección, la capacidad es de 70 viajeros por minuto por cada metro de ancho. Otros coeficientes de capacidad se aplican a cañones de dirección única, escaleras fijas (tanto en subida como en bajada) y escaleras mecánicas. El desarrollo de los cañones, tanto en

11 • SECCIÓN DE ESTACIÓN DE 15,45 m.



planta como en alzado, debe permitir salvar los desniveles entre andénes y vestíbulo, y entre este y la superficie, respetando las pendientes máximas de escaleras. Y reservando los espacios necesarios para descansillos en escaleras fijas y áreas de embarque y desembarque de las escaleras mecánicas (3 m. mínimo a partir de la entrada ó salida de la escalera). En cualquier caso el ancho mínimo de cañones sin escaleras será de 4 metros, y con doble escalera mecánica de, 6 metros.

La construcción de los cañones de comunicación requiere un esfuerzo constructivo importante, pues representan como mínimo el 25% de la longitud total del túnel de línea, y además puede plantear problemas de ejecución importantes al tener que construir galerías de grandes dimensiones en pendiente y atravesando capas de terreno con distintas características, con el condicionante de salvar las galerías y servicios próximos a la superficie.

Los vestíbulos se sitúan próximos a la superficie. La construcción en la mayoría de los casos se realiza a cielo abierto y su nivel está a menos de 10 metros del de calle. Al ubicarse en ellos los peajes y el control de estación, la superficie requerida viene dada por el espacio necesario para el movimiento de viajeros y por el que necesita la explotación.

Los torniquetes y pasos de salida se sitúan, siempre que sea posible en una misma línea, después del puesto de control local de estación. El número de torniquetes y pasos necesarios se calcula en función de la demanda. Los primeros se determinar a partir del número de viajeros que acceden a la estación en hora punta y teniendo en cuenta que la capacidad de cada torniquete es de 15 viajeros por minuto; el número de pasos de salida se calcula en función del número de viajeros que descienden de los trenes más cargados en hora punta, coincidiendo la llegada de trenes por ambas vías. La capacidad de cada paso es de 40 viajeros por minuto.

En el caso de los torniquetes, al número de ellos requeridos según el cálculo anterior, se agrega uno más de reserva.

Dentro de la línea de peaje se integra así mismo un portón, cuya apertura se activa desde el puesto de control, y que permite el paso a aquellos viajeros que no pueden utilizar los torniquetes.

El espacio del vestíbulo queda dividido, por tanto, por la línea de peaje; delante de ella se sitúa el puesto de control(en el mismo lado que los torniquetes y el portón), las máquinas expendedoras automáticas, locales comerciales y los cuartos de basuras. Otros espacios a situar a nivel del vestíbulo, son los necesarios para vestuarios y aseos para el personal de estación y el ascensor desde calle a vestíbulo; otro ascensor desde vestíbulo hasta andénes se sitúa detrás de la línea de peaje.

En general de todo lo anterior resulta nece-

12 • ESQUEMA ORIENTATIVO DE LA DISPOSICIÓN DE VESTÍBULO.

1 .-VESTUARIO Y ALMACEN PERSONAL DE LIMPIEZA
2 .-ALOJAMIENTO Y REGISTRO M. BILLETERAS
3 .-ASEO PERSONAL FEMENINO
4 .-VESTUARIO FEMENINO
5 .-DISTRIBUIDOR
6 .-ASEO PERSONAL MASCULINO
7 .-VESTUARIO MASCULINO
8 .-TAQUILLA
9 .-PUESTO DE CONTROL
10 .-CUARTO DE BASURAS
11 .-LOCAL COMERCIAL
12 .-CUARTO DE RESERVA
13 .-MAMPARA CORTAVIENTOS
14 .-NICHO PARA ACOMETIDA
15 .-TORNIQUETES (ENTRADAS)
16 .-PASOS ENCLAVADOS (SALIDAS)
17 .-CANCELAS DE PROTECCIÓN Y CIERRE
18 .-ESCALERAS MECÁNICAS Y FIJAS

saria una superficie de 30 x 20 m², en cuya construcción se deben dejar previstas las canalizaciones en las soleras para alimentar a la línea de peaje y a las máquinas expendedoras (ver croquis 12).

El acceso de personas con movilidad reducida (PMR) se realiza mediante ascensores con una cabina de 1,5 x 1,5 m de superficie. Entre los criterios para definir los itinerarios desde la calle hasta andénes deben considerarse los siguientes:

a) Minimización de recorridos, evitando itinerarios específicos para PMR.
b) Minimización del número de ascensores.
c) Para no modificar el sistema de explotación en la estación los PMR deben pasar por la línea de peaje, al igual que el resto de los usuarios, lo que supone disponer de ascensores desde calle hasta vestíbulo y desde vestíbulo hasta andénes.
d) Simplicidad y facilidad estructural y constructiva.
e) Integración de la cabina exterior en el medio urbano.

5.4. LAS COCHERAS

El aparcamiento de trenes fuera de las horas de servicio y la necesidad de dar una respuesta rápida a las variaciones de la demanda desde las horas punta a las horas valle, retirando o poniendo en circulación trenes, hacen necesaria la construcción de cocheras que deben ser ubicadas de forma estratégica en la red.

En general las grandes cocheras (para más de 8 vías) se construyen en superficie, comunicándose con la red subterránea mediante túneles de enlace.

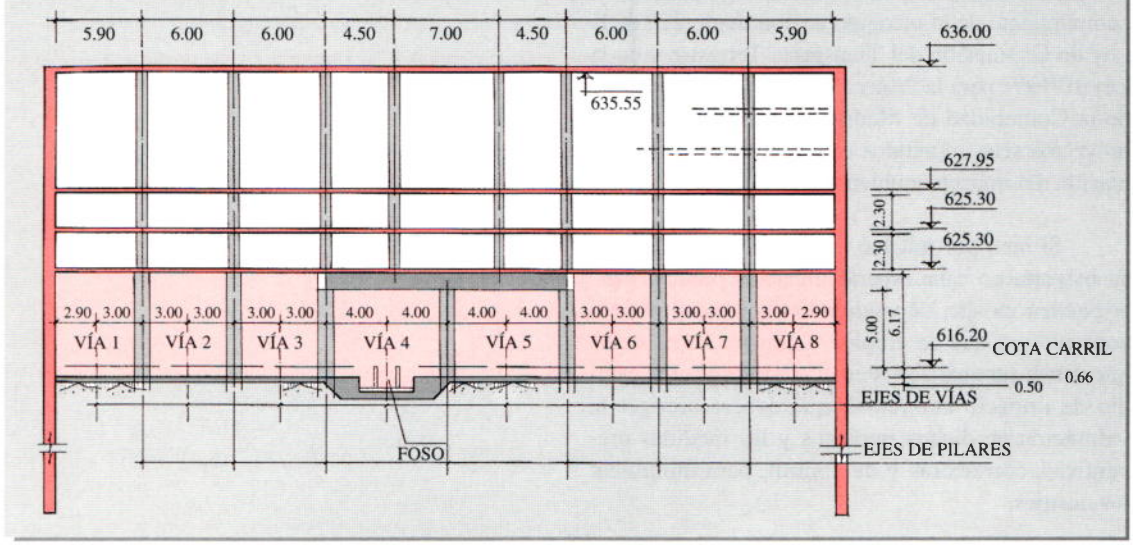
Las cocheras de hasta ocho vías pueden ser construidas anejas al túnel de línea, bien en grandes cavernas de doble bóveda o bien creando un recinto entre pantallas. Dadas las dificultades que representa en general el primer método, lo más común es realizar la construcción mediante pantallas, que tiene, como ventaja añadida, el aprovechamiento del volumen residual excavado para su utilización en equipamiento urbano o para actividades sociales.

Como ejemplo de esto último, las dos cocheras subterráneas construidas en la Línea 1 y la Línea 6, con cuatro y ocho vías y capacidad para ocho trenes, tendrán en su nivel superior aparcamientos subterráneos de 900 y 2000 plazas respectivamente (ver croquis 13).

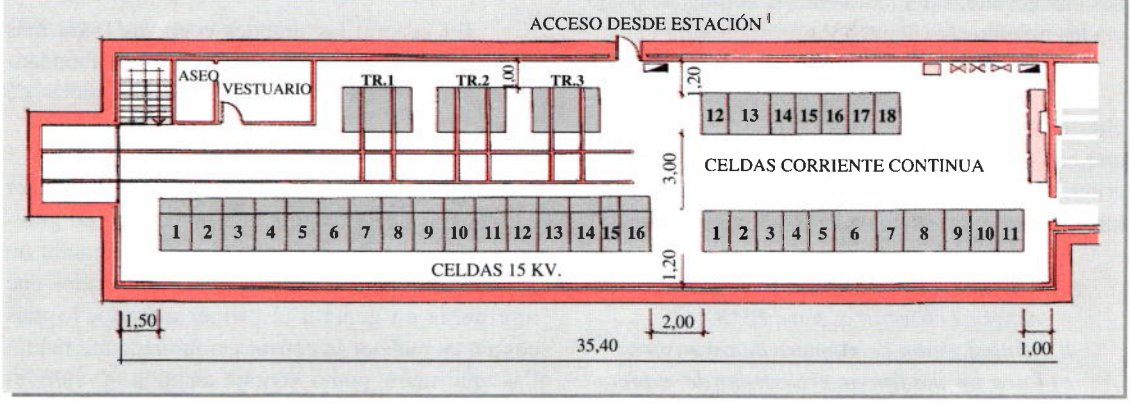
5.5. LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Las subestaciones se sitúan en las proximidades de las trazas de los túneles. Su ubicación se determina de acuerdo con el diagrama de marchas que define las necesidades de alimentación eléctri-

13 • SECCIÓN TRANSVERSAL DE COCHERAS CON APARCAMIENTO SUPERIOR.



14 • SUBESTACIÓN ELÉCTRICA TIPO. PLANTA SUPERIOR.



ca a lo largo de la línea. Su función es alimentar al equipo eléctrico de tracción y a los centros de transformación de las estaciones. Son estructuras de dos pisos, de planta rectangular (35 x 10 m^2) en la mayor parte de los casos soterradas y construidas a cielo abierto, (ver croquis 14). En el piso superior se sitúa el equipo eléctrico, transformadores y celdas; en el inferior los tendidos de cables, que desde este nivel, y mediante una galería, se comunican con el túnel. En su diseño se contempla un acceso directo desde el nivel de calle y, una entrada de equipos desde la misma, así como la salida del sistema de ventilación de la subestación.

6. EL IMPACTO AMBIENTAL

Como ya se apuntó al hablar del trazado, en cumplimiento de lo recogido en el artículo 228 de la Ley de Ordenación del Transporte Terrestre y en la Ley 10/1991 para la Protección del Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, es necesario que los proyectos sean sometidos al procedimiento de evaluación del impacto ambiental.

Si bien por tratarse de obras subterráneas en su mayoría no cabe esperar impactos permanentes, si pueden existir, dependiendo del procedimiento constructivo que se emplee, impactos temporales que deben ser analizados en el correspondiente estudio de impacto ambiental, que deberá recoger la valoración de dichos impactos y las medidas preventivas, correctoras y de control, para minimizar los mismos.

EL TRAZADO. CONDICIONANTES DEL DISEÑO.

POR EL MATERIAL MOVIL

-PENDIENTES Y RAMPAS MÁXIMAS
- COCHES 5000 35 milésimas
- COCHES 2000 45 milésimas

-RADIOS MÍNIMOS 300 m.

-LONGITUD DE ESTACIONES
- COCHES 5000 115m.
- COCHES 2000 90 m.

POR INTERFERENCIAS

-EN EL SUBSUELO
- *CON LA INFRAESTRUCTURA DE FERROCARRILES EXISTENTE O EN PROYECTO
- *CON SERVICIOS

-EN SUPERFICIE
- *EDIFICACIÓN
- *TRÁFICO

POR LA EXPLOTACIÓN

-CONFORT DEL VIAJERO (EN TREN EN MARCHA):
- ACUERDOS VERTICALES 2000 m.
- PERALTE MÁXIMO 150 mm.
- TRANSICIÓN AL PERALTE 1,5 mm/m.
- ACELERACIÓN SIN COMPENSAR 0-0,065 g´s

-SEGURIDAD Y OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA:
- ESTACIONES EN RECTA
- ESTACIONES EN HORIZONTAL

-FONDOS DE SACO DE 180 m. EN HORIZONTAL

-IMPLANTACIÓN DE APARATOS DE VÍA:
- 60 m. EN RECTA

-ACCESIBILIDAD:
- NIVEL DE ESTACIÓN PRÓXIMO A NIVEL DE CALLE

POR LA GEOTECNIA

-TERRENOS COMPETENTES SIN TRATAMIENTO

EL TUNEL. CONDICIONANTES DEL DISEÑO.

LOS GALIBOS

-OCUPACIÓN CINEMÁTICA
- *INSCRIPCIÓN DE TESTEROS Y SECCIONES MEDIAS
- *DESPLAZAMIENTOS CINEMÁTICOS:
  - SUSTENTACIÓN DE VÍA
  - VÍA
  - MATERIAL MÓVIL

-POSICIÓN DEL HILO DE TRABAJO (ANCLAJES)
- 5.000´s: 4,10 m. (sobre carriles)
- 2.000´s: 3,80 m. (sobre carriles)

-RESGUARDOS LATERALES
- SEÑALIZACIÓN Y CABLEADO: +20 cm.
- TOLERANCIA Y CONSTRUCCIÓN: +20 cm.

-PASILLOS LATERALES
- 75 cm. A NIVEL DE CABEZA DE CARRIL

-POSICIÓN DE CONTRABÓVEDA:
- VÍA HORMIGONADA: 60 cm. a cota de carril
- VÍA EN BALASTRO: 30 cm. desde cara inferior traviesa

CÁMARAS DE VENTILACIÓN

-POZOS DE INMISIÓN (SECCIÓN 2, 5x2, 5 m^2)

-POZOS DE EXTRACCIÓN (SECCIÓN 5x4 m^2)

-GALERIAS (6x2, 20 m. de altura en hombros)

POZOS DE BOMBAS

SALIDAS DE EMERGENCIA

-EN INTERESTACIONES > 1.000 m.

LAS ESTACIONES.
CONDICIONANTES DEL DISEÑO.

SECCIONES DE ESTACIÓN

-EJECUCIÓN EN MINA
ANCHO INFERIOR ENTRE HASTIALES:
5 m. de andén
6,41 m. entre bordes para 5.000
5,34 m. entre bordes para 2.000
TOTAL ANCHO 15-16 m.

-EJECUCIÓN CON PANTALLAS

CUARTOS TÉCNICOS EN ANDÉN

-CUARTO DE ENCLAVAMIENTO Y COMUNICACIONES (VÍA I) (4, 5x4, 5 m²)

-CUARTO DE TRANSFORMACIÓN (VÍA II) (8x5 m²)

ACCESOS

-ANCHURA 4 - 4.50 m.

ACCESO DE PMR

-ASCENSORES: CALLE - VESTÍBULO
VESTÍBULO - ANDENES

-EVITAR ITINERARIOS ESPECÍFICOS

CAÑONES DE COMUNICACIÓN

-CÁLCULO DEL FLUJO DE VIAJEROS (Nº VIAJEROS/MINUTO)

-ANCHURA = F (FLUJO DE VIAJEROS)
CAPACIDADES:

CAÑONES: DIR. ÚNICA 90 vpm/ml
DOBLE DIR. 70 vpm/ml

ESCALERAS FIJAS:
SUBIDA: DIR. ÚNICA 40 vpm/ml
DOBLE DIR. 30 vpm/ml
BAJADA: DIR. ÚNICA 50 vpm/ml
DOBLE DIR. 40 vpm/ml

ESCALERAS MECÁNICAS: 1 m. de ancho y 0,6 m/s. 100 vpm

ANCHO MÍNIMO = 4 metros
CON PASILLOS RODANTES O ESCALERAS MECÁNICAS = 6 metros

VESTÍBULOS

-UBICACIÓN PRÓXIMA A NIVEL DE CALLE

-EVITAR CORRESPONDENCIAS EN VESTÍBULOS
DETERMINACIÓN DEL ESPACIO PARA MOVIMIENTO DE VIAJEROS
-NÚMERO DE TORNIQUETES (15 vpm)
-NÚMERO DE PASOS DE SALIDA (40 vpm)
-PORTÓN
-SITUACIÓN DE MÁQUINAS EXPENDEDORAS AUTOMÁTICAS
-ESPACIOS A UN LADO Y A OTRO DE LÍNEA DE PEAJE
- PREVISIÓN DE FORMACIÓN DE COLAS EN P.C.L.

-ESPACIOS PARA LA EXPLOTACIÓN
* P.C.L. (4x4 m²)
* VESTUARIOS
* ASEOS
* CUARTO DE BASURAS

ESPACIO TOTAL 30 x 20 m²

-PREVISIÓN DE CANALIZACIONES EN SUELO

COCHERAS Y SUBESTACIONES.

COCHERAS

-CONSTRUCCIÓN A CIELO ABIERTO

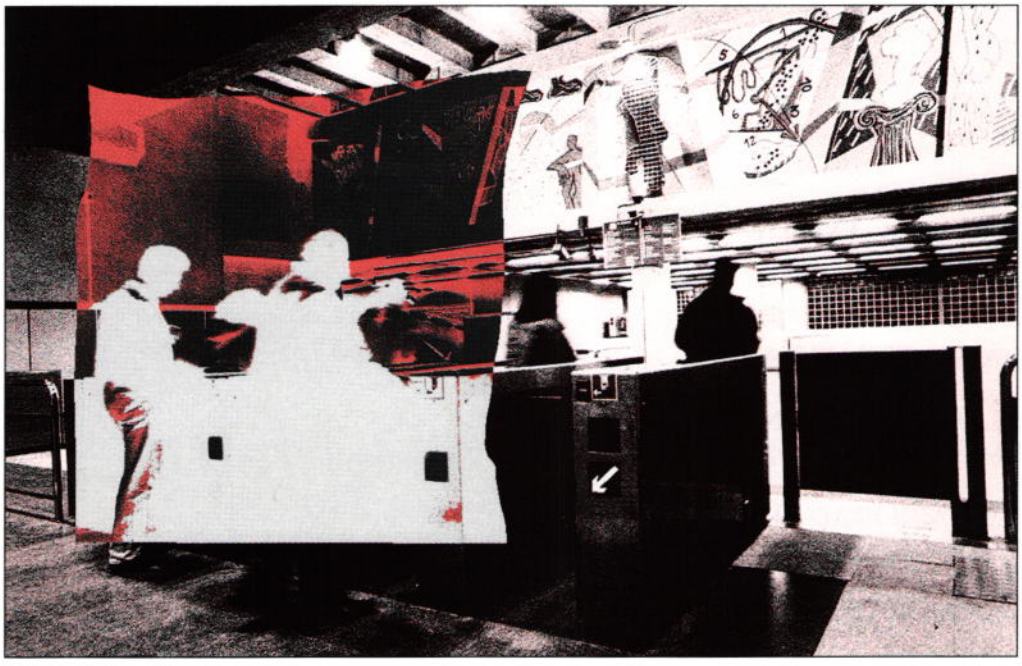
-UTILIZACIÓN DEL ESPACIO SUPERIOR PARA EQUIPAMIENTO URBANO O ACTIVIDADES SOCIALES

LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS (35x10 m²)

-ACCESO DESDE CALLE

-ENTRADA DE EQUIPOS DESDE CALLE

-GALERÍA DE COMUNICACIÓN CON TÚNEL



EL METRO Y LOS SUELOS DE MADRID

SANTIAGO URIEL ROMERO
Catedrático de Geotecnia. E.T.S. de Ing. Caminos, Canales y Puertos.
Universidad Politécnica de Madrid.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. EL AGUA SUBÁLVEA

3. LOS RECONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS

4. LA ESTABILIDAD DE LAS EXCAVACIONES

5. MOVIMIENTOS Y SUBSIDENCIAS

1.– INTRODUCCIÓN

Los terrenos que configuran el subsuelo de Madrid son bien conocidos y referenciados. Las múltiples obras realizadas, en especial las del ferrocarril metropolitano, han permitido conocer, sin las inevitables alteraciones y decompresiones superficiales, la distribución y propiedades de tales terrenos. Desde las facies detríticas hasta las evaporíticas del Neogeno han quedado atravesadas por alguna de las líneas del Metro. Véase, por ejemplo, el perfil geotécnico de la línea VI (fig 1) (tramo Cuatro Caminos-Pacífico-Oporto. V. Escario «Síntesis geotécnica de los suelos de Madrid y de su Alfoz». Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. 1985).

La clasificación de los terrenos detríticos, hasta incluir el tosco, y dentro de una gama continua de características, es convencional. La propuesta más aceptada se basa en el porcentaje de material que pasa el tamiz 200. ASTM, según el siguiente baremo, que se completa con la peñuela:

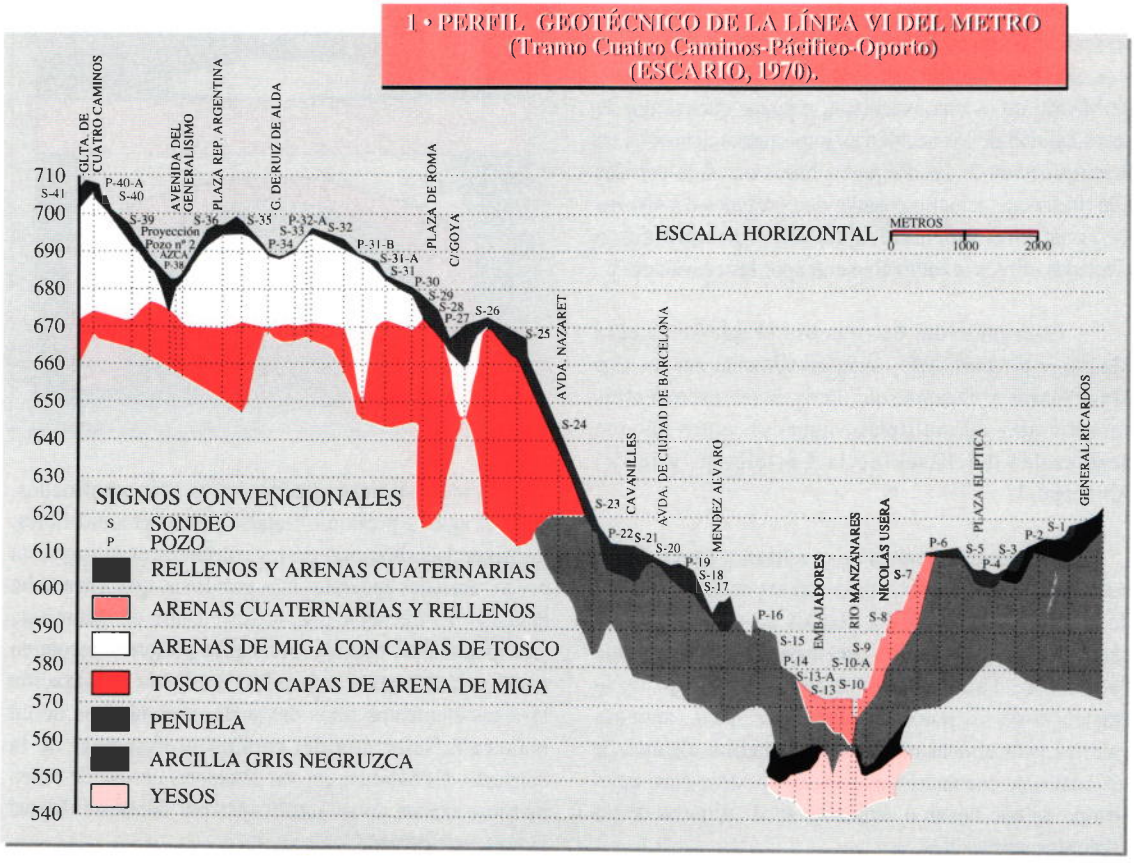
Arenas	#200 < 5 %
Arena de miga	5% < #200 < 25%
Arena tosquiza	25% < #200 < 40%
Tosco arenoso	40% < #200 < 60 %
Tosco	#200 > 60 %
Transición tosco-peñuela	
Peñuela	Límite Líquido entre 50 y 80%

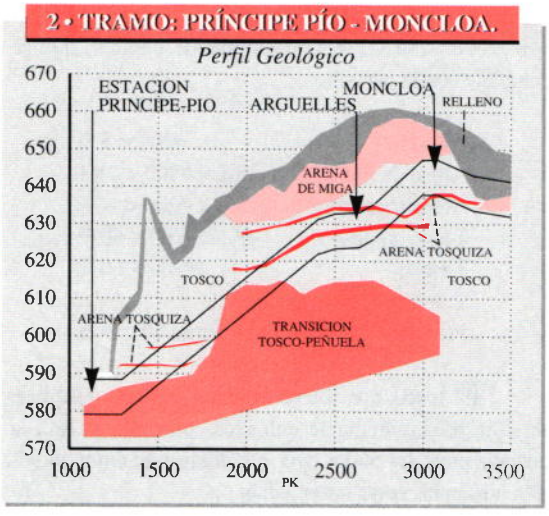
El tosco, con intercalaciones de arena tosquiza, se sitúa preferentemente entre las cotas 640 y 700; la peñuela entre las 560 y 610, y la transición entre ambos terrenos en las cotas intermedias.

El tramo Príncipe Pío-Moncloa, que ahora se comenta, discurre entre las cotas 580 y 650 y afecta fundamentalmente a estratos de arena tosquiza con algunas intercalaciones de arenas de miga (véase fig 2). En los accesos se cortan, también, los estratos más superficiales de arena de miga y rellenos artificiales.

En los párrafos que siguen se destaca, de una forma sucinta, algunos de los aspectos más interesantes

1 • PERFIL GEOTÉCNICO DE LA LÍNEA VI DEL METRO (Tramo Cuatro Caminos-Pacífico-Oporto) (ESCARIO, 1970).





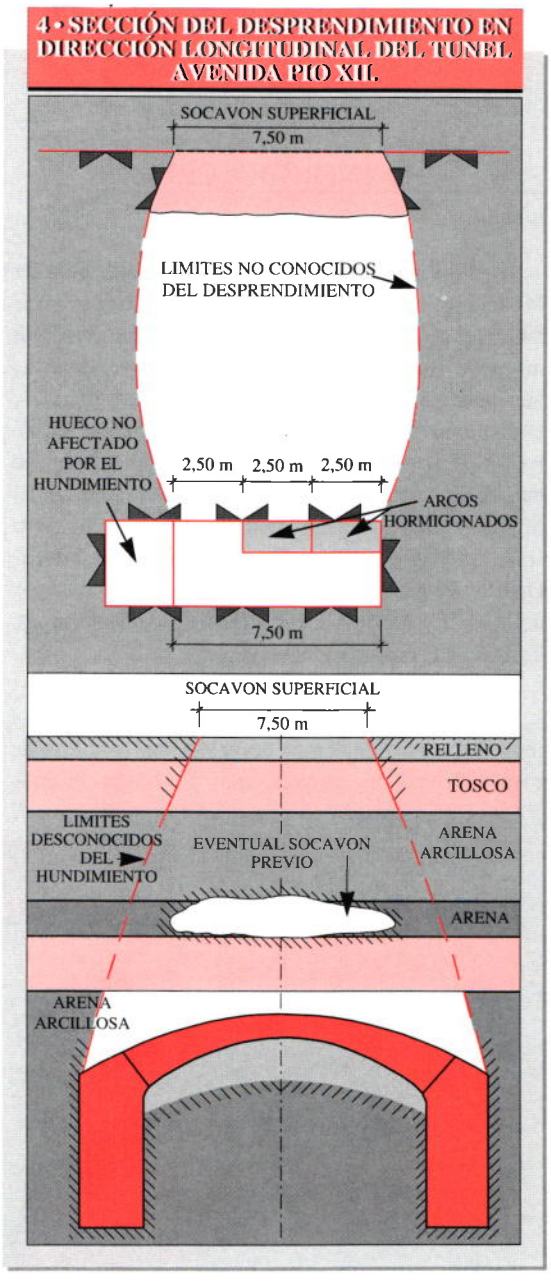
del comportamiento de estos suelos en relación con la construcción del Metro, en líneas generales, y del tramo VI en particular.

2.– EL AGUA SUBALVEA

Es bien conocida el influjo negativo que tiene la presencia del agua en la estabilidad de las excavaciones y en el comportamiento general de los túneles. El Metro de Madrid no es una excepción, y puede decirse que la casi totalidad de los accidentes importantes ocurridos en la construcción de las diferentes líneas han sido debidas a la presencia, actual o pasada, de corrientes o bolsadas de agua en el subsuelo, que han sido cortadas o afectadas, directa o indirectamente, por las ecavaciones.

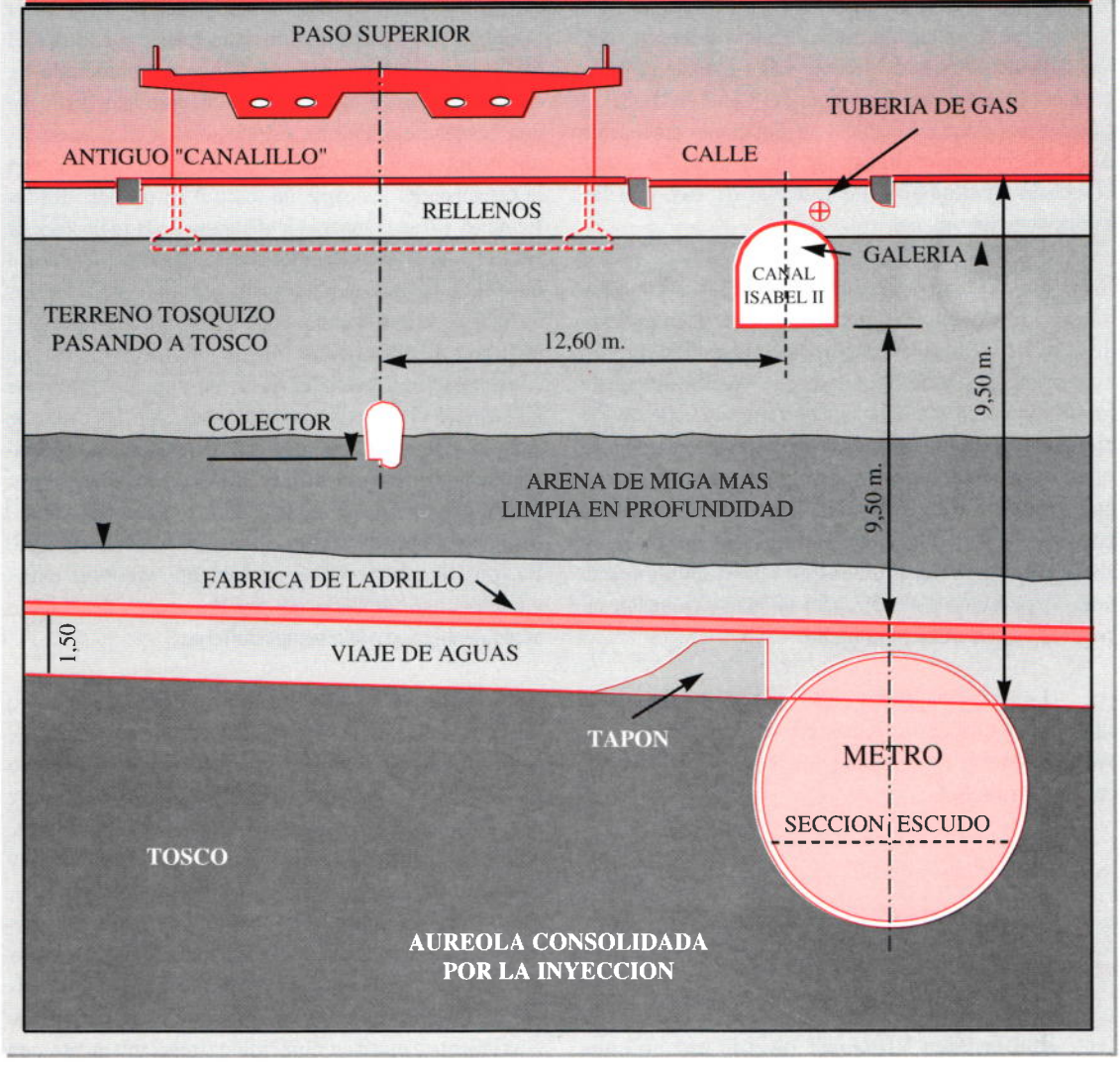
El drenaje del cerro sobre el que se asienta Madrid, está constituido fundamentalmente por los ríos Manzanares y Jarama, que acogen las escorrentías superficiales de múltiples vaguadas, entre las que destaca las del Paseo de la Castellana, y la del Abroñigal.

Las aguas subálveas se canalizan a través de los estratos más permeables, como son los de arena o arena de miga, o a través de los fondos de paleovaguadas, recubiertos por suelos permeables de segunda formación. También es conocido el influjo de la existencia de los llamados «viajes de agua», antiguas galerías para el abastecimiento de Madrid, algunos de los cuales se encuentran activos en nuestros días, en el sentido de que llevan o acumulan aguas filtradas de los contornos permeables.



Estos acuíferos pueden estar o no confinados, tener el agua a presión o tratarse de escorrentías libres. En general la dirección de las corrientes es la impuesta por los drenajes generales más próximos, que antes se ha indicado. Es frecuente que, incluso dentro de una misma capa permeable, el agua se canaliza preferentemente en zonas relativamente reducidas, en donde la filtración lava los elementos finos del suelo, acelerándose de tal manera la selección del camino preferencial de la corriente. Es habitual que en distancias cortas, de orden métrico, existan zonas localizadas por donde se detecta la presencia de agua.

3 · SUBSIDENCIAS Y EXPLOSIONES DE GAS EN JOAQUIN COSTA. SECCIÓN TRANSVERSAL.



Son bien conocidos los problemas planteados por el agua en el cruce del río Manzanares, en la vaguada de la Castellana, o en las vaguadas próximas. Las capas de arena de miga superficiales son, evidentemente, las posiblemente más conductoras. Puede citarse, como ejemplo, el caso del Hotel Meliá-Princesa, situado junto al tramo de la línea VI, que ahora se comenta. De las cuatro plantas de sótano proyectadas, fue preciso renunciar a la más profunda, debido a las importantes filtraciones que tenía lugar hacia la excavación. En la época de su construcción (1963) no se había introducido todavía la técnica de impermeabilización mediante pantallas excavadas con cuchara y fangos bentoníticos.

En dos de los accidentes más espectaculares ocurridos durante la construcción del Metro la presencia del agua ha tenido un papel fundamental. Tales fueron la explosión de gas en la glorieta Ruiz de Alda sobre la línea VI que tuvieron lugar en junio de 1973, y el hundimiento de la estación en la calle Pío XII.

No se entrará en los detalles, ni en la pormenorización de los múltiples datos y razonamientos que condujeron a las conclusiones finales que se exponen seguidamente.

En la fig. 3 se representa la sección transversal típica de la zona en que se produjeron los incidentes en la calle Joaquín Costa. El túnel del Metro, de sección circular, y excavado mediante la técnica del escudo, cortó un viaje de agua parcialmente revestido en la zona clave y hastiales. Este viaje llevaba abundante agua, procedente, con gran probabilidad, de las capas de arena de miga limpia que existía por encima del mismo. Fue

taponado para contener los arrastres que se producían hacia el interior de la excavación. Algo más adelante sin embargo, se reprodujeron éstos y en una secuencia muy rápida la subsidencia del terreno sobre el túnel provocó la rotura de las tuberías de agua del Canal de Isabel II situadas una galería visitable. Las filtraciones procedente de ésta aceleraron los arrastres y subsidencias, las cuales afectaron finalmente a las tuberías de gas, con las explosiones subsidiarias.

En la fig. 4 se reproducen las secciones transversal y longitudinal del hundimiento de la estación de Pío XII. Fueron dos los arcos de la estación hormigonados y colapsados, que se tradujo en la formación de un socavón superficial en la calle de 7,5 por 7,5 m. En la zona se había registrado la existencia de viejas canalizaciones y desagües, que afectaron probablemente a los estratos de arenas limpias situadas por encima de la clave. La presencia de socavones y zonas decomprimidas previas en tales estratos fue la única explicación plausible para tal acontecimiento, tal como se esquematiza en la figura.

La detección de las capas más permeables en el subsuelo es uno de los temas prioritarios, tanto en las prospecciones y reconocimientos previos, como en las etapas constructivas.

3.- LOS RECONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS

En la línea VI se han llevado a cabo unos reconocimientos complementarios en el tramo situado en la calle Princesa, mediante 10 sondeos mecánicos, que profundizaron hasta unos 10 m. por debajo de la rasante del túnel. En estos sondeos se obtuvieron los registros de los parámetros de perforación, tales como la velocidad de avance y de rotación, la presión de empuje y el par motor. Asimismo se efectuaron ensayos de permeabilidad tipo Lefranc, y ensayos presiométricos, con célula Menard en los tramos más superficiales y célula OYO en los más consistentes profundos. Una vez terminada la perforación se realizó una campaña de testificación geofísica, entre la que destaca la medición de la radiactividad natural de los suelos.

En lo que respecta a la identificación de los terrenos la característica que permite distinguir de una manera más clara los diferentes tipos fue sin duda la radiactividad natural. Como es bien sabido, el potasio 40, presente en gran parte de los minerales arcillosos, especialmente en aquéllos de componente illítica, es el principal responsable de las radiaciones, por lo que el nivel de radiactividad es un índice del contenido de arcilla presente en el suelo. Esta circunstancia distingue con bastante claridad los estratos más arenosos, en los que es apreciable el descenso de aquélla en relación con la detectada en las capas de tosco o de peñuela. En las figuras 5 y 6 se comparan la diagrafía de la radiactividad natural, con las descripciones de los terrenos obtenida a base de una muy cuidadosa inspección visual de los testigos de la perforación, completada con los habituales ensayos de identificación de laboratorio. Puede constatarse una buena correlación entre los picos de radiación y el tosco, y entre los senos con las capas de arena de miga. Existen algunas diferencias, en especial cuando se presenta un rápido cambio de terreno, probablemente no apreciado en la inspección visual, pero puestos de relieve por el diagrama de radiactividad. Es, por lo tanto, muy conveniente efectuar estas medidas, para detectar las posibles capas de arena o arena de miga, posiblemente acuíferas.

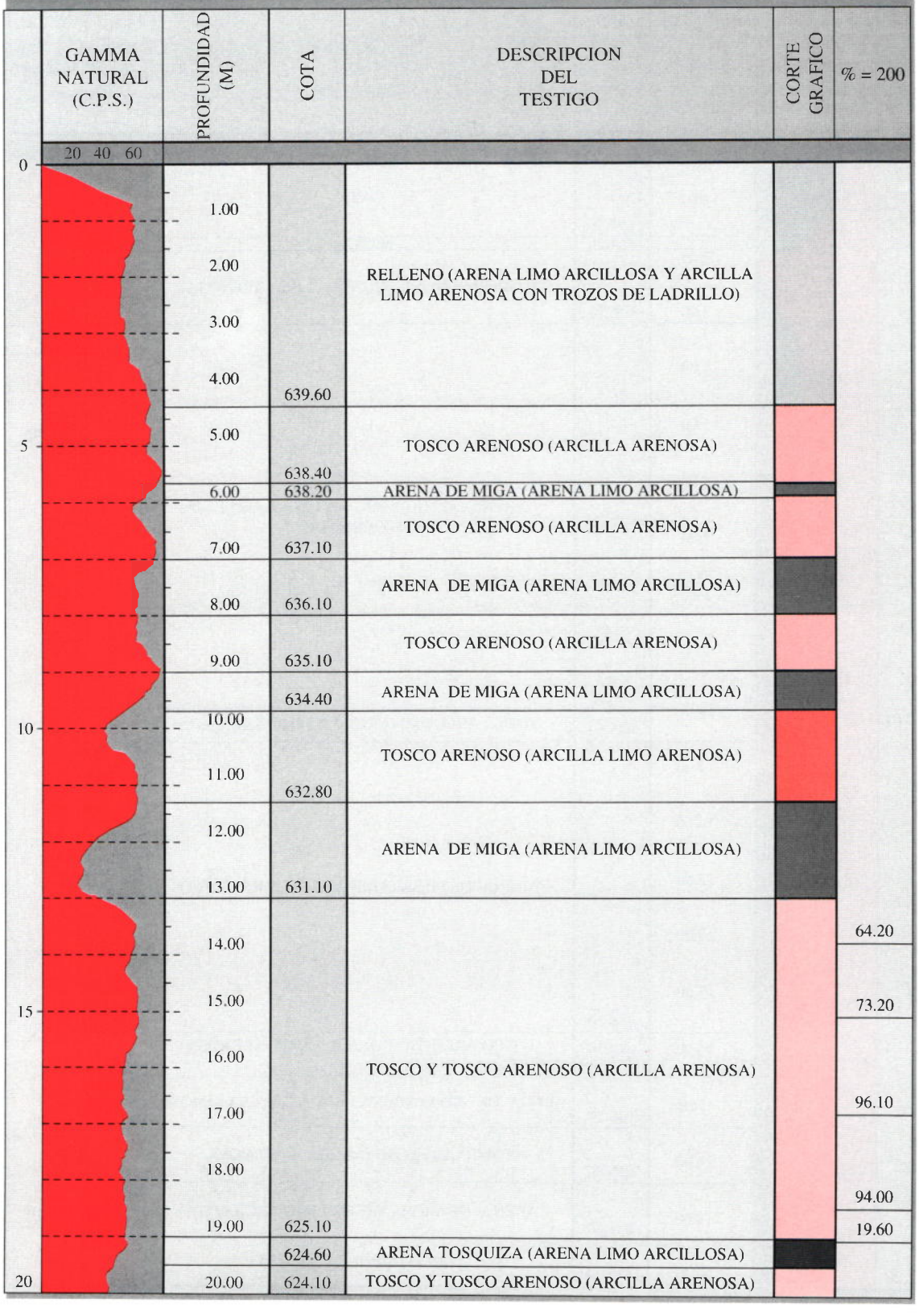
Otro de los ensayos que se ha revelado como merecedor de una mayor atención es el presiométrico. La determinación del módulo de deformación del terreno en las etapas previas a la construcción es muy conveniente en el caso de los túneles metropolitanos, debido a su posible influjo en las deformaciones y subsidencias de los terrenos situados por encima, y, consecuentemente en los edificios ubicados en sus proximidades. Más adelante se exponen algunos datos sobre este tema. Los módulos obtenidos con los presiómetros han permitido una previsión de movimientos que han coincidido apreciablemente con los medidos durante la construcción.

4.- LA ESTABILIDAD DE LAS EXCAVACIONES

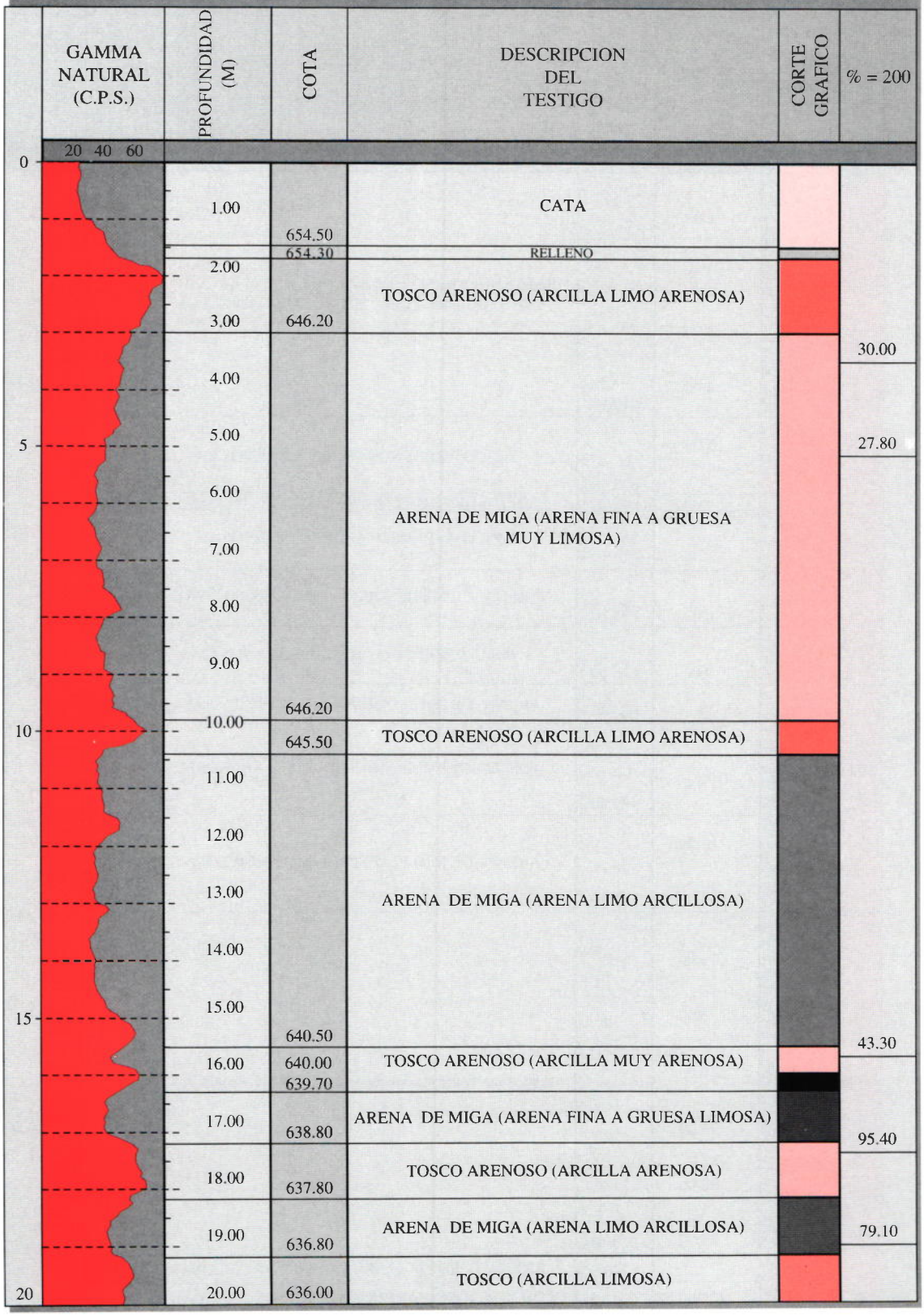
La estabilidad de las excavaciones está ligada con la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, y en especial con la resistencia a corto plazo, es decir con la cohesión. Los terrenos cohesivos, con una cierta componente arcillosa pueden ser estables sin sostenimiento , siempre que tal resistencia sea suficiente.

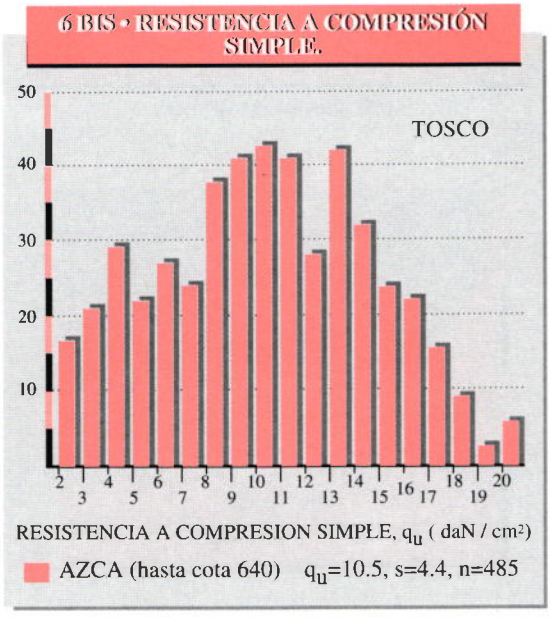
Las fig. 6-bis a 9 son gráficos de frecuencias de la resistencia a la compresión simple del tosco y de la peñuela, obtenidos en diferentes emplazamientos y

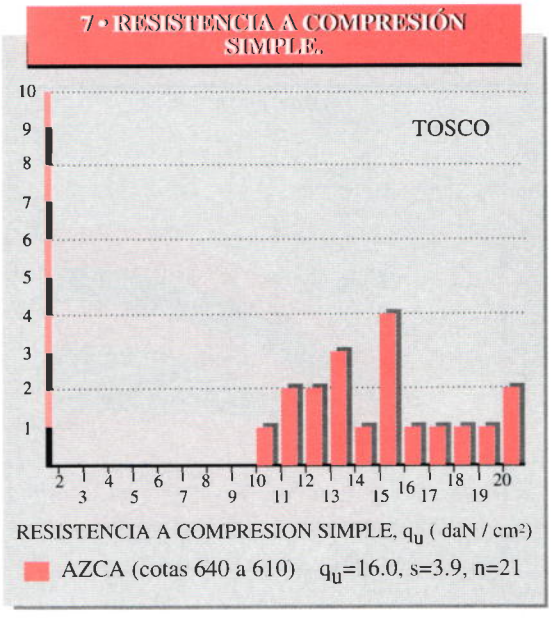
5 • LINEA VI- METRO DE MADRID. SONDEO P.K. 2 + 100.

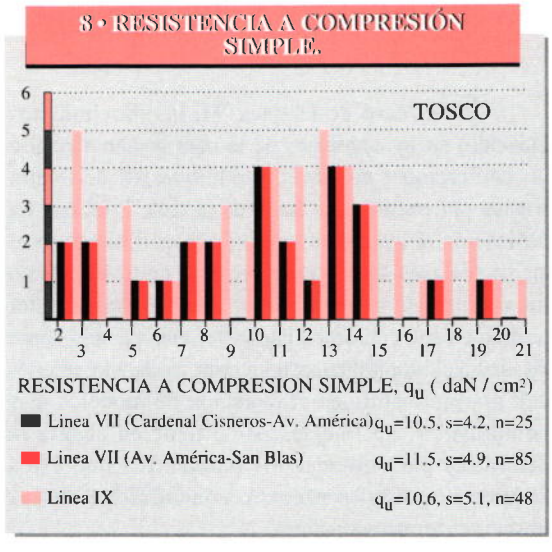


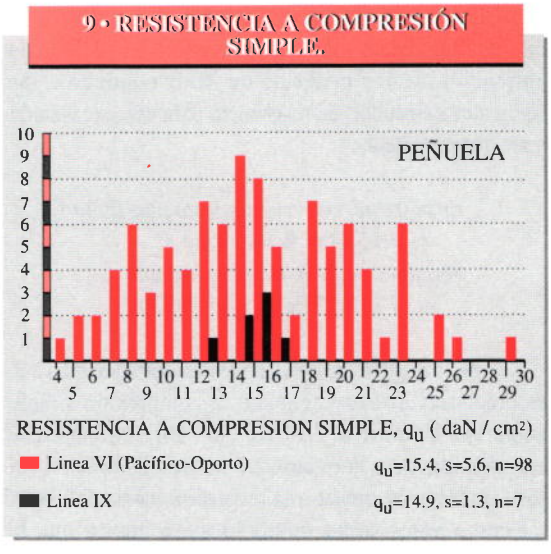
6 • LINEA VI. METRO DE MADRID. SONDEO P.K. 2 + 490.











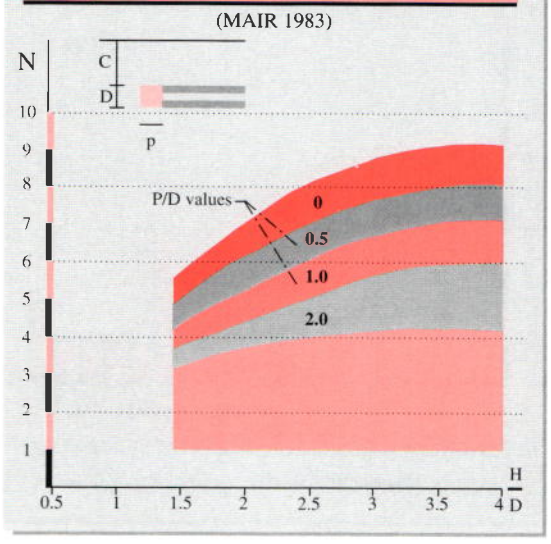
líneas de Metro en Madrid (V. Escario, monografía antes citada). En general, los resultados cubren una amplia gama, que, en el caso del tosco más superficial, varía entre 2 y 20 Kg/cm², con valores medios del orden de 10 Kg/cm². En profundidad la cifra media llega a 16 Kg/cm². Para la peñuela los límites son 4 y 30 Kg/cm², con un valor medio de 15 kg/cm². En la dispersión, y en especial para los bajos valores que a veces se registran, juega un papel importante la fisuración o la microfisuración que cuartea con frecuencia la muestra.

Las figuras 10 y 11 recogen los criterios de Muir (1983) sobre la relación existente entre la resistencia de un terreno cohesivo a corto plazo (ángulo de rozamiento ¿¿?=0; cohesión s_u=1/2 resistencia a la compresión simple) y la estabilidad del frente o de una sección completa lejos del frente, función de H/D, siendo:

H = Profundidad bajo la superficie
D = Diámetro del túnel
$N = (\sigma_v - \sigma_i)/s_u$
σ_v= Presión vertical sobre la clave
σ_i= Presión interior en el túnel, proporcionada por el sostenimiento, o por una presurización
γ = Peso específico del terreno
p = Distancia del frente al revestimiento o sostenimiento
R = Resistencia a la compresión simple = 2 s_u

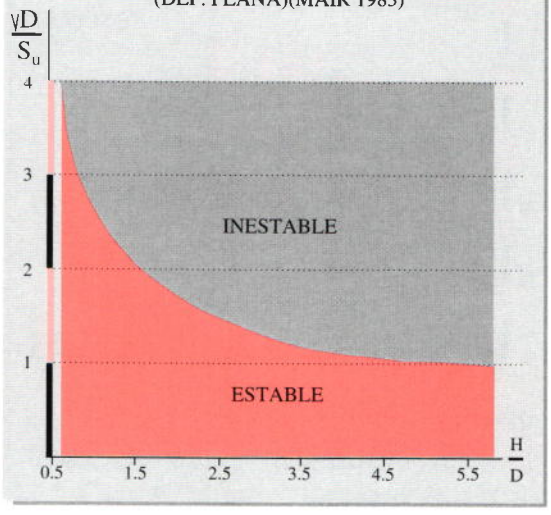
10 • RAZON DE ESTABILIDAD EN ROTURA DEL FRENTE, para túneles no revestidos en arcilla.

(MAIR 1983)



11 • CRITERIO DE ESTABILIDAD para tuneles no revestidos en arcilla.

(DEF. PLANA)(MAIR 1983)



Para un túnel de radio medio 5,5 m, situado a 30 m. de profundidad, y un peso específico $\gamma = 2$ T/m³, la aplicación de los criterios de Muir conduce a las siguientes exigencias de resistencia para una excavación a sección completa:

En el frente, con revestimiento inmediato
$s_u = 7.5$ T/m² R = 15 T/m²
Sección completa, sin revestimiento
$s_u = 13\text{-}15$ T/m² R = 26-30 T/m²

Si se requiere un coeficiente de seguridad igual a 3, se precisaría una resistencia a la compresión simple comprendida entre 5 y 10 Kg/cm². Esta última cifra, correspondiente a la estabilidad de una excavación sin sostenimiento, es similar a la resistencia media del tosco, tal como antes se ha señalado, pero mayor que la disponible en muchas circunstancias normales, en especial para las zonas más someras de este tipo de terreno.

Para terrenos de componente arenosa, como es la arena de miga, o cuando existe agua, la estabilidad es más precaria, y requieren un sostenimiento o un proceso constructivo adecuado. Por tal motivo, salvo circunstancias particulares, el suelo de Madrid requiere la excavación de los túneles con escudos, por etapas, presostenimientos, etc. En la línea VI, tal como ha sido expuesto y justificado en otras ponencias de estas Jornadas, se ha utilizado el tradicional método belga para el tramo comprendido entre la plaza de España y la Moncloa, a lo largo de la calle Princesa, y el de precorte entre aquella plaza y la estación de Príncipe Pío.

5.– MOVIMIENTOS Y SUBSIDENCIAS

En el caso de la línea VI, los movimientos inducidos en los contornos de la obra podían afectar a las edificaciones próximas, y a la línea III del Metro situada por encima a lo largo de la calle Princesa. La utilización del precorte como prerevestimiento, o el empleo del método belga proporcionan un sostenimiento provisional de manera que el comportamiento del terreno en sus contornos puede ser considerado como elástico o elastoplástico, con un error moderado, inferior con gran probabilidad al deducido de modelos más complicados, no lineales, si se tiene en cuenta la dificultad para obtener los parámetros que éstos requieren y nuestro precario conocimiento de los mismos en terrenos similares.

En los cuadros I, II, y III se resumen los datos sobre los módulos de deformación obtenidos en ensayos de carga, publicados en la monografía de V. Escario ya citada, similares a los deducidos en múltiples emplazamientos del área de Madrid. Como resumen de los mismos pueden establecerse las siguientes cifras:

Ensayos de placa en dirección vertical:

Arena de miga	E = 600 - 800 Kg/cm²
Tosco	E = 400 - 1 100 Kg/cm²
Peñuela	E = 1300 - 9000 Kg/cm²

Ensayos de placa en dirección horizontal:

Tosco E = 700 - 2000 Kg/cm² Los módulos que se obtienen con ensayos en dirección

horizontal sobre las paredes de una zanja o de un pozo suelen ser algo menos del doble que los detectados para cargas aplicadas en dirección vertical sobre una superficie horizontal. Es ésta una circunstancia que se observa siempre, sea cual fuere el tipo de terreno, y comprobado en los suelos detríticos de Madrid. Es ello debido a que los ensayos verticales detectan la deformabilidad de una zona del suelo que, inevitablemente, está muy decomprimida, bien naturalmente, bien aflojada al abrir la excavación de la zanja. El espesor de la zona decomprimida en el fondo de las excavaciones no responde solamente a la teoría sino que se comprueba experimentalmente (con ensayos penetrométricos, por ejemplo), y puede llegar a 1 m. Los ensayos de carga en dirección horizontal actúan sobre unas paredes cuya decompresión es mucho menor, por lo que el módulo de deformación registrado es mayor.

Los ensayos presiométricos realizados en el interior de los sondeos de reconocimiento actúan en dirección horizontal, y han dado como resultado unos módulos mayores que los deducidos de los ensayos de carga, también en dirección horizontal. Las siguientes cifras resumen los obtenidos en los efectuados en la calle Princesa:

Rellenos E = 250 - 1100 Kg/cm^2
Arena de miga o tosquiza E = 1300 - 1400 Kg/cm^2
Tosco E = 750 - 3000 Kg/cm^2. Media 2000 Kg/cm^2

En la figura 12 se resumen algunas de las formulaciones que definen la geometría de las deformaciones y subsidencias que tienen lugar en los contornos de la excavación de un túnel. Son en especial interesantes los asientos máximos, y las deflexiones hacia el centro de la calle de la línea de fachadas de las edificaciones, que permiten juzgar la eventualidad de distorsiones angulares que pudieran ser origen de fisuraciones en muros y tabiques.

Se han efectuado, asimismo, unos cálculos en elementos finitos, para comprobar también el posible influjo de la presencia del túnel de la línea III del Metro, tanto en las deformaciones y movimientos superficiales como los inducidos en el revestimiento de éste. Se ha considerado dos hipótesis en lo que respecta al revestimiento de la línea VI, examinándose los extremos de suponer su inexistencia, o uno completo, simultáneo con la excavación, entre las cuales se sitúa la secuencia real constructiva del túnel. Asimismo se han tanteado dos posibilidades en lo que respecta a la existencia o no de solera en la línea III (fig. 13 y 14).

TABLA I.
Ensayos de carga efectuados para el Metro en tosco y arena de miga (Líneas IV, VI y VII) (ESCARIO, 1970)

POZO	Profund. galería (m)	Tipo de ensayo	Descripción del suelo	K daN/cm^3	E daN/cm^2	Carga de rotura daN/cm^2	Compresión simple daN/cm^2	Límites de Atterberg w_L	Límites de Atterberg IP	% pasa # 200
IV-4	15,50	H	Arcilla limo arenosa marrón	90	1.917	>15	9,40	34,4	16	54,0
			(Tosco)	34	722	>15				
IV-4	15,50	V	Arena arcillosa marrón	15	332	>10	–	–	–	–
IV-6	20,00	H	Arena algo arcillosa marrón	92	1.970	> 9	–	N.P.	N.P.	5,0
				74	1.576	> 9	–	N.P.	N.P.	5,0.
VI-30	28	H	Arcilla limo arenosa marrón	51	1.078	18,3	9,25	38,4	18,1	–
			(Tosco)	53	1.122	18,3				
VI-30	28	V	Arcilla limo arenosa marrón							
			(Tosco)	18	383	22,5	9,25	38,4	18,1	–
VI-34	8,60	H	Arcilla limo arenosa marrón	61	1.363	>23	3,00	33,5	16,2	44,2
			(Tosco)	41	879	>23				
VI-34	8,60	V	Arcilla limo arenosa marrón							
			(Tosco)	47	1.014	>23	3,00	33,5	16,2	44,2
VII-7	17,00	H	Arena algo arcillosa	74,0	1.576	>20	–	N.P.	N.P.	7
				68,6	1.461	>20				7
VII-7	17,00	V	Arena	72,4	1.542	>15	–	N.P.	N.P.	–
VII-13	28,00	H	Arcilla limo arenosa marrón	114,0	2.428	>16	–	23,5	2,4	7
				53,7	1.144	>16				27

Nota: Todos estos ensayos se han efectuado con la capa freática lo suficientemente baja para suponer que no afectaba a los resultados.
V significa ensayo realizado con la dirección de la carga vertical.
H significa ensayo realizado con la dirección de la carga horizontal.

TABLA II.
Ensayos de carga en arena de miga y tosco.

LOCALIZACIÓN		IDENTIFICACIÓN					Módulo E* (daN/cm²)
Lugar	Cot. aprox.*	Descripción	Pasa # 200	w_L	IP	w%	
6.° Depósito Canal de Isabel II-Portazgo	674	Arena	–	–	–	–	1.294
«	«	Arcilla	–	–	–	–	521
«	«	Arcilla arenosano con pequeñas capas de arena	–	–	–	–	920
«	«	Arena	–	–	–	–	836
«	«	Arena	–	–	–	–	1.094
«	«	Arena	–	–	–	–	1.023
5.° Depósito Canal de Isabel II-Hortaleza	719	Arena de miga	6	NP	NP	–	428*
«	«	«	10	NP	NP	–	348*
«	«	«	8	NP	NP	–	474*
4.° Depósito Canal de Isabel II- Pl. Castilla	720	Arena de miga	7,5	NP	NP	4,7	462*-849
Investigación para la Educación. C. Universitaria	630	–	–	–	–	–	811
«	«	–	–	–	–	–	1.243
«	«	–	–	–	–	–	965
Po. Sta. María. Hortaleza	705	–	–	–	–	–	900
Estación de Chamartín. Edificio Social	720	–	–	–	–	–	2.138
Gral. Mola, 104	695	Arena de miga	16	–	–	8,3	1.320
«	«	Tosco arenoso	45	–	–	13,5	599
Calle Arapiles	675	Arena de miga	7	–	–	6,0	1.435
«	«	«	5,5	–	–	6,5	1.168
MOPU. A. Bethencourt	678	Arena de miga	–	–	–	–	629
«	«	«	–	–	–	–	500-990
«	«	«	–	–	–	–	577-1.306
Edificio Torres Blancas. Calle Corazón de María	695	Arena arcilosa	–	–	–	8,5	1.329
«	«	«	–	–	–	6,7	1.571
«	«	«	–	–	–	8,9	1.491
E.T.S. Ing. Industriales. P° Castellana	680	Arena de miga	–	–	–	–	680-1.462
Aparcamiento Municipal. Calle José Cadalso	680	–	–	–	–	–	604-1.506
«	«	–	–	–	–	–	1.400-2.406
«	«	–	–	–	–	–	447*-1.257
«	«	–	–	–	–	–	297*-613
Carabanchel. C. la Isabela	665	–	50	32,2	10,3	–	611
«	«	–	75	38,3	14,7	–	360-1.880
C/ Telémaco, 5	705	Arena de miga y tosco	–	–	–	–	733-1.400
C/ Juan Bravo, 34	675	–	–	–	–	–	635

* Notas:

1) Las cotas de los depósitos de agua del Canal de Isabel II son prácticamente exactas. Las restantes están tomadas, con la mejor aproximación posible, de las Hojas escala 1/25.000 del Servicio Cartográfico del Ejército, con curvas de nivel cada 10 m. y sólo parcialmente dibujadas en zona edificada.

2) Cuando se dan dos valores para E corresponden al primer y segundo ciclo de carga respectivamente.

3) No se dispone en general de detalles respecto a la posición del nivel freático. Los ensayos en el 5.° Depósito se situaron con el terreno inundado desde el día anterior. Los del 4.° Depósito, debajo de la solera de un depósito existente anteriormente. Los del Aparcamiento Municipal en la Calle Cadalso, bajo un antiguo cauce con arena saturada en los últimos ensayos.

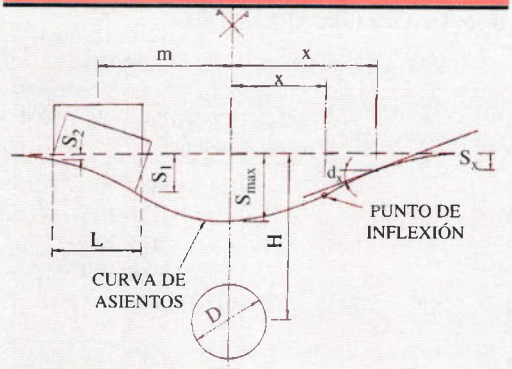
4) 1 daN/cm²=1 kgf/cm².

TABLA III.
Resultados de los Ensayos de carga en el tosco en Azca (ESCARIO, 1970).

Pozo nº.	Profund. en m.	Sentido		Humedad %	Densidad seca gr/cm³	COMPRESIÓN SIMPLE Resistenc. daN/cm²	Rotura teórica daN/cm²	PLACA DE CARGA Módulo E daN/cm²	K daN/cm³	Módulo E daN/cm²	ESCALÓN Rotura daN/cm²	ESCALÓN Anterior daN/cm²	LÍMITES w_L	LÍMITES IP	% pasa # 200
1	7,80	VERT.	V			4,50		116					28,2	6,0	33,5
			V	18,5	1,78	5,53		267					37,1	16,3	71,1
			V										41,5	20,7	
		HORIZ.	H			4,47		259					38,0	17,0	65,3
			H	16,7	1,79	4,06	14,40	184	33,70	730	16,70	15,20			
			V	19,2	1,73	3,86		250							
		INCLIN.	I			2,85		154					31,4	12,4	24,6
			I	17,0	1,79	3,01		163							
			V	15,3	1,75	1,21		72							
	8,80	VERT.	V	16,3	1,79	14,70		590					37,7	17,6	73,7
			V			14,00		724							
		HORIZ.	H			14,30		800					38,6	18,8	72,6
			H	15,1	1,89	16,10	47,00	718	30,10	652	16,00	13,80			
			V	15,2	1,86	17,50		596							
		INCLIN.	I	15,5	1,83	13,63		375					37,8	17,8	71,5
			I			12,78		656							
			V	13,7	1,92	14,40		537							
	10,30	VERT.	V			7,81		510					29,8	11,0	51,5
			V	14,3	1,87	6,27		342					32,0	15,1	
		HORIZ.	H			8,53		202					30,6	12,2	54,6
			H	15,3	1,83	7,50	22,60	393	75,70	1.635	>23,00				
			V	15,1	1,85	7,86		483							
		INCLIN.	I			10,42		554					30,8	13,1	53,3
			I	15,2	1,85	7,89		330							
			V	14,0	1,86	7,23		235							
2	10,80	VERT.	V	17,8	1,76	3,73	13,7	130	28,60	620	14,50	12,70	36,5	17,2	70,0
			V	18,3	1,79	5,10		164					40,5	19,6	
	11,60	HOR.	H	17,3	1,79	3,99		241					33,9	16,1	62,8
			H	17,9	1,73	4,25		253					35,0	15,9	
		INCL.	I	19,8	1,76	4,12	12,8	303	25,60	555	15,40	14,50			
			I	17,2	1,80	4,56		262							
4	9,75	VERT.	V	16,3	1,80	8,72		404					33,4	15,5	59,3
			V			8,45		298					39,4	20,6	
		HORIZ.	H	17,5	1,83	9,14		582					35,3	15,8	67,8
			H			10,85	21,2	433	39,25	850	11,10	9,12			
			V	16,1	1,83	4,37		351							
		INCLIN.	I	15,4	1,85	7,80		226					29,8	9,8	52,2
			I			5,66		292							
			V	15,2	1,82	5,83		302							
	10,75	VERT.	V			14,43		810					41,2	19,3	82,8
			V	17,9	1,80	13,92		550					40,2	19,7	
		HORIZ.	H			13,00		566					42,8	81,7	88,9
			H	20,6	1,75	15,00	41,40	616	34,20	740	>24,20				
			V	18,2	1,82	12,85		660							
		INCLIN.	I	18,2	1,79	12,10		700					37,9	17,3	82,9
			I			10,61		610							
			V	17,8	1,79	11,80		758							

Observaciones: Las cargas de «Rotura teórica» se han obtenido a partir de la media aritmética de todas las probetas verticales correspondientes al nivel de que se trata. Junto a las muestras talladas en horizontal (H) e inclinadas (I) se ha roto siempre una vertical (V) que ha servido de control de comparación con el resto de las verticales.

12 • GEOMETRIA DE LAS DEFORMACIONES.



V_s = Volúmen de subsidencias por metro lineal

s_x = Asiento a una distancia x del eje del túnel

d_x = Distorsión angular, o inclinación media a una distancia x del eje

$s_x = V_s \exp(-x^2/2i^2)/i\sqrt{2\pi}$ $s_{max} = V_s / i\sqrt{\pi 2}$

$s_{max} = d_x\, i^2 \exp(x^2/2i^2)/x$ (1)

d_{max} (para x = i) = s_{max} i exp(-.5)

i = Distancia del punto de inflexión al eje del túnel

Attewell	$i/D = a\,(H/D)^n/2$; a = 0.8-1 ; n = 1
Atkinson y Potts	i = (1.5 H+ D/4)/4
Sagaseta et al.	i = D (1.05 H/D-.42)/2

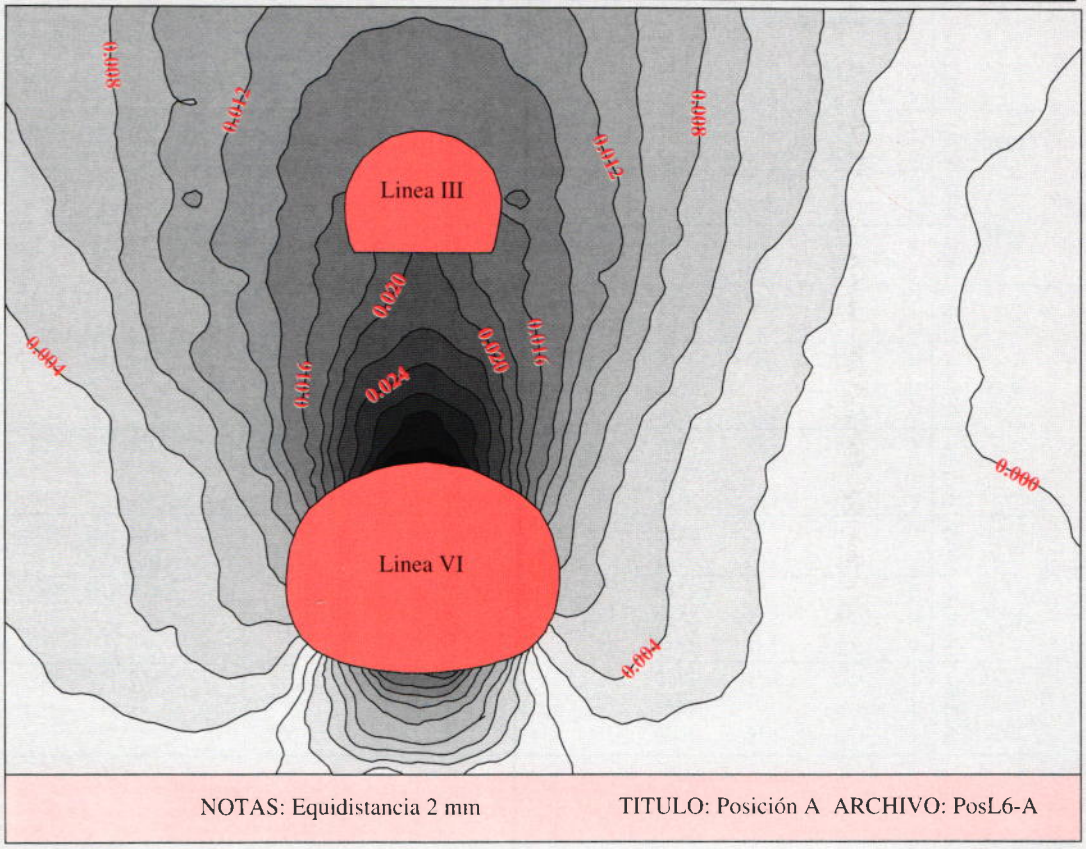
En el cuadro siguiente se resumen los resultados de los cálculos, para unos módulos similares a los máximos de los obtenidos en ensayos de carga en dirección horizontal:

Rellenos	150 Kg/cm²
Arena de miga	750 Kg/cm²
Tosco	1.000 Kg/cm²

Por otra parte, se ha examinado la posibilidad de fisuración de los revestimientos de la línea III, situada por encima de la VI. El efecto de la construcción de ésta se traduce en tracciones consecuentes a dos circunstancias (fig 15):

LÍNEA VI	LÍNEA III	Asientos (mm)		Distorsión angular en fachadas
		Centro Calle	Línea fachadas	
Con rev.	Con solera	15.0	10.4	1 / 1620
Con rev.	Sin solera	13.7	10.1	1 / 1780
Sin rev.	Con solera	34.1	28.9	1 / 1027
Sin rev.	Sin solera	36.5	29.0	1 / 940

13 • ISOLINEAS DE MOVIMIENTOS VERTICALES.

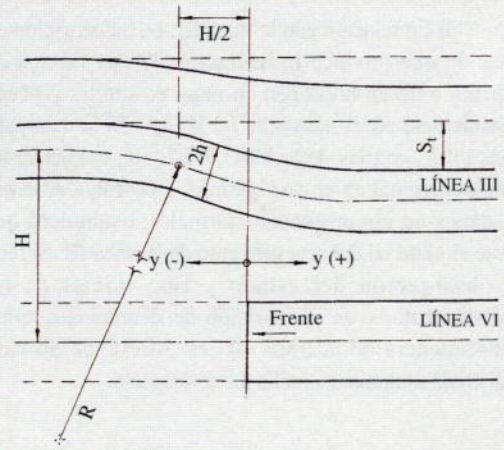


a) La flexión inducida por el asiento y la curvatura de la base de la solera, a medida que progresa la excavación de la línea VI. Cambia de curvatura cuando el frente de excavación pasa por el punto que se estudia, y cesa cuando el frente está ya lejos del mismo.

b) El alargamiento general inducido por la diferencia de longitudes entre la longitud inicial de la línea y la longitud de su deformada durante la construcción.

En la figura 15 se resume las formulaciones que proporcionan los alargamientos unitarios debidos a estas dos causas. Para el caso pésimo de suponer que el

15 • FISURACIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS DE LA LINEA 3.



Asiento $s_y = s_t (1 + y *(y^2+H^2)^{-1/2})/2$

H = Distancia media entre centro de túneles

s_t = Asiento máximo ; $K = s_t / 2H$; $M = y/H$

s_y = Asiento a una distancia y del frente

h = Distancia del centro del túnel al trasdós de bóveda o solera

Radio de curvatura $R = (1+K^2*(1+M^2)^{-3})^{3/2}*(1+M^2)^{-5/2}H/3KM$

$K<<<<1$ $R = 2H^2(1+(y/H^2)^{5/2}/3ys_t$

R_{min}(para y=H/2) $R_{min} = 2.3\ H2/s_t$

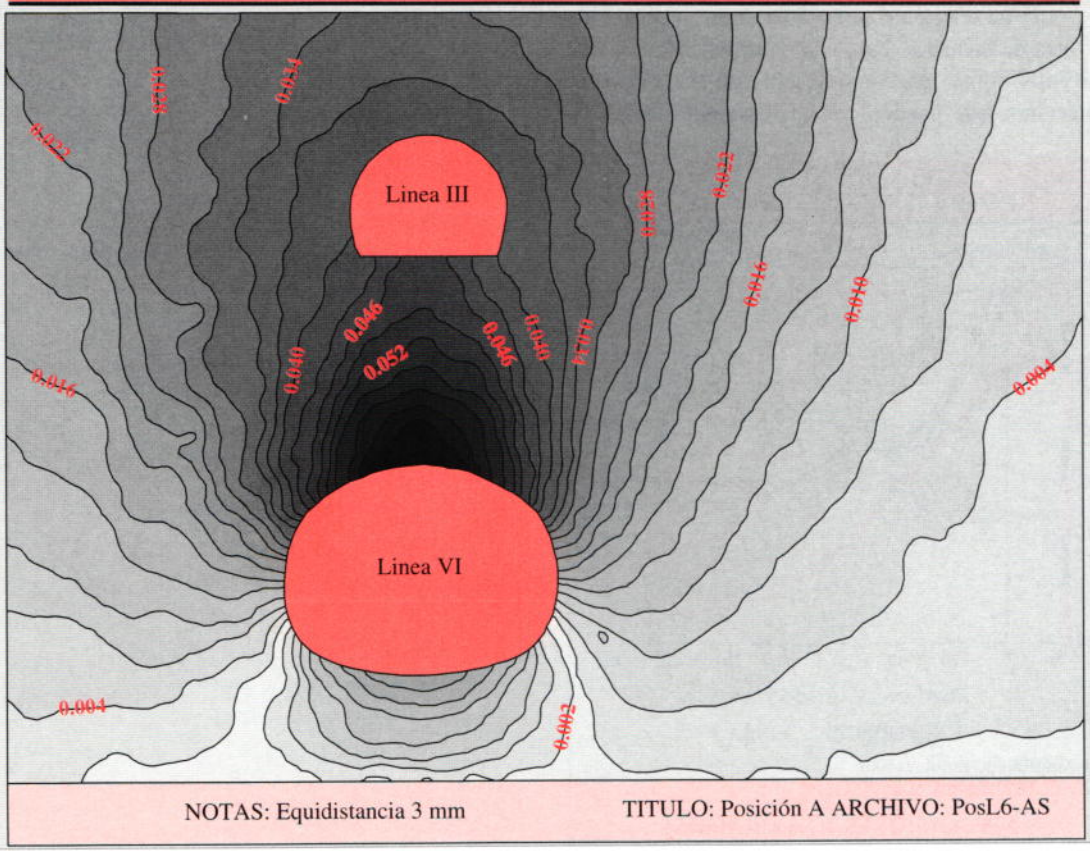
Deformación unitaria por flexión $e_1 = h/R_{min} = .435\ hs_t/H^2$

Deformación unitaria por alargamiento

$e_2 = ds_t/dy = s_t\ y\ H\ (y^2 + H^2)^{-3/2}$

Máximo para $y = H/\sqrt{2}$ $e_2 = .272\ s_t / H$

14 • ISOLINEAS DE MOVIMIENTOS VERTICALES.



NOTAS: Equidistancia 3 mm TITULO: Posición A ARCHIVO: PosL6-AS

asiento máximo del apoyo de la línea III es de 4 cm (véase cálculo en elementos finitos), la deformación en tracción que podría presentarse en el revestimiento es la siguiente:

Por flexión	$e_1 = 2.55*10^{-4}$
Por alargamiento	$e_2 = 6.54*10^{-4}$
Deformación total	$e = 9*10^{-4}$

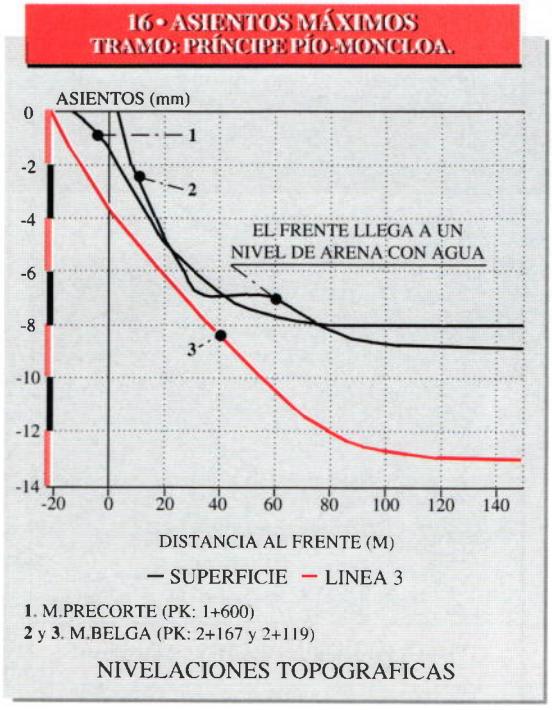
A la vista de estos resultados cabe efectuar los siguientes comentarios:

1) En relación con los asientos. El máximo registrado en superficie ha sido de 15 mm., siendo frecuentes cifras del orden de la mitad, e incluso inferiores (véase. vg fig 16).

Si se compara estas cifras con las deducidas de los cálculos antes expuestos, se evidencia que el asiento máximo real es similar al obtenido con los parámetros de deformabilidad antes apuntados. Los asientos medios reales son del orden de la mitad de los máximos, por lo que coinciden con los teóricos si se consideran unos módulos de deformación iguales a los resultantes de los ensayos presiométricos.

2) En relación con las distorsiones angulares en la línea de fachadas. Para una deformabilidad de los terrenos como las consideradas en los cálculos anteriores, que pueden considerarse del lado de la seguridad, la distorsión angular es en cualquier caso inferior a 1/1.000, cifra que los especialistas señalan como límite para que no se produzcan fisuraciones en muros y tabiquería de edificaciones construidas con anterioridad a la del túnel. No eran probables, por lo tanto, anomalías de este tipo, como así se ha comprobado hasta la fecha. No han sido registradas fisuras claramente achacables a la construcción del túnel.

3) En relación con la línea III. La deformación en tracción que provoca la fisuración de una fábrica de ladrillo, o de un hormigón en masa es similar y puede considerarse en el intervalo $7\text{-}13*10^{-4}$. Si se compara estas cifras con las deducidas ($9*10^{-4}$), se evidencia un estado marginal en el caso pésimo, y probable ausencia de daños en circunstancias normales, cualquiera que fuese el material del revestimiento de la línea III. Si bien la observación del estado y tipo inicial de tal revestimiento, y de la aparición de fisuraciones como consecuencia de la línea VI, es difícil, no ha sido registrada ninguna anomalía a este respecto.



TRATAMIENTOS ESPECIALES

CARLOS S. OTEO MAZO
Dr. Ing. de C.C. y P.. Director del Laboratorio de Geotecnia (CEDEX).
Prof. Titular Geotecnia y Cimientos (U.P.M.)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. RESUMEN DE PROBLEMAS PRESENTES

3. SISTEMAS DE MEJORA DEL TERRENO FRENTE A PROBLEMAS DE ESTABILIDAD

4. MÉTODOS PARA REDUCIR EL EFECTO DE LOS ASIENTOS

1. INTRODUCCIÓN

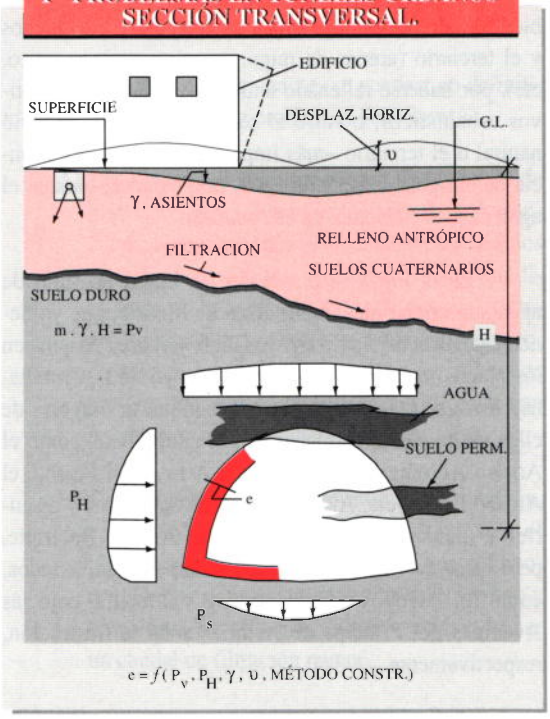
En el diseño y construcción de un túnel urbano intervienen diversos factores como son:

- La finalidad de su utilización (aspectos de impermeabilización, ventilación, etc).
- La profundidad a la que ha de construirse el túnel.
- El terreno en que se excava la perforación y el espesor de este tipo de terreno por encima de la clave.
- El recubrimiento de suelos cuaternarios, rellenos, suelos blandos, etc, existentes sobre la capa de terreno en que se excava el túnel.
- El agua que puede estar presente en la capa en que se desarrolla el túnel o, al menos, en el contacto de esa capa y el recubrimiento más flojo superior.
- La presencia de edificios e instalaciones próximas al túnel, por los efectos que la construcción de éste –y la consiguiente decompresión y movimientos– puede introducir en esas estructuras, etc.

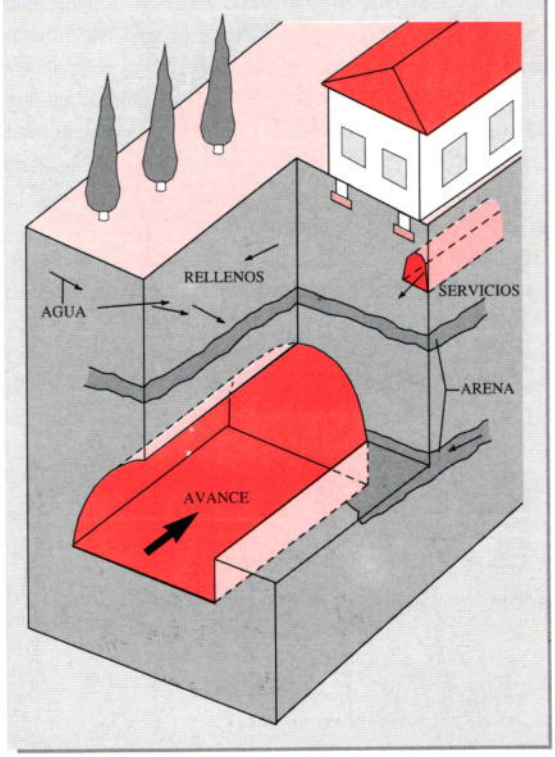
En la Fig.1 se han esquematizado de forma sencilla estos problemas en una sección transversal al túnel, mientras que en la Fig. 2 se ha pretendido mostrar el aspecto tridimensional del problema.

En el caso del Metro de Madrid, su complicación tiene que enfrentarse con problemas, concretados en la estratigrafía típica de esta ciudad. Los túneles suelen excavarse en arenas de miga y tosquiza, alternados con capas de tosco o –incluso– con terrenos aún más duros, como las peñuelas fisuradas del Sur-Sudeste de la ciudad. Pero la presencia de rellenos superficiales, que disminuyen la resistencia del terreno presente por encima de la clave del túnel, o la de capas de arena con agua (Figs. 1 y 2), pueden dar lugar a serios problemas de inestabilidad en el túnel, bien en bóveda, bien en

1 • PROBLEMAS EN TÚNELES URBANOS SECCIÓN TRANSVERSAL.



2 • PROBLEMAS PRESENTES EN LA EXCAVACIÓN DE UN TUNEL URBANO.



3. SISTEMAS DE MEJORA DEL TERRENO FRENTE A PROBLEMAS DE ESTABILIDAD

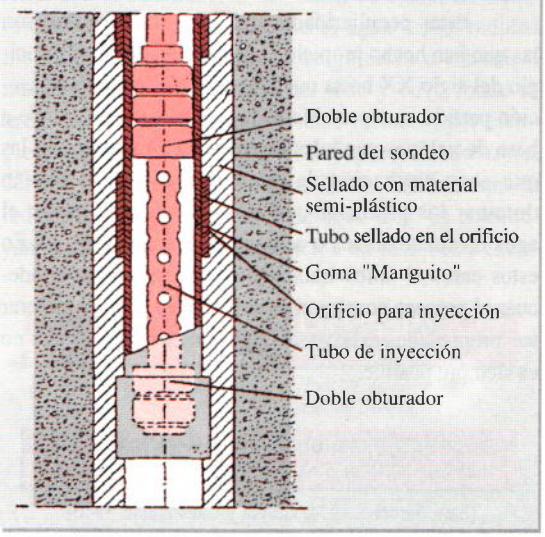
Un sistema clásico utilizado en el Metro de Madrid, cuando se han presentado problemas de arenas con agua en el frente y bóveda del túnel, ha sido el de inyectar una corona de terreno por encima de la futura excavación, a fin de conseguir un terreno más estable e impermeable. En la página anterior, la Fig. 5 muestra un ejemplo de actuaciones de este tipo realizadas desde la superficie del terreno o desde un paso inferior próximo, correspondientes a actuaciones en la Línea VI.

En estos esquemas de la Fig. 5 se indica que se pueden utilizar lechadas de cemento e inyecciones químicas, en función de la granulometría del terreno (más arcilloso o más arenoso), con resultados satisfactorios.

Para conseguir que el tratamiento sea efectivo, normalmente no basta inyectar por gravedad en todo o parte del taladro. Hay que combinar la presión y la localización de la inyección para que el tratamiento sea efectivo. Ello suele conseguirse con la técnica de tubos-manguitos (Fig. 6), ya muy extendida en España desde hace años, con distancia pequeña entre obturadores (30-50 cm y máximo de 1 m). A veces es necesario reinyectar para asegurar que el tratamiento se ha hecho en buenas condiciones, sobre todo si la prebóveda es de reducidas dimensiones.

6 • TUBO MANGUITO PARA INYECCIÓN CONTROLADA.

(Sistema Soletanche).

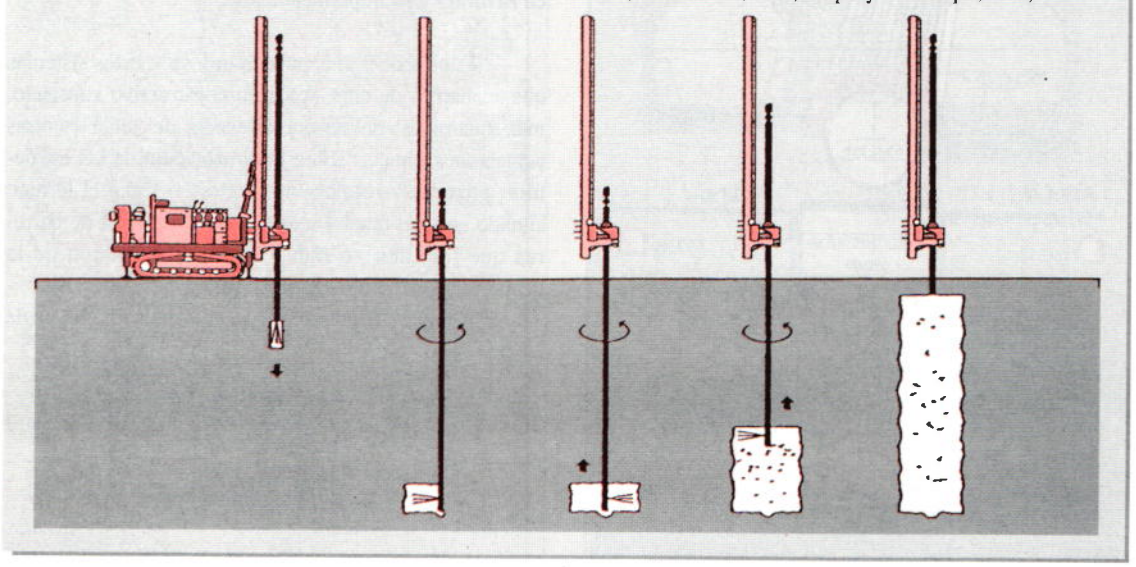


Para los problemas de impermeabilización alrededor del túnel pueden dar buen resultado, una vez acabado el revestimiento, inyecciones con silicatos y resinas, aunque ello suponga un cierto encarecimiento de la obra.

Actualmente se dispone de otra técnica de inyección que ha venido utilizándose en las obras subterráneas de Madrid desde hace unos 7-8 años. Se trata de las inyecciones por tobera o jet-grouting, en que la lechada de cemento se inyecta desde una bomba especial, a unas

7 • ESQUEMA DEL SISTEMA DE "JET-GROUTING" CON UNA TOBERA.

(Sanz Saracho, 1974; Gaspar y Cañamaque, 1976).

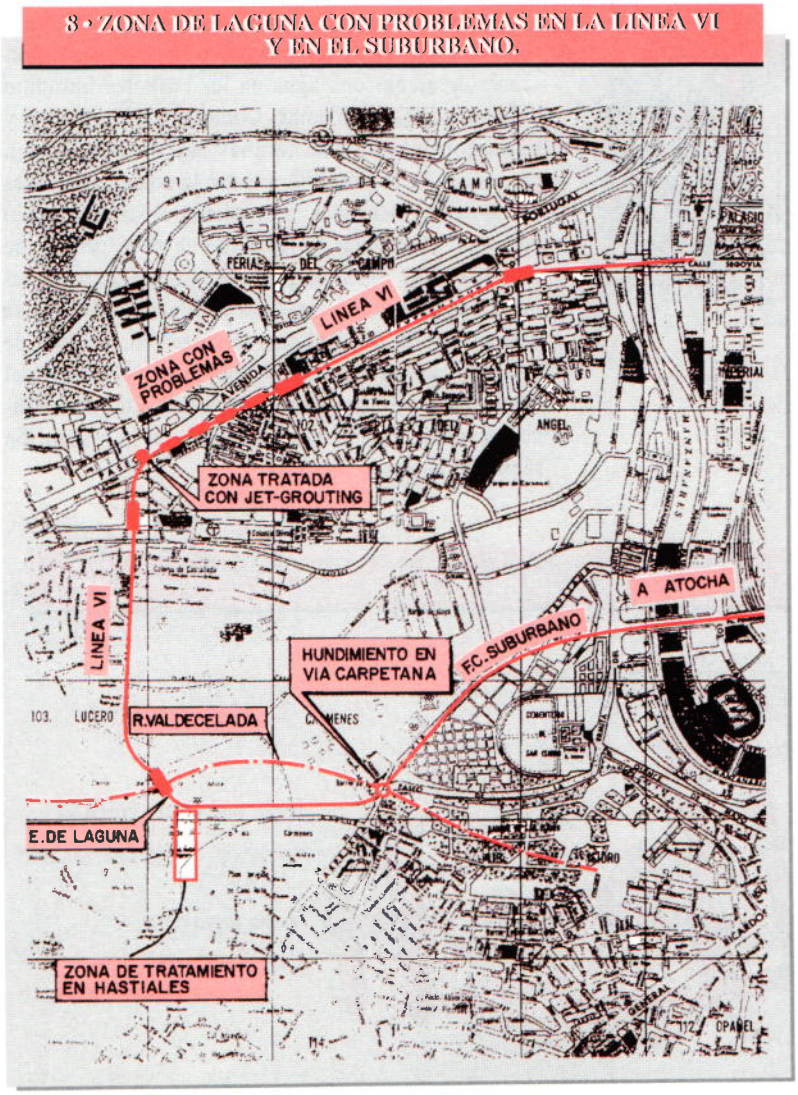


400 atmósferas de presión, y que se lanza contra el terreno lateralmente a la tubería o batería de perforación que ha permitido llegar al punto en que se desea realizar el tratamiento. Esa tubería, al mismo tiempo rota y se va retirando a velocidad controlada, de manera que la inyección (que sale por una tobera o jet de unos 2-3 mm de apertura) actúa como una lanza que corta el terreno y lo mezcla con la lechada, formando una especie de columna (de 50 a 150 cm, según la presión, tiempo de inyección, etc.) de suelo cementado por la lechada. En algunos casos (rellenos, arcillas fisuradas) la lechada puede alejarse claramente del jet y producir fracturación hidráulica del terreno o rellenar las fisuras, de forma que queda una columna con «pseudópodos» de lechada que «arman» el terreno.

El jet-grouting puede utilizarse como tratamiento frente a problemas de estabilidad ya generados o como prebóvedas pseudo-horizontales que se van haciendo por delante del frente de excavación, a manera de «paraguas» previo que refuerza el terreno de la bóveda o a manera de una prebóveda mínima de protección. En este último sentido se ha utilizado, por ejemplo, recientemente en uno de lo tramos de la Línea VI (túnel entre el Río y la Glorieta de S. Vicente) o en el túnel urbano de Casimiro Delgado de Santander.

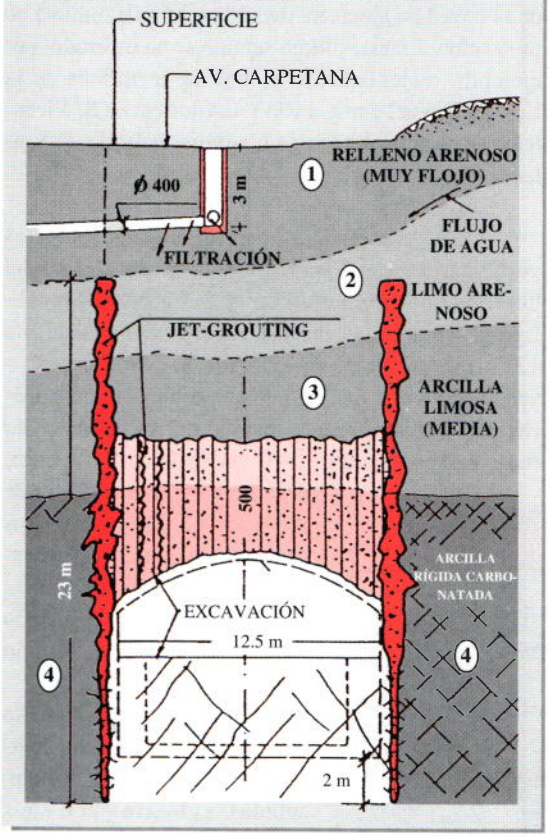
Como tratamiento para problemas concretos puede hacerse desde superficie, como en el caso del hundimiento producido en el Suburbano Atocha-Laguna, en la Vía Carpetana. En este caso el túnel –de 12,5 m de anchura– se perforaba en dos fases, excavando la bóveda al abrigo de una entibadora de lanzas Bernold. Esta entibadora impidió que el hundimiento fuera mayor de unos 30-40 cm en la calle superior, pero la inestabilidad de frente y bóveda fue tal que, por los huecos laterales de la entibadora, penetraron varios metros cúbicos de peñuela, quedando huecos grandes en el terreno (Fig. 8).

8 • ZONA DE LAGUNA CON PROBLEMAS EN LA LINEA VI Y EN EL SUBURBANO.



La inestabilidad se debió a la presencia de un antiguo curso de agua (Río Valdecelada), cubierto hace unos 100 años y que aún discurre entre los rellenos superiores y el terreno natural (tosco y peñuela fisurado). El antiguo flujo de agua había reblandecido todo este terreno y, además, se filtró hacia el túnel por las fisuras de la peñuela. La situación del Río fue localizada en planos del siglo XVIII y cortaba en dos puntos a la línea del suburbano, siendo uno de ellos el que ahora se describe, para formar en su desembocadura en el Río Manzanares una importante vaguada y zona húmeda (Jardines de S. Isidro) que, hace «algunos años» fue abrevadero de mamuts y otros animales cuaternarios. Este Río, igual que el Arroyo Luche, rodean el Cerro de la Mica, zona superior arenosa muy permeable y con un acuí-

9 • TRATAMIENTO CON "JET-GROUTING" UTILIZADO EN EL SUBURBANO DE MADRID.
(Oteo, Carrilero y Pastor 1877).



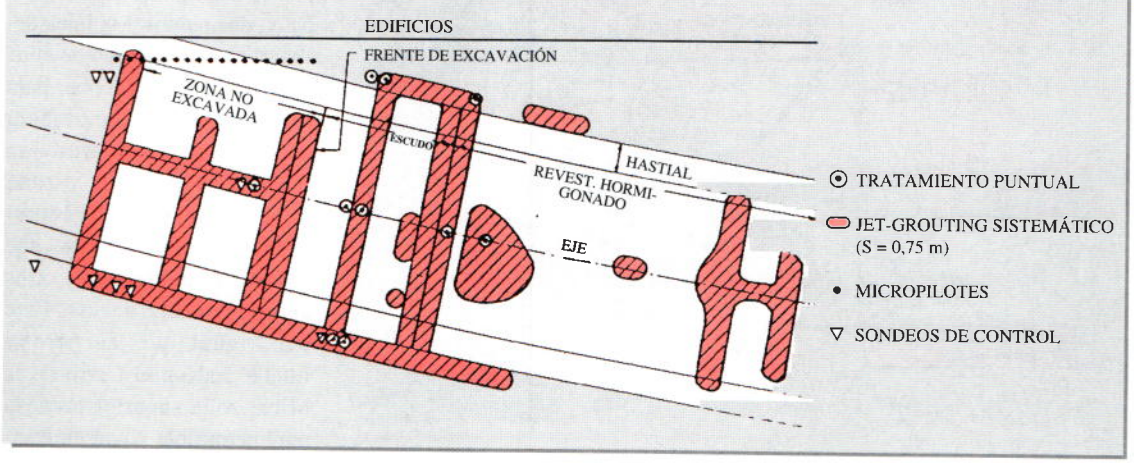
fero subterráneo importante, parcialmente explotado en su día por casas de campo con jardín y pozo (los «Cármenes», nombre que se sigue aplicando a la zona) (Fig. 9).

La Fig. 10 muestra el esquema del tratamiento realizado con jet-grouting desde superficie para consolidar y reforzar el terreno, así como una pequeña pantalla de micropilotes realizada junto a unas casas, por temor a que la alta presión de la inyección las dañase.

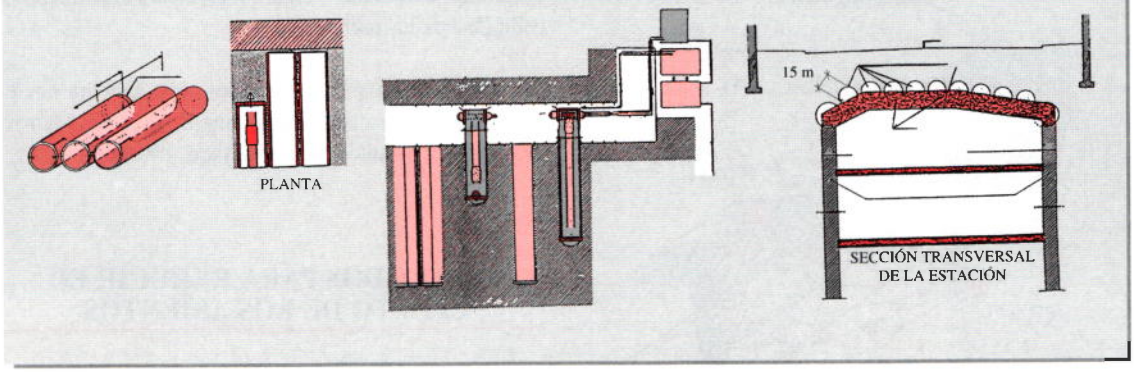
Se consiguió así mejorar la resistencia de conjunto del terreno (Fig. 11), pero no pudo seguirse la excavación con la entibadora, por lo que se continuó con el «método belga». Los asientos superficiales al reanudar la excavación llegaron a ser de 25 mm, pasando a unos 7 mm al alejarse claramente (unos 12 diámetros) de la zona del hundimiento.

En el otro punto del cauce del Río Valdecelada sobre la obra, cerca de la Estación de Laguna, la presencia de arenas con agua en los hastiales introdujo también serios problemas. Como se pudo excavar y hormigonar la bóveda (arenas más tosquizas, con menos agua), se procedió a tratar la zona de hastiales desde dentro del túnel, previamente a su excavación en zanjas y bataches. Además de un pozo general de bombeo cada 25 m, se perforó la zona de hastiales inyectando con tubo metálico con manguitos, que se dejaba perdido, armando así la inyección. Además de conseguir un terreno más coherente y que la base del hastial no se sifonara, la presencia de los tubos metálicos ayudaba, durante la excavación, en la realización rápida de la entibación (Fig. 12).

10 • PLANTA DEL TRATAMIENTO REALIZADO CON "JET-GROUTING" EN EL SUBURBANO ATOCHA-LAGUNA.

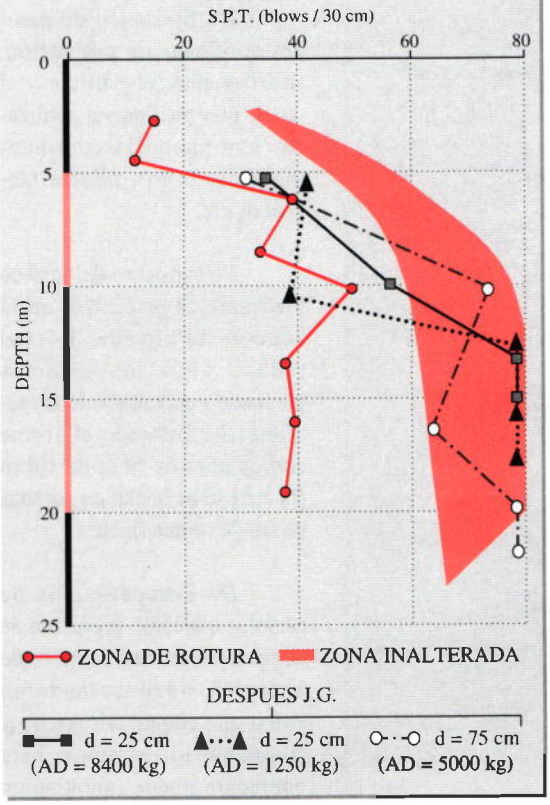


13 • HINCA DE TUBOS PARA CONSTRUIR PREBOVEDA (AERTS, 1983).

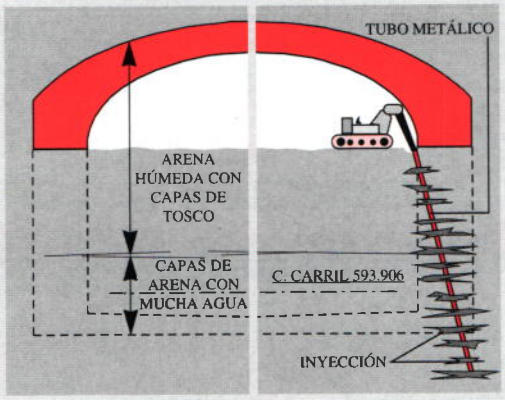


Otros sistemas de prebóveda pueden considerarse como tratamientos previos del terreno, aunque están integrados directamente en los procesos constructivos, como son el de la bóveda preserrada, utilizada en la Línea VI del Metro de Madrid (subida hacia c/ Princesa), con magnífico resultado en un tosco-arenoso y las bóvedas realizadas con tubos hincados (Fig. 13), aún no utilizadas en Madrid, aunque ya han sido propuestas varias veces. Este último sistema dio magníficos resultados en el Metro de Amberes.

11 • VARIACIÓN DEL S.P.T. EN LA ZONA VÍA CARPETANA, ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO

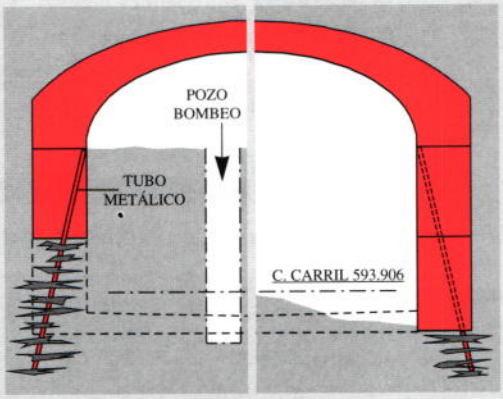


12 • TRATAMIENTO REALIZADO EN HASTIALES DEL SUBURBANO ATOCHA - LAGUNA, CERCA DE LA ESTACION DE LAGUNA.



1ª Fase: Excavación manual y hormigonado de bóveda

2ª Fase: Realización de micropilotes-inyecciones a través de hastiales

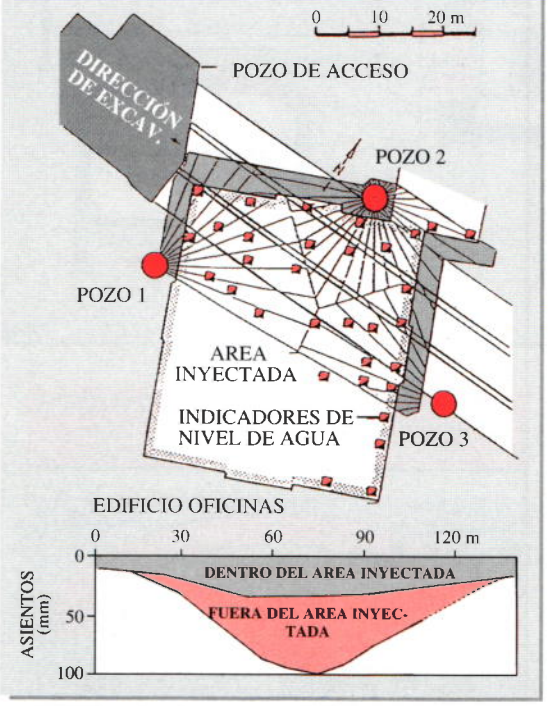


3ª Fase: Excavación de zona superior de hastiales y hormigonado

4ª Fase: Excavación de zona inferior de hastiales

15 • TRATAMIENTO EN EL METRO DE VIENA CON INYECCIONES DE FRACTURACIÓN.

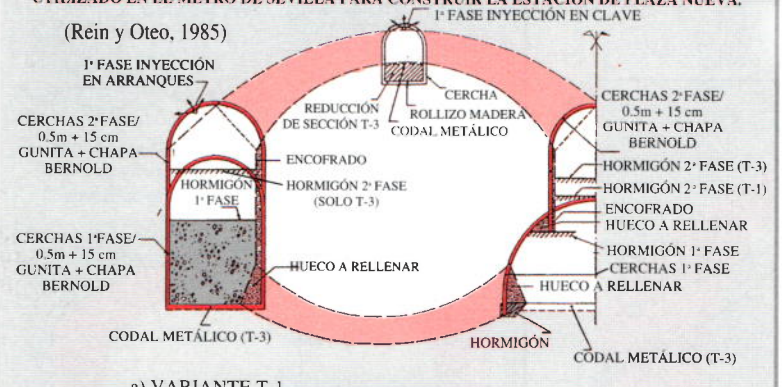
(Pototschnik, 1990).



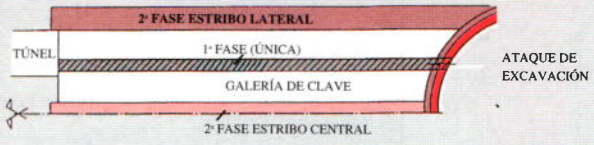
16 • VARIANTES DEL SISTEMA ALEMÁN, CON DOS BÓVEDAS.

UTILIZADO EN EL METRO DE SEVILLA PARA CONSTRUIR LA ESTACIÓN DE PLAZA NUEVA.

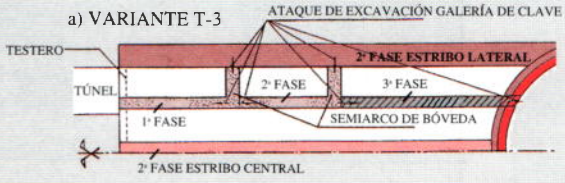
(Rein y Oteo, 1985)



a) VARIANTE T-1



a) VARIANTE T-3



ESQUEMA COMPARATIVO DE LAS DOS VARIANTES DEL SISTEMA DE EJECUCIÓN

Con el sistema de preserrado, pueden también realizarse, utilizando la misma guiadera, prebóvedas de pilotes barrenados, algo curvos, para disminuir la conicidad de las prebóvedas .

En cuanto a la congelación, este sistema no se ha utilizado nunca en Madrid, aunque sí en los Metros de Sevilla y Valencia, con resultados diversos.

4. MÉTODOS PARA REDUCIR EL EFECTO DE LOS ASIENTOS

Pueden distinguirse diversos procedimientos (Fig. 14):

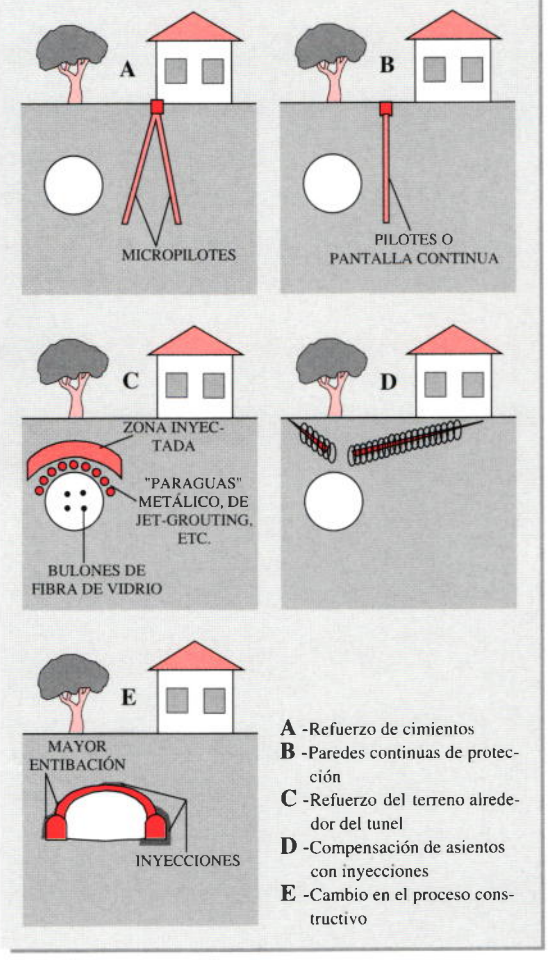
A– Refuerzo de cimientos de las estructuras próximas, recalzando con micropilotes, llevando a éstos hasta una zona en que no se prevean movimientos. Este sistema se ha utilizado, a veces, a posteriori, una vez introducidos los daños. En el Metro de Sevilla se llegaron a hacer micropilotes de 42 m de longitud y, posteriormente, el edificio se levantó mediante gatos hidráulicos apoyados en esos micropilotes.

B– Ejecución de paredes continuas de protección, situadas entre el edificio y el túnel, que pueden ser realizadas con pantallas continuas (ancladas o no), pilotes tangentes, etc.

C– Refuerzo del terreno mediante inyecciones en la zona de la bóveda, lo cual reduce algo los asientos mediante «paraguas» de inyecciones, reforzando el frente con bulones de fibra de vidrio (la cual se ha hecho en paradas de fin de semana), etc.

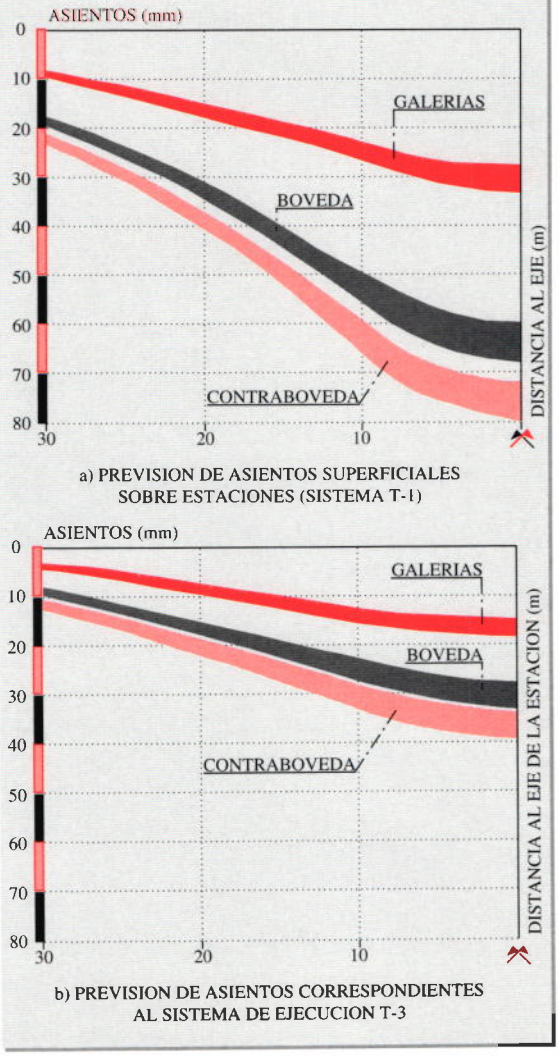
D– Compensación de asientos mediante inyección de compensación, con mortero de alta viscosidad, creando un bulbo que empuje el terreno y compense los asientos. Esta operación puede iniciarse un

14 • MÉTODOS PARA REDUCIR EL EFECTO DE ASIENTOS SOBRE ESTRUCTURAS PRÓXIMAS.



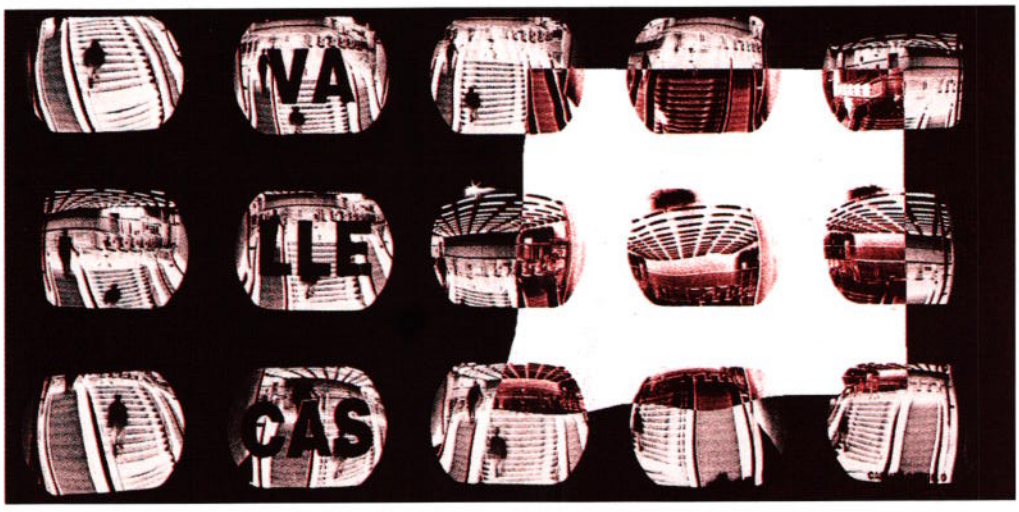
17 • COMPARACIÓN DE PRESIONES DE ASIENTOS PARA LOS SISTEMAS T-1 Y T-3 . UTILIZADOS. ESTACIÓN DE PLAZA NUEVA DEL METRO DE SEVILLA.

(Rein y Oteo, 1985).



poco antes de llegar el túnel y realizarse en varias fases para compensar los movimientos que se vayan produciendo. Esta técnica se ha utilizado en diversos Metros (Baltimore, Washington, Caracas, etc.) y las inyecciones pueden hacerse desde superficie o desde pozos verticales (Fig. 15). Sistema similar es el de las inyecciones de fracturación, aunque su control es algo más dificultoso. En el Metro de Madrid no se han utilizado todavía, aunque sí en otras obras en la misma ciudad (Fig. 15).

E– Cambios del proceso constructivo, introduciendo mejoras o adecuando el diseño, inyectando huecos entre sostenimiento y terreno, acortando el plazo de apertura de galerías, disminuyendo el área del frente que se abre de una sola vez, rigidizando sostenimientos relativos, etc. Así, en la Estación de Plaza Nueva del Metro de Sevilla (de dos bóvedas y ejecutado según se muestra en la Fig. 16) se puede disminuir el asiento de 80 a 40 mm, al modificar el proceso constructivo del sistema T-1 al T-3 (Fig. 17).



SUBSIDENCIA Y AUSCULTACIÓN

JOSÉ Mª RODRÍGUEZ ORTIZ
Dr. Ingeniero de Caminos, E.A.T. S.A. Catedrático de la U.P. de Madrid.

ÍNDICE

1. SUBSIDENCIA

1.1. INTRODUCCIÓN

1.2. SUBSIDENCIA ASOCIADA A LOS DISTINTOS MÉTODOS
1.2.1. ASPECTOS GENERALES
1.2.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE

1.3. ANÁLISIS TEÓRICO

1.4. DESARROLLO DE LA SUBSIDENCIA EN EL TIEMPO

1.5. MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE SUBSIDENCIAS

1.6. INFLUENCIA SOBRE LOS EDIFICIOS

2. AUSCULTACIÓN

3. AGRADECIMIENTOS

4. REFERENCIAS

1. SUBSIDENCIA

1.1 INTRODUCCIÓN

Se conoce por subsidencia el fenómeno de asentamiento asociado a la construcción de excavaciones subterráneas, aunque en el mismo suelen verse involucrados diversos efectos. Su importancia radica en los efectos que puede producir en los edificios o servicios de superficie, dado su carácter diferencial.

Es importante señalar que en el terreno de Madrid los fenómenos de subsidencia han sido siempre moderados, dada la resistencia y preconsolidación del mismo, si bien ello no excluye algunos casos de inestabilidad y hundimientos, por escaso recubrimiento, presencia de rellenos, insuficiente sostenimiento u otras causas puntuales.

Para un determinado terreno la subsidencia está muy relacionada con el método constructivo. Como se sabe en las obras subterráneas del Metro de Madrid se han utilizado principalmente los métodos siguientes, con el orden de preferencia que se indica:

- Método belga
- Método alemán
- Escudos
- Entibadoras, etc.
- Precorte (Sistema PREMILL)

El Nuevo Método Austriaco sólo ha tenido utilizaciones puntuales, pero no se descarta su empleo en algunas líneas futuras.

Los detalles de estos métodos y las secciones empleadas se exponen en otras ponencias.

1.2 SUBSIDENCIA ASOCIADA A LOS DISTINTOS MÉTODOS

1.2.1 ASPECTOS GENERALES

En principio habría que considerar los inevitables asientos anteriores al paso del frente, los cuales son mínimos en el caso del Precorte y máximos en el caso del NMA. En el Método Belga dependen de la longitud del pase en avance.

Algunos autores han registrado asientos anteriores al paso de escudos o en el NMA del orden del 50% de los finales. Sin embargo se trataba de suelos blandos en los que una parte importante de los asientos se debe a inestabilidades o fluencia del frente, lo cual no suele ser un problema en los suelos de Madrid. Con frentes poco estables no cabe duda de que el Precorte supone un mayor confinamiento ya que el terreno tiene que encauzarse por el tubo cónico creado previamente. También son efectivos a este fin los hidroescudos, los escudos de presión de tierras o los métodos que trabajan con aire comprimido (incluso el NMA).

En el Metro de Madrid los asientos medidos en superficie, anteriores al paso del frente, han sido muy pequeños, en general inferiores a 2-4 mm, con bastantes casos en los que se ha producido un levantamiento de 1-2 mm. Existen, sin embargo, diferencias más claras entre los distintos métodos al nivel de clave del túnel.

Una vez alcanzado el frente, los asientos son función de las deformaciones necesarias para la entrada en carga del sostenimiento, es decir, de la rigidez de éste.

La rigidez teórica del sostenimiento puede expresarse por el producto EI o, de una manera más gráfica, por el corrimiento radial u_i correspondiente a una determinada presión (equivalente a una constante de muelle). Para los sostenimientos usuales se obtienen los valores siguientes:

SOSTENIMIENTO	EI (m^2.t)	u_i (m)
-Gunita ligera (NMA) (e = 12 cm)	400-600	$2{,}6 \times 10^2$
-Precorte (e = 20 cm)	2000-6000	1,3
-Gunita pesada (NMA) (e = 30 cm)	4000-8000	1,0
-Dovelas (Escudo) (e = 30 cm)	8000-10.000	1,0
-Hormigón (M. Belga) (e = 80 cm)	>80.000	0,4

Estas rigideces, sin embargo, sólo son efectivas cuando se cierra completamente la sección y existe un buen contacto con el terreno. Desde este punto de vista el método más satisfactorio sería el del escudo con encaje a presión de la dovela de cierre e inyección inmediata tras las dovelas. Los métodos a sección partida son necesariamente más desfavorables, sobre todo si existe un desfase importante entre el avance y la destroza y se permite la relajación viscosa del terreno.

En el Método Belga es conveniente ejecutar los hastiales y la contrabóveda a corta distancia del avance, antes de que la bóveda entre totalmente en carga, cerrándose el inevitable hueco de trasdós. Una vez completada la sección debe procederse a inyectar el trasdós ya que en ese momento se dispone de toda la capacidad resistente del revestimiento.

En el Precorte es conveniente ir a sección completa, ya que su empleo sólo en bóveda introduce los mismos problemas en destroza que el Método Belga. En la sección completa el Precorte debe soportar las tensiones «quasifinales» ya que, por razones constructivas, es imposible ejecutar el revestimiento definitivo a menos de 40 m (> 4D) del frente. Esto puede obligar a reforzar la sección con cerchas metálicas o a aumentar espesores de precorte, que es la línea en que se está desarrollando el método, con el lógico cuestionamiento de la función y necesidad del revestimiento definitivo.

Las condiciones descritas hacen que las tensiones en base de hastiales sean muy elevadas y el sostenimiento tienda a hincarse, si bien en suelos duros se ha llegado a tensiones de 40 kp/cm^2 sin movimientos excesivos. Por otra parte los hastiales tienden a cerrarse, lo cual exige un rápido acodalamiento de la sección, preferentemente con una presolera, codales metálicos o, si es posible, con la contrabóveda definitiva.

En el caso del NMA puede intuirse que las habituales secciones ligeras (con espesores de gunita de unos 12 cm) darán lugar a los mayores asientos, sobre todo si se trabaja a sección partida. Los refuerzos a base de cerchas tienen escasa contribución a la rigidez (sobre todo si no se cuidan las condiciones de contacto con el terreno), siendo también dudosa la acción de los eventuales anclajes.

Distinto es el caso de las secciones pesadas, con espesores de gunita del orden de 30 cm, habitualmente utilizadas en el Centro de Europa. Estos sostenimientos, bien a sección completa o con una contrabóveda temporal en el caso de sección partida, resultan muy eficaces y comparables al Precorte, si bien no corrigen los asientos previos al paso del frente.

Es importante señalar que los asientos típicos asociados con un determinado método pueden aumentar notablemente en la realidad si:

- Se permite la fluencia del frente o se producen arrastres de materiales granulares (arenas sueltas o con carga de agua)
- La excavación va asociada a un cierto drenaje del terreno y a la consolidación de estratos arcillosos.
- Se demora el cierre de la sección o la aplicación del revestimiento definitivo.
- Se hunden los hastiales por excesiva concentración de tensiones.
- Se coloca un sostenimiento provisional muy débil o flexible, etc. (caso de algunas variantes de Nuevo Método Austriaco).
- El método de excavación (por ejemplo con escudo) permite que quede un huelgo (*gap*) entre el hormigón y el terreno. Lo mismo puede suceder por retracción del hormigón o deformaciones del encofrado, si no se corrige con inyecciones de contacto.

Aunque a veces se ha relacionado la velocidad de avance con la subsidencia, lo que verdaderamente influye es la distancia entre el frente y el sostenimiento activo ya que si esta distancia es grande (> 1,5 D) se pierde el efecto bóveda tridimensional del frente, con el consiguiente aumento de tensiones y deformaciones.

Este efecto también puede explicar las discrepancias entre los cálculos por elementos finitos bidimensionales y los valores medidos. Con soporte próximo al frente las tensiones ejercidas por el terreno son bastante inferiores a las finales, por lo que un cálculo en dos dimensiones puede conducir a una subsidencia mayor que la real. El ajuste puede conseguirse mayorando los módulos o reduciendo las acciones geostáticas.

En el caso de los escudos el soporte definitivo va alejado del frente del orden de 1 D por lo que el grado de abovedamiento conseguido dependerá de la rigidez del propio escudo y del huelgo que quede entre las dovelas y el terreno. Salvo que se efectúe una inyección de trasdós apropiada hay que considerar módulos y resistencias reducidas por efecto de la relajación del terreno.

Para los sistemas constructivos usuales se tendría:

MÉTODO	VANO LIBRE	ÍNDICE DE RELAJACIÓN
ESCUDO	< 1 m	0,2
BELGA	1,5-3 m	0,6
PRECORTE	0	0,1
NMA	1,5-3 m	0,7

En los casos de ejecución a sección partida o por fases, como en el Método Belga con avance y destroza, o en el Precorte, con revestimiento posterior a unos 40 m de distancia, la subsidencia también se desarrolla en dos fases, si bien la segunda es mucho más importante en el Método Belga ya que se produce un cierto descalce de la bóveda y se permite una relajación parcial del terreno en zona de hastiales. Las medidas disponibles indican, no obstante, que este efecto rara vez supone un incremento de asientos superior al 20% del total, siempre que no se elimine totalmente el núcleo central de la destroza hasta completar los bataches de hastiales de cada pase.

En el caso del Precorte se trata de un sostenimiento bastante menos resistente que las secciones de dovelas u hormigón de los otros métodos, pero con la ventaja de su aplicación previa a la excavación y por tanto con mínima relajación del terreno.

Muy probablemente (y las medidas empiezan a confirmarlo), la zona de clave no llega a entrar en tracción y puede contarse con módulos de deformación muy altos, en la gama de pequeñas deformaciones.

Por otra parte, también parece claro que, al no permitir deformaciones apreciables, las tensiones pueden ser bastante más elevadas que en los métodos de sostenimiento a posteriori o con un huelgo a rellenar por el terreno. Sin embargo, si no se rompe el sostenimiento bajo estas tensiones, se llega a un equilibrio al cabo de un tiempo moderado, con tensiones inferiores a las geostáticas, con lo que el revestimiento definitivo pierde su función estructural ya que pueden no producirse nunca las deformaciones necesarias para su puesta en carga.

Los esquemas anteriores pueden variar sensiblemente en el caso de coberturas débiles (inferiores a 1,5 D) y terrenos de baja resistencia en los que la zona decomprimida, acompañada de grandes deformaciones, puede alcanzar la superficie, produciéndose un incremento notable de la subsidencia respecto a los valores citados.

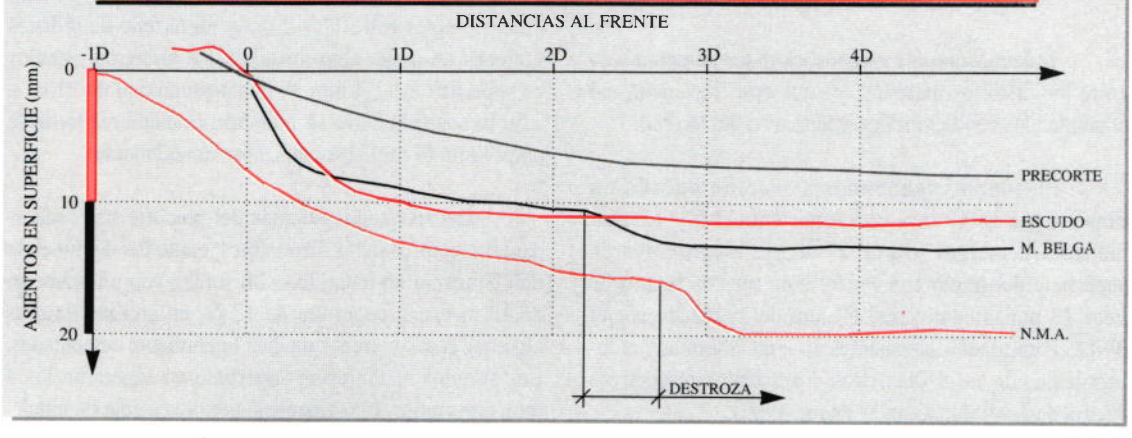
En este caso se destacan claramente los métodos más «rígidos» (en el sentido de permitir menor decompresión del terreno) como puede ser el precorte o el escudo. El Método Belga, con avances muy cortos, puede ser un buen método para el avance en estas condiciones cuando no importan las subsidencias, pero es inadecuado cuando hay que limitar los asientos. El NMA es bastante desaconsejable, por razones similares, aunque con una buena ejecución también pueden obtenerse resultados aceptables. Por ejemplo en el Metro de Munich se realizó, con asientos máximos en superficie de 15 mm, un túnel de unos 10,50 m de diámetro y 21 m de cobertura en margas terciarias con un módulo edométrico medio de 500 Kp/cm^2.

En la Fig. 1 se muestran, de forma esquemática, curvas típicas de variación de los asientos en superficie con la distancia al frente, para los métodos usuales.

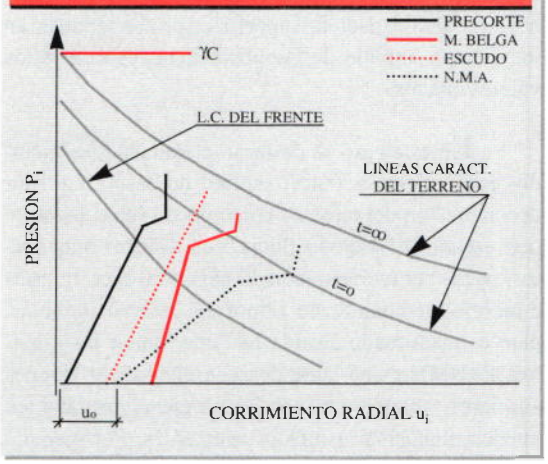
Digamos por último que en el caso de Madrid son muy ligeros los fenómenos de asentamiento por drenaje del terreno hacia la excavación ya que los suelos están preconsolidados o se trata de suelos arenosos compactos, poco sensibles a las variaciones de presión intersticial.

Los factores anteriores son muy difíciles de incorporar en las predicciones. El tema puede ilustrarse mediante los conocidos diagramas convergencia-confinamiento, o líneas características.

1 • ESQUEMAS TIPICOS DE VARIACION DE LOS ASIENTOS EN SUPERFICIE PARA DISTINTOS MÉTODOS DE EJECUCION.



2 • ESQUEMA COMPARATIVO PRESIÓN-CORRIMIENTOS DE LOS DISTINTOS MÉTODOS



En la Fig. 2 se ha representado, de forma esquemática, el proceso de equilibrio del sistema terreno-sostenimiento-revestimiento para los distintos métodos comentados, suponiendo en todos los casos una buena ejecución. Afortunadamente, en el suelo de Madrid los corrimientos finales son muy reducidos con cualquier método, pero las diferencias conceptuales son muy importantes y se manifestarían muy claramente en otros terrenos más blandos.

1.2.2 INFORMACIÓN DISPONIBLE

Tal como es habitual y de acuerdo con el conocido esquema deformacional (Fig. 3), el control de comportamiento de los túneles se centra en la medida de asientos en superficie, transversalmente al eje (cubeta de subsidencia) y a distintas profundidades, así como las tensiones y deformaciones en el sistema sostenimiento-revestimiento. En este sentido comentaremos los datos más interesantes de que disponemos hasta el momento.

– Asientos máximos en superficie.

Todavía son muy escasos los datos comparativos entre los distintos métodos, ya que con frecuencia, no coinciden las condiciones geométricas o del terreno.

En túneles realizados a sección partida en Francia, con D≈10 m y coberturas entre 1,5 y 1,8 diámetros, en margas y arcillas duras, los asientos en superficie del tramo con Precorte en bóveda fueron de unos 13 mm, frente a casi 50 mm del realizado por el NMA. Para túneles semejantes en creta alterada y recubrimientos de 1-1,5 diámetros, los asientos respectivos fueron de 1 y 4 mm (Van Walsum, 1992).

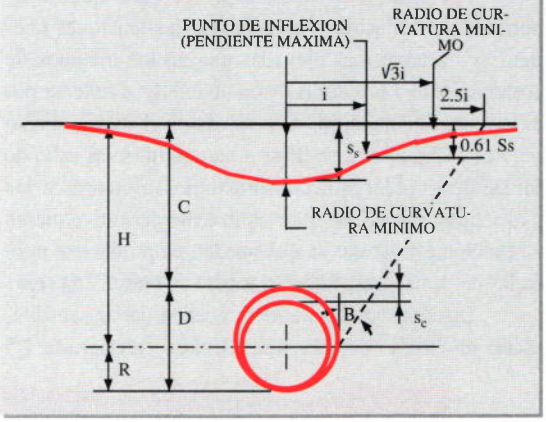
Los datos de subsidencia correspondientes al Metro de Madrid son muy limitados y fragmentarios.

Sagaseta (1973) publicó en su tesis medidas de la Línea 6, en la calle del Doctor Esquerdo. El túnel, ejecutado por el Método Belga, tenía una cobertura de 18 m en terrenos de tosco y transición. Los asientos medios en superficie fueron de unos 3 mm, y de unos 11 mm al nivel de la clave del túnel.

En el tramo Príncipe Pío-Moncloa de la Línea 6 (recogidos con mayor detalle por J. Trabada en otra ponencia), los asientos máximos en superficie en el túnel con Precorte han sido de 3 a 6 mm, con un caso excepcional de 9 mm debido a la existencia de una pesada iglesia. Con el Método Belga se han medido asientos de 4 a 13 mm; más adelante se da información más precisa sobre estas medidas.

En el túnel de El Goloso, la única referencia anterior disponible en España sobre el Precorte, con una sección análoga a la utilizada en la Línea 6, con cober-

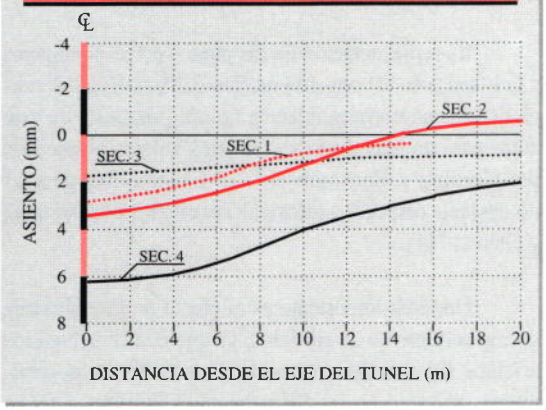
3 • NOMENCLATURA DE SUBSIDENCIA.



turas variables entre 11 y 27 m y un terreno de rellenos y arenas de miga, algo tosquizas, se midieron asientos en superficie de 2-4 mm. A una profundidad de 21 m, a 3,50 m sobre la clave se midieron asientos relativos de unos 7 mm (9 mm absolutos, aproximadamente).

Los pequeños asientos del precorte son concordantes con otros datos disponibles, como los del túnel de San Giovanni en Italia, lado Musofalo, con un diámetro de 13 m y una cobertura de 12 m, en arcillas limosas algo margosas y arenas medias ligeramente cementadas. Los asientos máximos en superficie no superaron los 4 mm, con valores ligeramente superiores a cota de túnel.

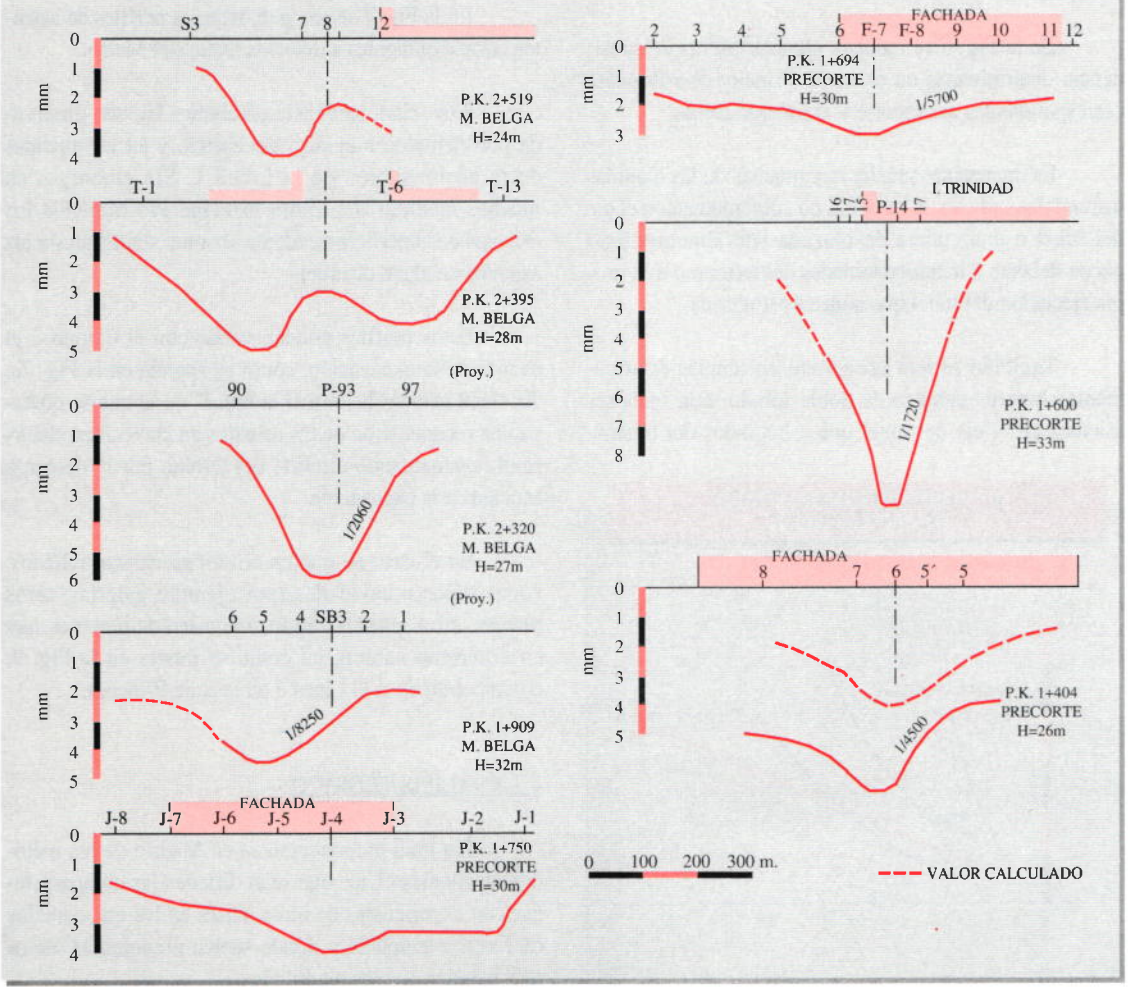
4 • CUBETAS DE SUBSIDENCIA EN LA LINEA 9 (MORATALAZ).



Los datos publicados por Oteo y Moya (1979) referentes al túnel de la Línea 9 en el Barrio de Moratalaz, ejecutado por el método del escudo, indican asientos medios en superficie de 2 a 6 mm, si bien podían llegar a 9-11 mm en los casos de parada del escudo o retraso en la ejecución de las inyecciones de contacto. Se trataba de un escudo de 8,86 m de diámetro y se atravesaron terrenos de arena de miga, tosco, transición y peñuela. Los módulos de deformación del terreno variaban desde 1200 kp/cm^2 para el tosco a casi 3000 kp/cm^2 para las arcillas de transición dolomitizadas. Las profundidades del eje del túnel variaban entre 14 y 35 m.

Estos datos pueden ser comparables con los obtenidos en el túnel de Heathrow, de 10,30 m de diámetro, realizado con escudo en arcilla de Londres (algo más blanda que la transición tosco-peñuela). Para una cobertura de unos 7 m los asientos en superficie fueron de unos 11 mm, frente a unos 14 mm al nivel de la clave.

5 • CUBETAS DE SUBSIDENCIA.



En la Línea Atocha-Laguna (vía Carpetana) del Suburbano, Oteo et al. (1988), registraron asientos de 7 a 15 mm para un túnel de 12 m de ancho con una cobertura de unos 17 m, en un terreno de rellenos potentes, tosco y peñuelas. El túnel se ejecutó a sección partida, con avance protegido por una entibación tipo Bernold.

Valores recientes de la prolongación de la Línea I Portazgo-Sardinero, en la Avda. de la Albufera, indican descensos máximos de 4 a 9 mm cerca de la clave del túnel, ejecutado por el Método Belga, con algún valor de 12 mm en zonas de poco recubrimiento. La cobertura varía de 12 a 25 m y el terreno es tosco, arena tosquiza y bolsadas de arena suelta cargada de agua. No se midieron asientos en superficie pero parece que no fueron apreciables.

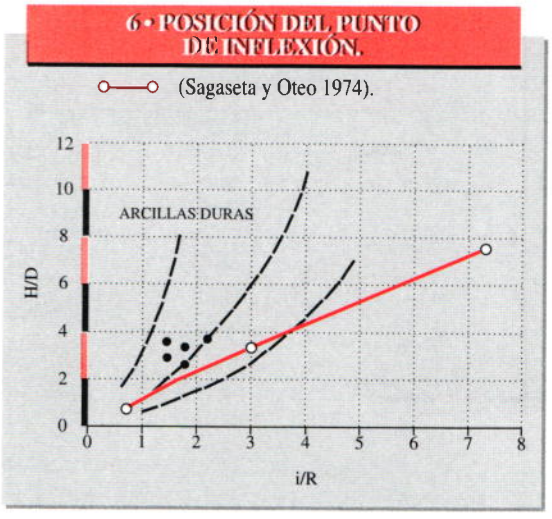
– Forma de la cubeta de subsidencia.

Algunas curvas interesantes han sido publicadas por Oteo y Moya (1979) para el caso ya citado de la Línea 9 (Fig. 4), realizada con escudo.

En la Fig. 5 se recogen algunas curvas de subsidencia determinadas en el tramo Príncipe Pío-Princesa correspondientes al Precorte y al Método Belga.

Es interesante señalar que muchas de las medidas disponibles indican un máximo no coincidente con el eje del túnel o una cubeta desplazada lateralmente. Esto puede deberse a heterogeneidades del terreno o a la propia ejecución del túnel que nunca es simétrica.

También se han observado en túneles relativamente someros cubetas de doble lóbulo, con menores asientos en el eje del túnel que a los lados del mismo.



Esto puede producirse cuando se permite el desplazamiento horizontal de los hastiales.

La representación de los puntos correspondientes a la Línea 6 en el conocido gráfico de Peck (Fig. 6) indica una buena correspondencia con la propuesta de este autor para arcillas duras y con otros valores publicados por Cording y Hansmire (1975). Existen divergencias no obstante respecto a otros valores citados por Sagaseta y Oteo (1974).

Un tema importante es el efecto de las sobrecargas, generalmente de edificios, ya que contribuyen a los asientos sin aportar resistencia. Este factor es generalmente ignorado en las formulaciones teóricas, aunque resulta decisivo a la hora de interpretar las cubetas de subsidencia. Por ejemplo en la curva b de la Fig. 5 los valores anormales del asiento en superficie se deben a la importante carga de la Iglesia de la Stma. Trinidad.

– Perfil vertical de asientos.

En la Fig. 7 se recogen diversos perfiles de asientos correspondientes a diversas líneas del Metro.

Una clara tendencia parabólica ha sido observada por ejemplo en el caso del escudo y en las medidas de la prolongación de la Línea 1. Sin embargo, en muchas medidas del tramo Príncipe Pío-Moncloa los asientos en superficie tienden a ser muy semejantes a los asientos en clave de túnel.

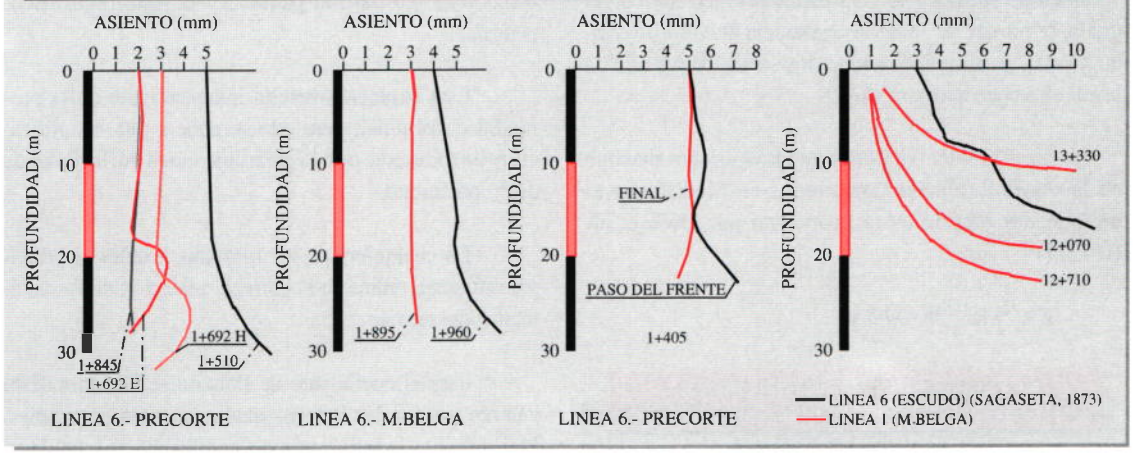
Estos perfiles pueden variar con el tiempo o el avance de la excavación, como se aprecia en la Fig. 7c. También resulta ilustrativa la Fig. 8, en la que se observa una recuperación de los asientos en clave al producirse el levantamiento diferido del terreno por la descarga asociada a la excavación.

En el caso de que en el terreno existan rellenos, zonas flojas o cavidades (por ejemplo galerías, otros túneles, etc.), pueden producirse asientos mayores que en el terreno natural, tal como se ilustra en la Fig. 9, correspondiente a la Línea 6 en la calle Princesa.

1.3 ANÁLISIS TEÓRICO

La gran preponderancia en Madrid de los métodos «manuales» hace que sean difíciles las comparaciones con experiencias de otros países en los que aquéllos rara vez se emplean y donde suelen predominar suelos más blandos que los madrileños.

7 • PERFILES ASIENTOS-PROFUNDIDAD.



Se ha discutido bastante si los parámetros de subsidencia (s, i, ß, etc) son función del tipo de suelo o solamente de la geometría del problema. Este ultimo planteamiento suele proceder de ensayos en modelo o de datos correspondientes a una única formación, donde el terreno pasa a ser una constante. También sugieren algunos autores que la subsidencia no depende de la relación cobertura/diámetro, lo cual es difícil de entender, salvo si se considera la limitada sensibilidad de las medidas dentro de la pequeña gama de coberturas en que nos movemos.

En este sentido sería muy fácil acotar empíricamente los asientos esperables en superficie para el Metro de Madrid, para las coberturas usuales y con condiciones del terreno no singulares:

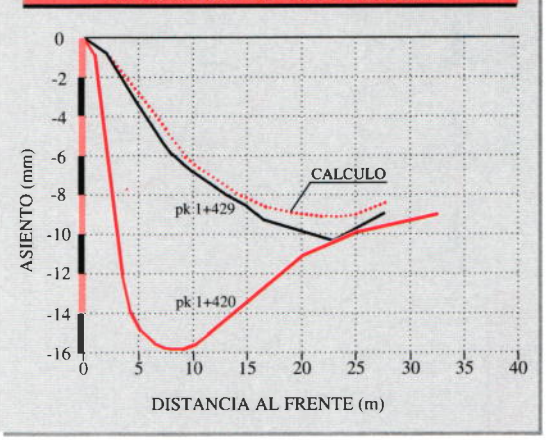
s = 2 - 6 mm (métodos de baja deformabilidad)
s = 9 - 13 mm (métodos de alta deformabilidad)

con valores a nivel de la clave del túnel 1,1 a 2 veces superiores. No se incluye el NMA.

Esto estaría en la línea de las propuestas de diversos autores (por ejemplo, Attewell y Farmer, 1975) en el sentido de relacionar los asientos con el cociente profundidad/diámetro. Se han llegado a estimar asientos del orden del 0,5% del diámetro para túneles superficiales realizados por métodos convencionales. Sin embargo en el Metro de Madrid esta relación no supera el 0,2% para ninguno de los métodos empleados, salvo en situaciones accidentales, lo cual da idea de las favorables condiciones del terreno.

Creemos más serio, sin embargo, recurrir bien a formulaciones semiempíricas o a modelos de elementos finitos, aunque ello exija introducir parámetros de resistencia al corte o de deformabilidad, los cuales deben tener en cuenta la trayectoria de tensiones realmente seguidas por el terreno al realizar el túnel.

8 • EVOLUCIÓN DE LOS ASIENTOS CON LA DISTANCIA AL FRENTE.



En sus aspectos generales el tema ha sido objeto de numerosos estudios teóricos, arrancando del difundido trabajo de Peck en 1969 según el cual el asiento máximo en la clave del túnel (Fig. 3) viene dado por;

$$s_c = V_s / 2{,}5\, i$$

siendo V_s el volumen de asientos en superficie, para el que se propone la expresión

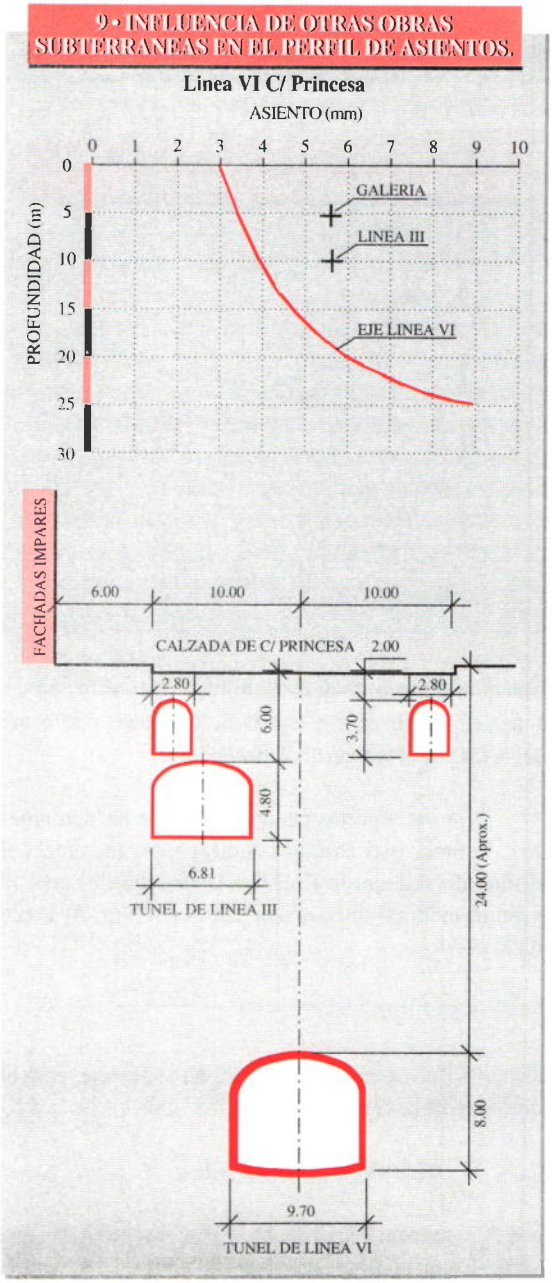
$$V_s = [\,(1+K_o)\sigma_z'(1+\nu)A_o\,] / E$$

con A_o = sección inicial del túnel y σ_z' = tensión efectiva vertical al nivel del eje del túnel.

Existen otras muchas fórmulas que relacionan el volumen de subsidencia o la pérdida de terreno con el grado de movilización de la resistencia al corte (*overload factor*), pero su aplicación a los suelos de Madrid da resultados poco aproximados.

Una fórmula útil para estimar el asiento máximo en la clave de túneles construidos en Madrid por el método del escudo es la propuesta por Oteo et al. (1987):

$$E\, s_c / \gamma D^2 = \Psi\, (0{,}85\text{-}\nu)$$



con valores del parámetro Ψ del orden de 0,5 para el tosco y de 0,4 para la peñuela y la transición tosco-peñuela.

Esta expresión resulta independiente de la profundidad del túnel, pero ello se debe a una simplificación introducida por la aparente poca influencia de dicho parámetro.

En cualquiera de las fórmulas usuales la principal dificultad radica en la correcta selección de los parámetros del terreno.

Para el coeficiente de Poisson se han propuesto valores entre 0,2 y 0,3, los cuales resultan razonables. Más difícil es la estimación del coeficiente de empuje en reposo. Puede decirse que sólo se dispone de datos indirectos ya que no se ha realizado una medida precisa de K_o. En el área de Madrid se han propuesto valores de 0,4 a 1,8, con explicaciones muy variadas, generalmente de tipo tectónico, expansividad, etc, siendo muy frecuentes valores en torno a 1,0. Sobre este parámetro influye la profundidad y antigüedad del estrato por lo que consideramos apropiado adoptar valores del orden siguiente:

TERRENO	K_o
RELLENOS, ARENAS DE MIGA	0,5
TOSCO, TRANSICIÓN	0,8
PEÑUELAS	0,8 - 1,2

También se presentan dificultades en la elección del modulo de deformabilidad del terreno. Es importante señalar que para el análisis de problemas de subsidencia el módulo operativo difiere del valor obtenido para el primer ciclo de carga en compresión. Por un lado los módulos resultantes en zonas traccionadas resultan inferiores a los determinados en compresión, mientras que en descarga habría que contar con módulos 2 a 3 veces superiores a los de compresión.

En el caso de peñuelas, toscos e incluso toscos arenosos los módulos directamente deducidos de ensayos de carga con placa, presiómetros, etc, son bastante altos, en general superiores a 3000 kp/cm^2. Sin embargo los módulos correspondientes a una deformación del 1% en el ensayo triaxial u obtenidos en ensayos edométricos suelen ser bastante inferiores, en la gama 400-1200 kp/cm^2. Parece bastante admitido que los ensayos de laboratorio dan valores muy pesimistas del módulo real.

Para compatibilizar las medidas con los módulos esperables in situ Jiménez Salas (1979) propuso adoptar valores reducidos de E en el entorno del túnel (aureolas de E/4 y E/8) por el hecho innegable de que en la zona de clave se producen tracciones y en los hastiales compresiones superiores a las geostáticas, por lo que los módulos movilizados serán bastante inferiores a los obtenidos en la gama de tensiones habitualmente utilizada en los ensayos in situ.

Otros autores posteriores (por ejemplo Rowe y Lee, 1989) han incidido en la misma idea, aconsejando adoptar los módulos deducidos de triaxiales de extensión o introducir una reducción del orden de 2 en los módulos de compresión.

Sin embargo habría que tener en cuenta hasta qué punto en los casos citados no se estaban computando como asientos fenómenos no debidos a la deformabilidad del terreno, como puede ser el cierre del huelgo del escudo o los huecos tras el revestimiento por el método belga.

Cuando se eliminan los factores citados se aprecia la necesidad de introducir valores muy altos de los módulos elásticos para reproducir las medidas. Esto está en concordancia con las observaciones de diversos autores en el sentido de que las deformaciones en el entorno de un túnel bien ejecutado y sostenido son muy pequeñas, del orden de 10^{-3} y por tanto en una gama muy inferior a la habitualmente utilizada para la determinación de E en ensayos de laboratorio, placas de carga, etc. Si se trabaja con pequeñas deformaciones los módulos resultan 5 a 10 veces superiores a los habituales.

Si se aplica el método de Peck a los túneles usuales del Metro, con A=70 m^2, σ_o' entre 40 y 60 t/m^2, K_o=0,8, ν= 0,2 y volúmenes de subsidencia de 0,12 a 0,24 m^3/m se obtienen unos módulos medios operativos de

E=5000-7500 Kp/cm^2 (condiciones óptimas de ejecución)
E=2500-3800 Kp/cm^2 (condiciones medias a malas)

lo cual es coherente con los valores medidos in situ.

Hay que tener en cuenta que las formulaciones semiempíricas o teóricas no son aplicables en los casos, relativamente frecuentes, de acuíferos arenosos fluyentes, rellenos, arenas sueltas, sobrecargas importantes, etc.

Aunque se ha propuesto introducir en los cálculos de subsidencia una deformabilidad anisótropa, no parece que, para la gama típica de valores, la subsidencia superficial sea muy sensible a esta propiedad. Más importante puede ser error derivado del empleo de modelos que admiten tracciones en el terreno.

Por lo que respecta a la sección transversal de la cubeta de asientos puede representarse por una campana de Gauss de expresión:

$$s_y = [V_s / \sqrt{2\pi}\, i] \exp(-y^2 / 2i^2) = s_s \exp[-(y^2 / 2i^2)]$$

siendo y la abscisa, s_s el asiento máximo en el eje, V_s el volumen de asientos por metro de cubeta e i la abscisa del punto de inflexión.

Ya hemos indicado la forma de estimar V_s por el método de Peck. Respecto a i existen numerosas propuestas entre las que se pueden indicar las siguientes:

$i=a(H/D)^n$ con n= 0,8 a 1,0 (Peck, 1969)
$i=0,25\,(1,5\,H + 0,25\,D)$ (Atkinson y Potts, 1977)
$i=0,43\,H + 1,1$ (m) (O'Reilly y New, 1982)
$i=a\,(1,05\,H/D - 0,42)$ (Sagaseta et al., 1980)

siendo a el radio del túnel.

En el Metro de Madrid son habituales valores de i de 8 a 14 m, con valores H/D entre 1,5 y 3, por lo que la expresión de Atkinson y Potts proporciona un buen ajuste.

Los anchos de cubeta suelen estar comprendidos entre 5i y 6i (coincidiendo con Cording et al.,1975), resultando ángulos β de apertura de la subsidencia desde el túnel hasta la superficie del orden de 28°-45°.

Por lo que se refiere al perfil vertical de asientos parece generalmente admitido que existe una cierta amortiguación, de tipo parabólico, entre los asientos en clave s_c y los medidos en superficie s_s, si bien para relaciones H/D pequeñas la reducción es moderada salvo que el terreno tenga fuerte dilatancia. Atkinson y Potts (1977) proponen, por ejemplo, la expresión:

$$s_c / s_s = 1 - \lambda\,[(H-D/2)/D]$$

Para ajustar esta expresión a los valores medidos en Madrid podría contarse con valores de λ del orden de 0,15 para peñuelas, de 0,20-0,30 para arcillas preconsolidadas tipo tosco y hasta 0,55 para toscos arenosos y arenas de miga 15 compactas, muy dilatantes.

En la Fig. 10 de Uriel y Sagaseta (1989) se aprecia la fuerte reducción vertical de los asientos en cuanto la cobertura es superior a unos 2 diámetros y cuando el terreno es denso o dilatante ($1 \leq \alpha \leq 2$), pudiendo llegar a ser nulos los asientos en superficie con valores elevados de α. Este caso correspondería a la formación de una corona plastificada en torno al túnel y confinada por un terreno circundante muy resistente, condiciones que casi se consiguen en el terreno de Madrid.

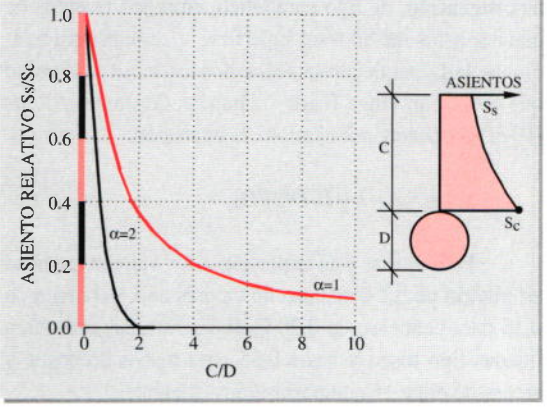
En este sentido se echa en falta mayor información sobre las características dilatantes de los suelos de Madrid, si bien pueden considerarse valores del orden siguiente:

	Φ_v	α
ARENA DE MIGA DENSA	15 - 24°	1,4 - 1,7
TOSCO	8 - 16°	1,1 - 1,4
PEÑUELA	7 - 12°	1,1 - 1,3

Tal como han señalado Wong y Kaiser (1987) y otros autores, el caso marcadamente parabólico puede corresponder a suelos con K_0 elevado o cuando se forma una zona plastificada sensiblemente concéntrica con el túnel, con un abovedamiento de la parte superior del terreno (Fig. 11a). Este esquema es típico del método del escudo y puede también esperarse en el Precorte, con cierre rápido de la sección. Por el contrario, si hay asientos importantes en clave o ceden lateralmente los hastiales, la plastificación puede progresar según bandas inclinadas permitiendo el descenso del terreno como un bloque rígido, con asientos muy semejantes en clave y en la superficie del terreno (Fig. 11b). Puede ser el caso del Precorte si no se acodala en solera o del Método Belga si fluye el terreno al excavar los hastiales o desciende monolíticamente la bóveda.

10 • ASIENTO RELATIVO ENTRE SUPERFICIE Y CLAVE DEL TÚNEL.

(Uriel y Sagaseta, 1989).



La singular forma de algunas curvas de asiento observadas en el Precorte, con un máximo próximo a la clave del túnel (ver Fig. 7a) pueden corresponder a la plastificación local del terreno sobre la bóveda, bien por flujo del terreno hacia las ranuras excavadas en posición sensiblemente horizontal o por el descenso elástico de la clave (acompañado de la dilatación del diámetro horizontal), en forma semejante a la experimentada por tuberías flexibles. En cualquier caso tales zonas de mayores asientos se corresponden con las deducidas por Katzenbach y Breth (1981) a partir de análisis numéricos, en alturas del orden de 0,75 D sobre la clave del túnel.

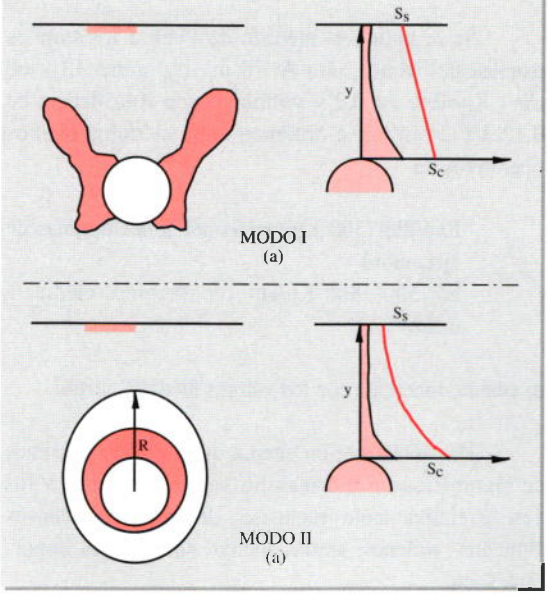
1.4 DESARROLLO DE LA SUBSIDENCIA EN EL TIEMPO

La mayor parte de los modelos teóricos o los cálculos habituales por elementos finitos no suelen incorporar factores de tiempo o fluencia, los cuales son muy importantes para el valor final de la subsidencia.

Para los niveles tensionales asociados a túneles de unos 9 m de diámetro, con coberturas entre 10 y 40 m, el terreno de Madrid puede sufrir deformaciones diferidas apreciables, las cuales llevarían a su plastificación y rotura si no se coloca un sostenimiento robusto o,

11 • PERFILES DE SUBSIDENCIA.

(Wong & Kaiser, 1987)



como es habitual, un revestimiento definitivo de hormigón. La rigidez del soporte y el tiempo transcurrido entre la excavación y su instalación (o entrada en carga) tienen una relación directa con la subsidencia producida.

En general en el Metro de Madrid se han seguido métodos «rápidos» de sostenimiento ya que tanto en el Método Belga, como con los antiguos escudos y ahora con el Precorte, la distancia entre el frente y el sostenimiento activo (es decir, en carga) no suele superar los 5 m.

En la fórmula ya mencionada de Oteo y Moya (1979) se tenía en cuenta la velocidad de avance del escudo mediante el factor reductor Ψ. Se apreciaba claramente que, a mayor velocidad, es decir, con una rápida aplicación del soporte, se limitaba la relajación del terreno y, por tanto, eran menores los asientos. El efecto beneficioso del sostenimiento rápido puede simularse, como hacen los citados autores, introduciendo un factor reductor de los asientos o mayorando los módulos del terreno.

En ciertos aspectos la movilización diferida de deformaciones es favorable para la subsidencia ya que la descarga producida por la excavación puede contrarrestar parte de los asientos si la sección es suficientemente cerrada (ver Fig. 8). Por el contrario, si se demora la colocación de la contrabóveda los levantamientos de la solera no se transmiten al revestimiento.

Desgraciadamente no existen datos sobre las propiedades reológicas de los suelos de Madrid que permitan una adecuada reproducción numérica e interpretación de estos fenómenos, si bien todo parece indicar tiempos de estabilización de 4-15 días para los niveles de tensiones usuales.

1.5 MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE SUBSIDENCIAS

Resulta evidente que para minimizar las subsidencias debe conseguirse un sostenimiento rápido y cerrado, movilizando la resistencia de pico del terreno, pero sin llegar a la plastificación del mismo, principalmente en la zona de clave. Como hemos visto, la elección del sistema de ejecución del túnel es importante respecto a las subsidencias finales, aunque en los suelos de Madrid el problema se minimice.

Las diferencias pueden ser apreciables, no obstante, en terrenos flojos, rellenos, etc, en los que la resistencia se moviliza con grandes deformaciones y en los que la pérdida de volumen en la excavación o la fluencia del frente son grandes.

En estos casos debe procederse a un cambio del sistema de ejecución o a una mejora del terreno para aumentar su resistencia y reducir su deformabilidad.

En este sentido los tratamientos más utilizados han sido:

- Inyecciones químicas
- Jet-grouting
- Inyecciones de «claquage»
- Inyecciones de microcemento
- Compaction grouting, etc.

Estos tratamientos deben ser objeto de pruebas previas ya que a las dificultades de penetración de la mayor parte de las inyecciones, se suman en algunos casos fenómenos inducidos de asentamiento.

Puede ser importante utilizar los tratamientos para reducir la permeabilidad del terreno, sellar acuíferos en carga que podrían ser drenados por el túnel o reducir los gradientes capaces de provocar flujos de terreno hacia la excavación.

En los casos en que la reducción de susbsidencias resulta problemática debe estudiarse el recalce preventivo de los edificios afectados, eventualmente con puenteo del túnel.

Aunque el tema de las subsidencias resulta secundario respecto al de la estabilidad de la cavidad, las técnicas son las mismas, pudiendo encontrarse un estudio detallado al respecto en otra ponencia de estas mismas jornadas.

1.6 INFLUENCIA SOBRE LOS EDIFICIOS

Aún teniendo en cuenta la amplitud de la cubeta de subsidencia y la distribución transversal de asientos, conviene tener presente que las tolerancias a asientos diferenciales suelen ser inferiores a 1,5 cm en vanos de 5 m, es decir, distorsiones angulares del orden de 1/300. De hecho en Alemania y otros países se viene utilizando el criterio del 1/1000 como máxima distorsión angular admisible.

En relación con los moderados valores de asentamiento producidos por los túneles excavados en Madrid, también son reducidos los daños experimentados por los edificios próximos a la traza o coincidentes con ella.

Las cubetas de asientos obtenidas en diversos casos (Figs. 4 y 5) indican pendientes máximas de 1/2000 a 1/10000, por lo que se está bastante lejos de los valores críticos.

En algunos casos los problemas han estado asociados con deficientes condiciones originales de cimentación y al drenaje producido por la excavación. Determinadas estructuras muy rígidas, por ejemplo muros de carga de ladrillo, se han fisurado por asientos diferenciales. También ha habido pequeños movimientos de pilotajes y pantallas portantes.

2. AUSCULTACIÓN

La auscultación de los túneles en la ampliación del Metro de Madrid se ha realizado siguiendo métodos tradicionales y equipos más o menos convencionales, si bien se han obtenido algunas experiencias que puede ser interesante comentar.

En general la auscultación ha ido encaminada a:

a) *Control de movimientos en el entorno del túnel*
- Convergencias de la sección excavada
- Movimientos absolutos de la sección
- Asientos y movimientos horizontales en el terreno y en la superficie del mismo

b) *Determinación de esfuerzos en el sostenimiento-revestimiento*
- Presiones del terreno
- Tensiones en la estructura del túnel

c) *Medida de presiones hidrostáticas en el terreno*

No entramos en la auscultación de los tramos a cielo abierto, tratada en otras ponencias y centrada en la medida de deformaciones de pantallas, fuerzas en anclajes y asientos de superficie.

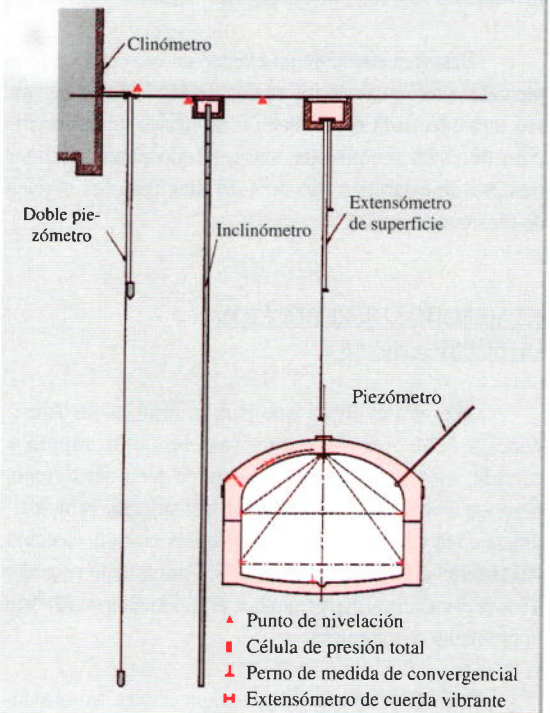
El interés de la auscultación radica principalmente en el control de comportamiento y en la seguridad de las obras, pero también está resultando muy útil de cara a futuros proyectos en lo referente a las presiones desarrolladas por el terreno y a los parámetros de resistencia y deformación realmente movilizados en las distintas formaciones madrileñas.

Hay que huir, sin embargo, de la instrumentación por la instrumentación, sin una idea clara de lo que se quiere medir y sin un seguimiento con base a un modelo teórico de comportamiento que puede servir de referencia.

Los costes de instalación y medida son elevados y con frecuencia el contratista tiende a oponerse a cualquier intervención que altere su ciclo de producción, por lo que debe meditarse seriamente cuándo y en qué condiciones la auscultación es imprescindible.

La instrumentación utilizable es sobradamente conocida:
- Hitos de nivelación en superficie
- Clinómetros para medida de inclinaciones de estructuras
- Pernos y cinta para medidas de convergencias
- Extensómetros para medida de movimientos relativos en dirección vertical o radial
- Inclinómetros para medida de desplazamientos horizontales
- Células de presión total para media de empujes del terreno
- Células de medida de tensiones en revestimientos de hormigón
- Piezómetros para control de presiones en el agua intersticial

12 • ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN.



NOTA: La disposición de los aparatos suele ser aprox. simétrica

En la Fig. 12 se muestra un esquema general de instalación.

Comentaremos brevemente algunos de los problemas asociados con los instrumentos de auscultación.

Los controles superficiales por nivelación son los más fáciles, directos y económicos. Sin embargo a veces no se dispone de bases suficientemente fijas y fiables, dentro del área del túnel. También son interesantes las medidas de inclinación de edificios o estructuras mediante clinómetros, plomadas ópticas, etc.

Hay que tener en cuenta que los robustos pavimentos utilizados por el Ayuntamiento de Madrid ejercen un papel «suavizante», enmascarando parcialmente los asientos diferenciales.

Este efecto se puede corregir si se dispone de medidas extensométricas, como mínimo a tres profundidades. Se debe procurar, en el caso de los extensómetros, realizar nivelaciones de la cabeza, para trabajar con asientos absolutos. Frecuentemente se tropieza con dificultades de mantenimiento y medida de las arquetas situadas en calles o zonas de circulación de vehículos. A este respecto son interesantes los extensómetros con medida electrónica a distancia mediante transductores.

Hay que tener en cuenta la importancia de un seguimiento completo del fenómeno desde su iniciación, es decir, antes del paso del frente, por lo que son de escasa utilidad los extensómetros colocados desde el propio túnel una vez realizado el sostenimiento.

La medida de convergencias suele hacerse entre la clave y dos o cuatro puntos en hastiales, lo cual resulta suficiente, si bien es imposible establecer la curva completa convergencias-tiempo pues las primeras medidas sólo se pueden realizar un cierto tiempo después de realizada la excavación (generalmente más de 1 día). Su utilidad es más para controlar la estabilización de los movimientos que para deducir su magnitud máxima.

En general se prescinde del control de convergencia una vez que se coloca el revestimiento definitivo, lo cual no es aconsejable en el caso de revestimientos delgados o al menos hasta que se cierra la sección con la solera o contrabóveda.

La medida de convergencias, por sí sola, puede dar una información incompleta si no va acompañada del control de descensos o movimientos de la clave del túnel, ya que pueden estarse produciendo asientos importantes sin cambio aparente de forma en la sección.

Suele ser muy difícil controlar movimientos de la solera o contrabóveda, ya que interfiere con la construcción y las medidas pueden estar distorsionadas por el paso de los vehículos. Resulta muy interesante, no obstante, medir empujes horizontales, subpresiones y levantamientos.

La determinación de esfuerzos en sostenimientos delgados (por ejemplo de gunita) no está resuelta, aunque se han intentado métodos indirectos a partir de las deformaciones como anillo.

En los sostenimientos tipo Precorte se ha conseguido instalar células internas de pequeño tamaño, con resultados bastante satisfactorios.

Las células instaladas en los revestimientos gruesos son muy difíciles de interpretar fuera de las secciones con esfuerzos puros de compresión centrada, ya que la presencia de momentos flectores supone una distribución no homogénea de tensiones difíciles de deducir a partir de células cuya posición real no es bien conocida. Por supuesto una sola célula puede ser imposible de interpretar, por lo que deben colocarse dos o, preferiblemente, tres por plano de medida.

Las células de medida de presiones del terreno tropiezan con graves problemas de instalación y, por otra arte, sólo pueden interpretarse con moderada fiabilidad en zonas de muy reducidas tensiones tangenciales, sobre las que suele existir escasa información.

En general hay una tendencia a confiar más en las medidas de deformación que dan una visión integrada del comportamiento del túnel que en las células que dan una información puntual que suele estar muy influenciada por condiciones locales del terreno o de la propia instalación. Dado el coste de las células se suelen instalar pocos planos de medida por sección (3-5 Uds.), lo cual suele ser insuficiente para descartar anomalías.

En este sentido son bastante útiles los extensómetros de cuerda vibrante embebidos en el hormigón o conectados a armaduras. Recientemente se están colocando tramos de fibra óptica que dan información en mayores longitudes.

Las condiciones de contacto de las células pueden ser muy diferentes de las del revestimiento adyacente, sobre todo si se cuenta con la retracción del hormigón, las deformaciones del encofrado, etc, o se recurre a inyecciones de contacto.

La interpretación de las medidas puede tropezar con dificultades insuperables si no existe una determinación local de las tensiones geostáticas (concretamente el coeficiente K_0), las cuales son bastante impredecibles en el área de Madrid.

Muchas veces los errores proceden de no haber considerado la evolución de los niveles piezométricos una vez completado el revestimiento, atribuyendo a una evolución de presiones del terreno lo que es en realidad un aumento de carga hidrostática.

Los inclinómetros pueden dar medidas totalmente distorsionadas en zonas con fuertes campos eléctricos o magnéticos, bastante frecuentes en áreas urbanas.

Por otra parte, si se instalan muy cerca de la excavación definitiva pueden dar picos de deformación poco representativos; sin embargo, en el terreno de Madrid, bastante duro, el esquema de deformaciones horizontales varía mucho a pequeñas distancias del túnel.

En la instalación de los inclinómetros conviene que su base esté al menos a un diámetro bajo la solera del túnel ya que las deformaciones también afectan a una zona importante bajo el mismo.

Hay que tener en cuenta siempre la precisión de los aparatos, ya que con valores de 0,1-0,3 mm/10 m y deformabilidades muy bajas, pueden obtenerse medidas erráticas en los inclinómetros usuales de unos 30 m de longitud.

Modernamente están encontrando gran aceptación las combinaciones de extensómetro e inclinómetro (como el Micrómetro Deslizante o *Sliding Micrometer*), con la gran ventaja de proporcionar en un mismo punto los corrimientos horizontales y verticales.

El control de niveles piezométricos es fundamental, tanto para interpretar las medidas de tensiones y deformaciones como para prevenir eventuales efectos perjudiciales en el entorno, como puede ser el «efecto barrera» o una depresión excesiva de niveles por el drenaje asociado a la excavación.

En general resultan muy fiables los tubos piezométricos vulgares, frente a aparatos más sofisticados como los piezómetros de cuerda vibrante. La principal precaución en el área de Madrid es el control por separado de los distintos acuíferos, muchos de ellos artesianos, que pueden coexistir en una misma sección. Aparte del control piezométrico desde superficie puede resultar útil medir presiones en el entorno del túnel mediante tubos conectados a manómetros con llave de purga.

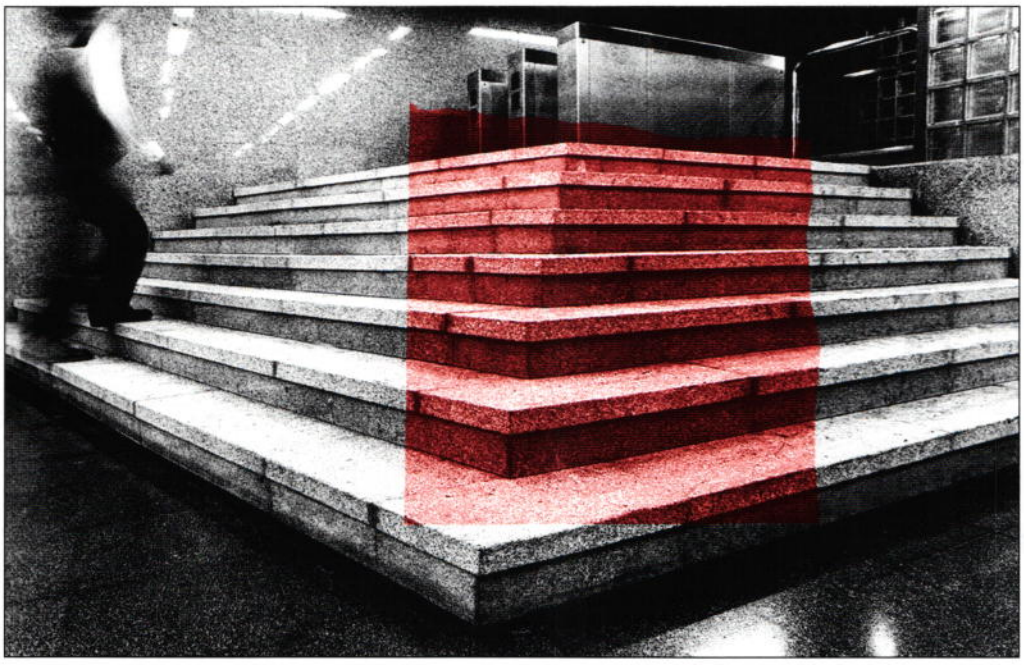
Digamos por último que la interpretación de la auscultación de los túneles suele verse dificultada por la falta de una presentación global de la información, ya que en los gráficos de tensiones o desplazamientos debería figurar la posición en planta y alzado, la estratigrafía, los niveles piezométricos y sobre todo la posición del frente respecto al punto de medida, así como el grado de ejecución de la excavación, sostenimiento, contrabóveda o revestimiento.

3. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a D. Manuel Arnáiz y a D. Jesús Trabada de la Consejería de Transportes de la Comunidad de Madrid la autorización para utilizar datos obtenidos en el tramo Príncipe Pío-Moncloa, así como en otros tramos del Metro. También queremos expresar nuestro agradecimiento a D. Mario Peláez de Geoconsult S. A. por la ayuda prestada en la elaboración de resultados de auscultación.

4. REFERENCIAS

• ATKINSON, J. H., Y POTTS, D. M. (1977): «Stability of a shallow circular tunnel in cohesionless soil». *Geotechnique* 27, nº 2, 203-215.
• ATTEWELL, P. B., Y FARMER, I. W. (1975): «Ground settlements above shield driven tunnels in clay». *Tunnels and Tunnelling*, Vol. 7, 1, 58-62.
• CORDING, E. J., Y HANSMIRE, W. H. (1975): «Displacements around soft ground tunnels». G. R. 5ª conf. Panam. Buenos Aires. Publicado en el Bol. Inf. Lab. Transporte y M. S., nº134, Julio-Agosto 1979.
• HURRELL, M. R. (1985): «The empirical prediction of long-term surface settlements above shield-driven tunnels in soil». En *3rd Int. Conf. on Ground Movements and Structures*, Cardiff, Ed. Geddes, 161-170. Pentech, Londres.
• JIMÉNEZ SALAS, J. A. (1979): «Two subsidence cases in Spain». Int. Conf. SRM, Montreux, Vol. 3, 369-382.
• KATZENBACH, R., Y BRETH, H. (1981): «Nonlinear 3-D analysis for NATM in Frankfurt Clay». X Congreso ISSMFE, Estocolmo, Vol. 1, 315-318.
MAIR, R. J., GUN, M. J., Y O'REILLY, M. P. (1981): «Ground movements around shallow tunnels in soft clay». X Congreso ISSMFE, Estocolmo, Vol. 1, 323-328.
• O'REILLY, M. P. «Evaluating and predicting ground settlements caused by tunneling in London Clay». Tunnelling '86, 231-241.
• OTEO, C., CARRILERO, R., Y PASTOR, A. (1988): «Failure in a tunnel excavated under and old riverbed in Madrid». Congress on Tunnels and Water, Madrid, Ed. Serrano, Vol. 1, 565-571.
• OTEO, C., Y MOYA, J. F. (1979): «Evaluación de parámetros del suelo de Madrid con relación a la construcción de túneles». Congreso de Brighton, traducido en Bol. Inf. Lab. Carreteras y Geotecnia, CEDEX, nº 137, Enero-Febrero 1980.
• ROWE, R. K., Y LEE, K. M. (1989): «Parameters for predicting deformations due to tunnelling». 12º Congreso ISSMFE, Río de Janeiro, Vol. 2, 793-796.
• SAGASETA, C., Y OTEO, C. (1974): «Análisis teórico de la subsidencia originada por la excavación de túneles», 1º Simposio de la SEMS, Madrid, Vol. 1, nº 10.
• URIEL, A., Y SAGASETA, C. (1989): «Selection of design parameters for underground construction». Gen. Rep. Ses. 9., 12º Congreso ISSMFE, Río de Janeiro, Vol. 4, 2.521-2.551.
• WALSUM, E. van (1992): «The mechanical pre-coutting tunnelling method». Congreso de Acapulco, Vol. 2, 779-788.
WONG, R. C. K., Y KAISER, P. K. (1987): «Prediction of ground movements above shallow tunnels». *Prediction and Performance in Geot. Eng.*, Calgary, 329-343.



SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN OBRAS EN EJECUCIÓN PARA LA AMPLIACIÓN DEL METRO DE MADRID. PERIODO 1.990-1.993

MANUEL ARNAIZ RONDA
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Servicio de Construcción
Dirección General de Infraestructuras. Consejería de Transportes de la CAM

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. DESCRIPCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DEL METRO
   2.1. CIERRE LÍNEA 6
   2.2. PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 1
   2.3. ACABADOS, MEJORA DE ACCESIBILIDAD Y SUPERTRUCTURA
   2.4. MÉTODOS UTILIZADOS
   2.5. DIMENSIONES Y PRESUPUESTOS

3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

   3.1. TÚNEL DE LÍNEA
      3.1.1. EJECUCIÓN EN MINA
         3.1.1.1. MÉTODO TRADICIONAL
         3.1.1.2. NUEVO MÉTODO AUSTRIACO MODIFICADO PARA EL TERRENO DE MADRID
         3.1.1.3. MÉTODO DE PRECORTE MECÁNICO DEL TERRENO
      3.1.2. EJECUCIÓN A CIELO ABIERTO
         3.1.2.1. ENTRE PANTALLAS COMO ELEMENTOS AUXILIARES
         3.1.2.2. ENTRE PANTALLAS, UTILIZÁNDOLAS COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA DEL TÚNEL

   3.2. ESTACIONES Y COCHERAS
      3.2.1. EJECUCIÓN EN MINA
      3.2.2. EJECUCIÓN A CIELO ABIERTO
      3.2.3. EJECUCIÓN EN SUPERFICIE

   3.3. TRATAMIENTOS DEL TERRENO
      3.3.1. INYECCIÓN QUÍMICA
      3.3.2. JET GROUTING

4. CONCLUSIONES

1. INTRODUCCIÓN

Para describir de una forma ordenada los sistemas constructivos empleados en la ampliación del Metro, se ha considerado más interesante, describir los métodos empleados, sin entrar a justificar el porqué se han utilizado, para posteriormente hacer unas reflexiones sobre las experiencias obtenidas de estas obras.

Existe una serie de variables que llevan a tomar la decisión de elección del sistema de ejecución como:

- Características del terreno a atravesar
- Condiciones en superficie, zona urbana, servicios, edificaciones, afección del tráfico, zonas verdes, interferencia con otras obras en ejecución, etc.
- Proyecto
- Condiciones del contrato de ejecución
- Plazos
- Contratista
- Medios disponibles, tanto técnicos como humanos
- Dimensiones de la obra

y un largo etc, que cualquiera que ha participado en el desarrollo de algún proyecto de estas características podría añadir en función de su experiencia concreta, que convierte a cada obra en un caso particular sin que se puedan hacer generalizaciones.

Por otro lado en las ponencias iniciales se han enmarcado algunos de los problemas que plantean las obras subterráneas en Madrid, así como las técnicas de tratamiento que habitualmente se vienen usando en este suelo, que se puede caracterizar por su heterogeneidad en las capas superficiales, por donde discurre la ampliación del Metro de Madrid en esta etapa, iniciada a finales de los años 80.

Hay que hacer notar, por otro lado, un hecho que ha influido en el desarrollo de la actual ampliación de Metro, y es, que después de casi diez años sin ampliar la red de Metro, una Administración de nueva creación aborda este reto, teniendo que crear equipos de trabajo, recuperando experiencias pasadas, estudiando los problemas que se han planteado y desarrollando un proceso de aprendizaje que se refleja en la forma de abordar las sucesivas obras que se van acometiendo a lo largo del tiempo. Realmente han transcurrido cinco años desde que en 1.988 se inician los estudios y proyectos que definían la Ampliación que se está realizando y con toda seguridad, hoy se llegaría a soluciones diferentes, no se si mejores, pero que al menos a los técnicos que hemos tenido la ocasión de participar en esta empresa nos dejarían más satisfechos.

Dicho esto es conveniente cuantificar, de alguna manera, lo que supone esta Ampliación en relación con la red actual y con la evolución de la red de Metro a lo largo de su historia. La red actual esta compuesta por : 112,5 Km. de línea, de los que todos son subterráneos a excepción de los 5,4 km. correspondientes a la Línea 10, entre Aluche y Plaza de España, cuya longitud total es de 9,2 km.; 120 estaciones de las que en 94 no se da correspondencia, 19 son dobles, seis triples y una quíntuple, ocho de éstas forman parte de intercambiadores con Renfe y una tiene correspondencia con la estación Sur de Autobuses; existen nueve cocheras y 37 subestaciones eléctricas. La Ampliación a la que se refieren estas jornadas supone incorporar nueve km. de Línea, nueve nuevas estaciones, en seis de las cuales no se da correspondencia, dos son triples y una es doble, tres cocheras y cuatro subestaciones.

	RED ACTUAL	AMPLIACIÓN	% INCREMENTO
-Km. Línea	112,5	9	8
-Estaciones	155	9	6,5
-Cocheras	9	3	33
-Subestaciones eléctricas	37	4	10,8

Si tenemos en cuenta que el Metro de Madrid, que ha cumplido ahora 74 años, y que desde Enero de 1.987 no se incorporan nuevos tramos a la red, concretamente el último fué Cuatro Caminos- Ciudad Universitaria (2,1, km. de la Línea 6) aunque su construcción se había realizado con anterioridad a esa fecha, se podría decir que el esfuerzo realizado con está ampliación, que supo-

ne un incremento de alrededor del 10 % en un periodo de cinco años, supera con mucho la media de crecimiento alcanzado hasta ahora y es un punto de inflexión que marca el inicio de una nueva etapa, que incorpora alrededor de 2 Km. anuales a la red de Metro.

Esta Ampliación que se está desarrollando, contempla todo el proceso, desde el estudio funcional hasta la puesta en servicio de los nuevos tramos, pero solo se trata ahora de los procesos constructivos de la infraestructura de Línea; túnel, caverna de estaciones, vestíbulos, cañones de accesos, pozos de ventilación, cocheras, subestaciones, decoraciones, etc, aunque están en ejecución todas las obras referidas a la supraestructura; vía, línea aérea y electrificación, ventilación, implantación de escaleras mecánicas y ascensores para mejora de accesibilidad a las personas con movilidad reducida (PMR), señalización y sistemas de seguridad, instalación de Puestos de Control Local (PCL), telefonía y radiotelefonía, etc, que por sus características, diversidad y complejidad, requieren un estudio específico de cada una de ellas.

Se describe en el apartado siguiente en que consisten las obras de infraestructura de cierre de la Línea 6 y la prolongación de la Línea 1, que

1 • AMPLIACIÓN DE LA RED DE METRO (1990-1993).

métodos constructivos se han empleado en los diferentes tramos, así como los utilizados para resolver la ejecución de las estaciones y cocheras, para pasar a desarrollar en el capitulo tres dichos métodos constructivos, unificados y agrupados.

2. DESCRIPCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DEL METRO

El desarrollo de las propuestas definidas en el documento denominado " Estrategia de Transportes de la Región Metropolitana de Madrid", ha llevado a la Comunidad de Madrid a ejecutar la prolongación y cierre de la Línea circular, la Línea 6 del Metro y la prolongación de la Línea 1 a partir de Portazgo, siguiendo la traza de la Avenida de la Albufera. Estas líneas están en ejecución desde el año 1.990.

2.1. CIERRE DE LA LINEA 6

La prolongación y cierre de la Línea 6 de Metro, como Línea circular, la convierte en un elemento estructurante de la red de Metro y del sistema de transporte de la ciudad por los siguientes hechos:

- Tiene correspondencia con todas las líneas de Metro excepto la Línea 10.
- Conecta con 45 terminales de Líneas de la EMT y otras 42 líneas tienen posibilidad de conexión directa.
- Conecta con la totalidad de las Líneas ferroviarias de cercanías.
- Conecta con las carreteras radiales de primer orden con lo que se obtiene una buena relación con las líneas de autobuses metropolitanos.

Debido a todas estas circunstancias la Línea circular tiene un papel básico en el estrategia de transportes como Línea receptora y distribuidora de los viajes metropolitanos, como línea estructurante de la red de metro y como elemento integrador en las comunicaciones interiores de Madrid.

Estas razones han justificado, a la Comunidad de Madrid, el inicio de las obras de cierre de la Línea 6 entre Laguna y Ciudad Universitaria. Tal como se venía proponiendo, con distintas alternativas de trazado en el Plan de Ampliación del Ferrocarril Metropolitano de 1.967, en las revisiones del mismo realizados en 1.971 y 1.974, así como en estudios posteriores de la Dirección General de Infraestructura del Transporte, del Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones, del Consorcio Regional de Transportes, de la Delegación de Circulación y Transportes del Ayuntamiento de Madrid y de la propia Compañía Metropolitana de Madrid, recogiéndose en el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid y en la citada Estrategia de Transportes de la Región Metropolitana de Madrid.

Para poder analizar las distintas alternativas de cierre se han elaborado los siguientes documentos:

- Evaluación de costos de inversión y determinación de los condicionantes constructivos que afectan a la prolongación de la Línea 6 del Ferrocarril Metropolitano de Madrid. C.R.T.M. 1.988.
- Definición funcional de la Estación de Intercambio de Norte-Príncipe Pío. C.R.T.M. 1.988.
- Estudio de viabilidad de la prolongación y cierre de la Línea 6 de Metro. C.R.T.M. 1.988.
- Definición funcional de la prolongación y cierre circular de la Línea 6 del Ferrocarril Metropolitano de Madrid.C.R.T.M. 1.988.
- Proyecto funcional de la Prolongación y cierre de la Línea 6 del Ferrocarril Metropolitano de Madrid. Compañía Metropolitano de Madrid. 1.989.

Como consecuencia de los mismos, la Comunidad de Madrid procedió a la redacción de los correspondientes proyectos de construcción, dividiendo el conjunto de obras a realizar en los siguientes tramos ya contratados y en ejecución:

- Laguna-Puerta del Angel.
- Puerta del Angel-Príncipe Pío.
- Intercambiador Príncipe Pío. El Intercambiador de Príncipe Pío lo desarrolla y ejecuta el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, dado que confluyen diferentes líneas de ferrocarril y Metro.

- Moncloa. Ciudad Universitaria y cocheras.
- Cocheras de Laguna.
- Túneles de acceso a las cocheras desde la estación de Laguna.
- Estación Norte del Ramal Opera-Norte.

La decisión de dividir la obra completa en varios tramos, se tomó en base a varios factores, pero fundamentalmente a los siguientes:

- Permitía iniciar la obra casi de inmediato, pues el tramo Laguna-Puerta del Angel lo había dejado inacabado el Ministerio de Obras Públicas, en 1.984.
- Permitía diversificar riesgos al no comprometer una gran inversión con una sola empresa.
- Permitía ejecutar el total de la obra en un plazo razonable (alrededor de 36 meses desde su adjudicación).
- Permitía reducir plazos y por tanto una más rápida puesta en servicio.

Como consecuencia, seguramente, se impidió la utilización de equipos muy costosos cuya amortización en un solo tramo no era viable, pero que habría permitido mecanizar las obras que se están ejecutando.

La obra de cierre de la Línea 6 del Metro se desarrolla como se ha dicho, entre las estaciones de Laguna y Ciudad Universitaria, y sitúa entre estas seis nuevas estaciones: Lucero, Alto de Extremadura, Puerta del Angel, Príncipe Pío, Argüelles y Moncloa.

El trazado del nuevo túnel está fuertemente condicionado por dos aspectos básicos: por una parte, los parámetros de diseño establecidos por Metro de Madrid, que consisten en radios mínimos de 250 m., pendientes máximas del 4 por 100 y acuerdos verticales con kv superior a 1.500. Por otra parte, existen una serie de puntos fijos, algunos de los cuales son los siguientes:

En primer lugar, el paso del río Manzanares, que afecta fundamentalmente al perfil longitudinal del túnel. En segundo término, la futura conexión de la Línea 6 con la Línea 10 y el ferrocarril de cercanías en el intercambiador de Príncipe Pío, obliga tanto a un nuevo trazado de la Línea 10, como a dos puntos de cruce entre las Líneas 6 y 10, a ambos lados de la estación.

En tercer lugar, el paso por las estaciones de Argüelles y Moncloa exige proyectar unas adecuadas condiciones de transbordo con las líneas existente en ellas, limitando en lo posible los tiempos de recorrido de los viajeros. Además, los numerosos servicios que inundan el subsuelo de Madrid condicionan igualmente el trazado y la disposición de vestíbulos y estaciones.

Por último, la voluntad de acercar a la superficie las estaciones haciéndolas más funcionales y mejorando las condiciones de accesibilidad al viajero.

El nuevo trazado tiene uno de sus extremos en el fondo de saco existente en la estación de Laguna. Las estaciones más significativas son las de Príncipe Pío, Argüelles y Moncloa.

En Príncipe Pío, la estación se integra en el proyecto del futuro intercambiador, que contempla una conexión "andén a andén" entre las Líneas y 6 y 10, así como una fácil relación vertical con la línea de cercanías y la futura terminal de líneas de autobuses. Se incorpora también la estación de metro de Norte del Ramal Opera-Norte.

La estación de Argüelles es en la actualidad terminal de la Línea 4 y de correspondencia con la Línea 3. Como consecuencia de la inclusión de la Línea 6, la estructura de accesos, ya escasa, demanda una reestructuración que adecue funcional y dimensionalmente las nuevas necesidades y dé respuesta a las carencias existentes en la actual explotación. En base a ésto se ha abordado el proyecto de la estación de Argüelles Línea 6, como un planteamiento global que contemple la realización de un nuevo vestíbulo, concentrando los accesos desde superficie en el nudo Princesa-Alberto Aguilera y resolviendo la correspondencia entre las estaciones de las tres líneas.

Para su situación definitiva fue preciso un concienzudo estudio de alternativas dada la dificultad de ubicación del vestíbulo, como consecuencia de condicionantes ineludibles, tales como:

- la escasa profundidad a que discurren los trazados de las líneas existentes a lo largo de las calles Princesa y Alberto Aguilera, que delimita espacios de dimensiones reducidas.
- el complejo tejido de redes de infraestructuras urbanas en forma de galerías de servicio, colectores y conducciones.

- el tráfico de estas dos importantes arterias urbanas se constituye en un elemento limitador adicional.

La alternativa finalmente elegida plantea la ampliación del vestíbulo actual, manteniendo las bocas existentes. Esta solución presenta claras ventajas al facilitarse durante su ejecución en todo momento el acceso de los usuarios y al minimizar las afecciones al tráfico llevando a cabo la obra por fases.

El vestíbulo tiene forma poligonal, obligadamente irregular al tener que adaptarse a los diversos condicionantes físicos enunciados.

Estación de Moncloa. La estación de Moncloa actual es la terminal de la Línea 3. La ubicación de una nueva estación para la Línea 6 ha obligado a reconsiderar la situación y dimensiones del vestíbulo y de las bocas de acceso. Después de un pormenorizado estudio de alternativas se ha optado por un nuevo vestíbulo bajo la calle Princesa con acceso desde el Paseo Moret, que comunique con Línea 3.

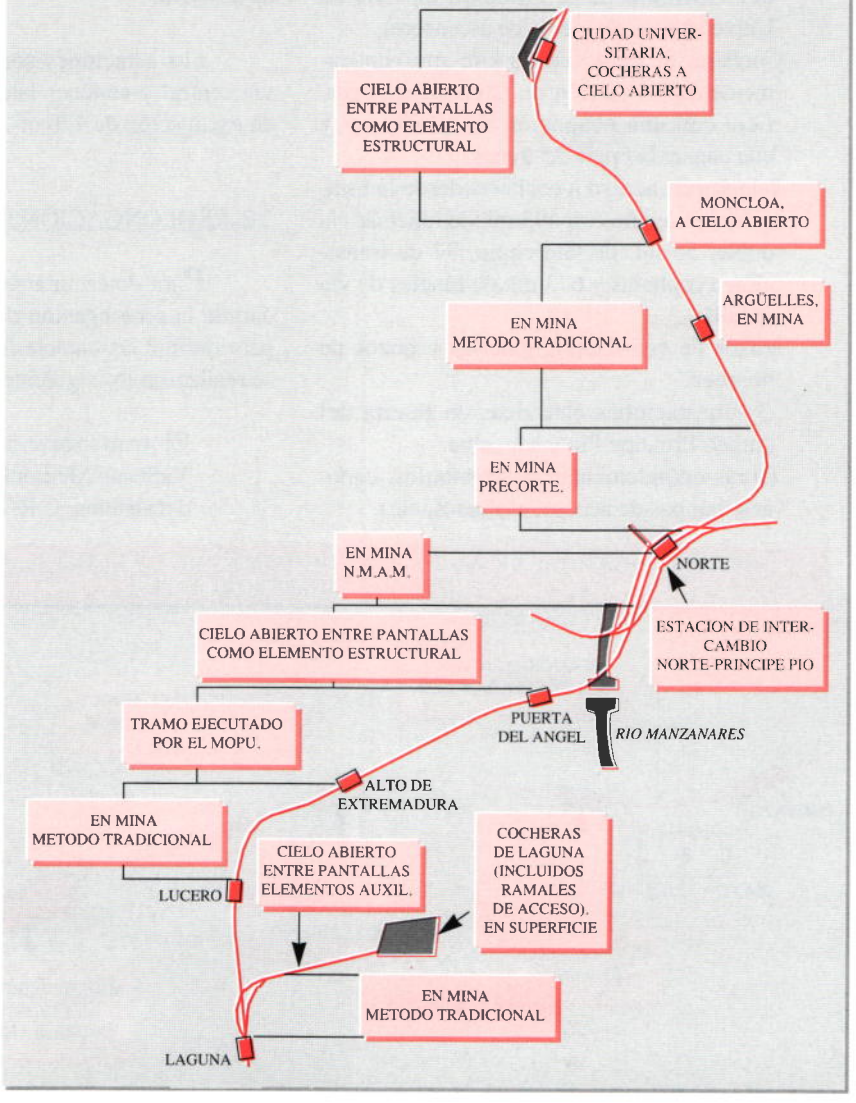
El nuevo vestíbulo pretende adaptarse formalmente a sus necesidades funcionales, acortando recorridos de correspondencia y conectará directamente con la nueva estación de autobuses.

Cocheras de Ciudad Universitaria. Para el almacenamiento de los trenes necesarios para la explotación de la línea circular con el intervalo actual y con el nuevo (32 y 40 trenes, respectivamente) se precisa la construcción de sus correspondientes cocheras. El estudio funcional de Metro, previo a la realización del proyecto analiza diversas alternativas para, finalmente, considerar como más idónea la implantación de cocheras en tres puntos aproximadamente equidistantes, de manera que las salidas y reducciones del material resulten rápidas. Estos lugares son: Laguna, Méndez Alvaro y Ciudad Universitaria.

Las obras correspondientes al cierre de la Línea 6 comprenden:

- 4676 ml. de túnel de Línea.

3 · PROLONGACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA LÍNEA 6. METRO MADRID. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.



- Terminación de las estaciones de Lucero, Alto de Extremadura y Puerta del Angel, cuya caverna ya estaba realizada, que comprende vestíbulos, cañones de acceso y acabados.
- Estación de Argüelles con vestíbulo de conexión con las Líneas 3 y 4.
- Estación de Moncloa con vestíbulo de conexión con Línea 3 e intercambiador de autobuses de Moncloa.
- Cocheras de Ciudad Universitaria con una superficie en planta de 11.000 m^2, capacidad para 8 trenes, junto a la estación de Ciudad Universitaria, bajo la Avenida Complutense. Al realizarse a cielo abierto se han construido cinco plantas de aparcamiento sobre las cocheras con capacidad para 2.000 vehículos, y permite la remodelación del vestíbulo de la Estación de Ciudad Universitaria, dotándola de ascensores.
- Cocheras de Laguna a un km. aproximadamente de la estación de Laguna, en superficie con una ocupación de 40.000 m^2 y una capacidad para 25 trenes.
- Túneles de acceso a cocheras desde la estación de Laguna con 493 ml. de túnel de vía doble, 55 ml. de telescopio, 37 de transición a cocheras y 673 ml. de túneles de vía sencilla.
- Pozos de ventilación, galerías y pozos de bombeo.
- 3 subestaciones eléctricas en Puerta del Angel, Príncipe Pío y Moncloa.
- Obras complementarias (vestíbulos, cañones, rampas de acceso, acabados, etc)

Todas estas obras están dimensionadas para que circulen coches de la serie 5000 en vía doble. Se han considerado gálibos estáticos y cinemáticos, corespondiendo este último a curvas de radio 250 m. Para la determinación de los gálibos verticales se han tenido en cuenta los siguientes datos:

- Distancia mínima a cualquier obstáculo: 20 cms.
- Distancia para absorber defectos de construcción: 20 cms.
- Espesor mínimo bajo traviesa: 30 cms.

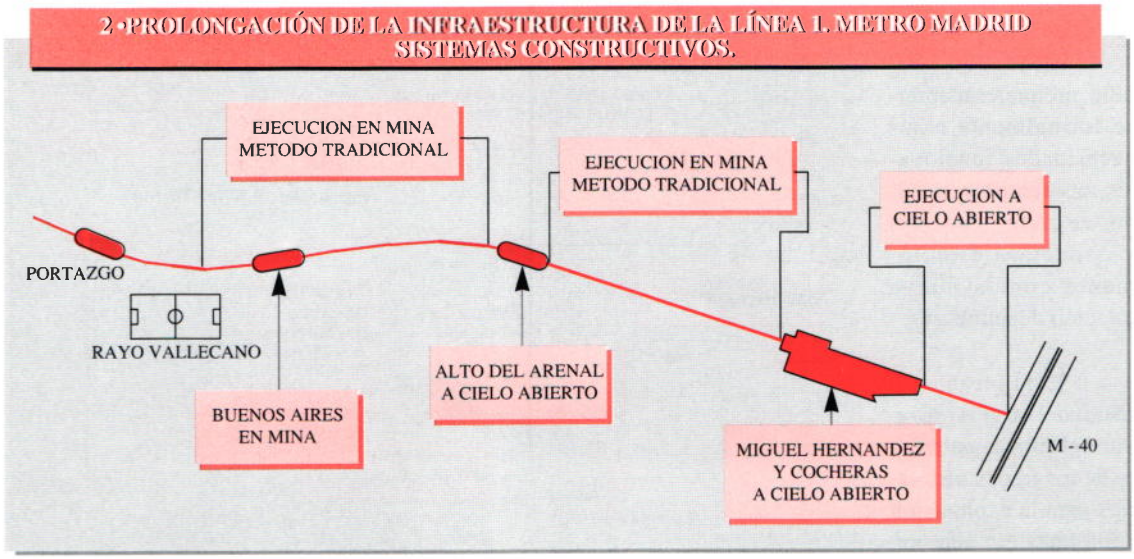
Se ha previsto la realización de nichos de refugio para la utilización por el personal de servicio, cada 25 metros, algunos de los cuales se podrán utilizar para la ubicación de los armarios de señalización. La sección de excavación resultante es de 62,445 m^2.

Las estaciones son de 115 mts. con doble vía central y andenes laterales, con una superficie de excavación de 170 m^2.

2.2. PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 1

Para determinar la conveniencia y viabilidad de la prolongación de la Línea 1 del Metro, y para definir las características que debería tener, se realizaron los siguientes estudios:

- El transporte colectivo en el sector Vallecas-Mediodía. Alternativas de mejora del sistema. C.R.T.M. 1988.



- Estudio de viabilidad de la prolongación de la Línea 1 de Metro a partir de Portazgo. C.R.T.M. 1.988.
- Evaluación de costos de inversiones y determinación de los condicionantes constructivos que afectan a la prolongación de la Línea 1 de Metro desde Portazgo. C.M.M. 1988.

Como consecuencia de los mismos se decidió por la Comunidad de Madrid, la redacción del correspondiente proyecto de construcción denominado," Infraestructura de la Línea 1 del Ferrocarril Metropolitano de Madrid. Tramo: Portazgo-Colonia Sardinero (Sandi)", en Octubre de 1.988, terminándose en Septiembre de 1.989. La obra se contrató en Mayo de 1.990. Se inició en Julio de 1.990 y se ha concluido en Noviembre de 1.992. Actualmente se están realizando los trabajos de supraestructura, acabados de estaciones y equipamiento de cocheras, preveyéndose que se pondrá en servicio en el primer trimestre de 1.994.

Las obras comprenden:

- 1378 ml. de túnel de línea.
- Estación de Buenos Aires, con vestíbulo y cañones de conexión.
- Estación de Alto del Arenal realizada a cielo abierto, con una sala de usos múltiples, a nivel de vestíbulo de 1.000 m^2.
- Estación de Miguel Hernández y cocheras adosadas para 8 trenes, con una dimensión de 11.000 m^2 y 200 mts. de longitud. Al realizarse a cielo abierto se ha utilizado el espacio comprendido entre la cubierta de la estación y cocheras y la superficie para disponer un aparcamiento de dos plantas con capacidad para 900 vehículos.
- Fondo de saco de maniobras, de 200 mts. de longitud.
- Pozos de ventilación y drenaje.
- Obras complementarias (vestíbulos, cañones, rampas de accesos, acabados, instalaciones, etc.).

Toda la obra esta dimensionada para que circulen coches de la serie 2000 en vía doble. La sección del túnel es de 55,75 m^2 excavados. Las estaciones intermedias son de 90 mts. con doble vía central y andenes laterales, con una superficie de excavación de 170 m^2. La estación terminal que esta adosada a cocheras, dispone de andén central y laterales, y tiene en su conjunto (estación y cocheras) una longitud de 200 mts. por 50 mts. de ancho.

2.3. ACABADOS, MEJORA DE ACCESIBILIDAD Y SUPRAESTRUCTURA

Tanto para Línea 6 como para Línea 1, las estaciones, vestíbulos, cañones de acceso y comunicación han sido tratados homogéneamente para evitar la diversidad en la imagen final que percibe el usuario. Se ha establecido un módulo básico de revestimiento con el cual se ordena todo el conjunto, éste es para los parámetros verticales un panel de 1.25 mts. de ancho por 1,95 mts. de alto, de chapa de acero de 1,6 mm. de espesor, con un acabado esmaltado al horno que lo hace muy resistente al vandalismo. A continuación, a superior altura, se dispone otro revestimiento realizado con chapa ondulada de aluminio. Ambos tratamientos quedan separados por los conductos de cables que permiten el alojamiento de alumbrado y señalización.

Para la puesta en servicio de esta Ampliación, además de las obras de infraestructura a las que se ha hecho referencia, es preciso la instalación de todos los elementos de superestructura siguientes:

- Implantación de vía (por primera vez en una ampliación de línea se utiliza vía hormigonada en el Metro de Madrid).
- Electrificación y línea aérea.
- Equipamiento de cocheras.
- Señalización.
- Implantación de escaleras mecánicas
- Implantación de as-censores.
- Ventilación.
- Telefonía y radiotelefonía.
- Puestos de Control Local (PCL), torniquetes, máquinas billeteras, señalización al viajero, etc.

Hay que hacer una mención especial a la implantación de ascensores, porque es con está ampliación con la que se inicia un proceso para mejorar la accesibilidad a la red de Metro, para Personas con Movilidad Reducida (PMR), dotando a cuatro de las nueve estaciones nuevas de ascensores, así como a Ciudad Universitaria. La disposición de los ascensores, permite acceder desde la superficie al nivel de vestíbulo, antes de torniquetes, y una vez superados estos acceder a cada uno de los andenes.

TUNEL	TRAMO	LONGITUD
EN MINA:		
Método tradicional	*Portazgo - Miguel Hernandez	1380
	*Rampas acceso y cañones L-1	320
	*Laguna - Puerta del Angel	467
	*Cañones estaciones Lucero, Alto Extremadura y Puerta del Angel	300
	*P. Pío - Argüelles	776
	*Rampa Palacio de Liria	90
	*Rampa de Romero Robledo	102
	*Argüelles - Moncloa	650
	*Cañones estación Argüelles	100
	*Túneles Laguna	673
	TOTAL	**4858**
Método Precorte	*P. Pío - Argüelles	539
	TOTAL	**539**
Nuevo Método Austriaco	*Rampa P. Pío	137
	*Bajo Glorieta S. Vicente	140
	TOTAL	**277**
A CIELO ABIERTO:		
Entre pantallas como elementos auxiliares	*Túnel doble acceso a cocheras Laguna	548
Entre pantallas como parte de la estructura del túnel	*Línea 1 cañones y fondo de saco	380
	*Cruce del Río Manzanares entre P. Angel - P. Pío	660
	*Moncloa a Ciudad Universitaria	1097
	TOTAL	**2137**
	TOTAL GENERAL	**8359**

ESTACIONES Y COCHERAS	
EN MINA:	*Estación de Buenos Aires. Línea 1
	*Estación de Argüelles. Línea 6
A CIELO ABIERTO:	*Estación del Alto del Arenal. Línea 1
	*Estación de Miguel Hernandez y cocheras Línea 1
	*Estación Norte del Ramal Opera - Norte
	*Estación de Moncloa
	*Cocheras de Ciudad Universitaria
EN SUPERFICIE:	*Cocheras de Laguna

La mejora de accesibilidad que se está coordinando con el Consorcio Regional de Transportes, Metro de Madrid y la propia Comunidad, supone el inicio de un proceso que afectará al conjunto de la red de Metro, para adaptarla a la nueva legislación recientemente aprobada por la CAM.

2.4. MÉTODOS UTILIZADOS EN LA EJECUCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DE METRO

En los nueve kms. de ampliación de red de Metro que se están construyendo, todos ellos subterráneos, con sus estaciones, cocheras, etc, se han empleado diferentes métodos de ejecución en función de las circunstancias concretas de cada zona atravesada. Hay dos tipos generales de obras, las del túnel de Línea, que se caracteriza por ser una obra lineal de gran longitud y sección constante, y las estaciones y cocheras, que por las dimensiones de cada una de ellas y sus características, las hacen ser obras singulares. Se han agrupado las obras en estos dos grandes apartados y cada uno de ellos en "ejecución en mina " y "a cielo abierto", independientemente de las dimensiones concretas de cada uno de los túneles (para los coches 2000 ó 5000) y de cada estación y cochera.

Los métodos generales utilizados en túnel de Línea y en estaciones han sido:

Túnel de Línea:

En mina:
- . Método tradicional de Madrid
- . Nuevo método austriaco modificado para el terreno de Madrid
- . Precorte del terreno

A cielo abierto:
- . Entre pantallas como elementos auxiliares
- . Entre pantallas, utilizando como parte de la estructura del túnel

Estaciones y cocheras:

- . En mina
- . A cielo abierto
- . En superficie

Tanto para las obras de túnel como para las de estaciones y cocheras, se han usado con mayor ó menor intensidad, dependiendo de los problemas a resolver, diferentes sistemas de tratamiento del terreno, para modificar sus características y permitir su excavación.

Con estos tratamientos se varían la cohesión, permeabilidad, coeficiente rozamiento, etc, del terreno de tal manera que es posible la realización de la obra proyectada.

Los métodos utilizados han sido fundamentalmente dos:

- Inyección química
- Jet grouting

En el cuadro de la página anterior, se han marcado los sistemas empleados en cada parte de la obra .

Tratamientos sistemáticos únicamente han sido necesarios en el tramo bajo la Glorieta de San Vicente, de 140 mts. de longitud. Se ha preparado el terreno mediante jet grouting vertical desde superficie en los hastiales, para aislar la traza del túnel ya que está por debajo del nivel freático y se han creado recintos estancos, (tres), y posteriormente desde el propio túnel se ha protegido la sección con una corona de columnas horizontales para, al amparo de las mismas, excavar la semisección de la bóveda. En el resto de la obra se han hecho tratamientos puntuales de inyección mediante gel de sílice, inyección de mortero y columnas de jet grouting, para salvar puntos singulares en que las condiciones del terreno no permitían su excavación.

En cuanto a las obras a cielo abierto, las pantallas realizadas, dependiendo del tipo de terreno han requerido el empleo de lodos bentoníticos para estabilizar la excavación en aproximadamente un cincuenta por ciento, siendo el espesor de estas pantallas variable entre 0,60 y 1,20 mts.

Por último la única obra que se realiza en superficie son las cocheras de Laguna, que como característica principal tiene su estructura de cubierta que es tubular tridimensional con nudos materializados en esferas donde articulan las barras que la forman, con luces de hasta cuarenta metros.

2.5. DIMENSIONES Y PRESUPUESTOS

Dado que lo que se pretende es describir los métodos constructivos empleados, no se entra a detallar cada una de las obras en particular, pero para dar una idea de la dimensión que tiene la Ampliación de Metro que se esta realizando, las cifras globales cuantitativas de las diferentes unidades de obra son las siguientes:

-.Longitud de túnel de Línea 5.094,-
-.Longitud de túneles de menor sección (rampas, cañones,etc)..... 3.265,-
-.Número de estaciones..... ...10,-
-.m^3 de excavación 1.650.000,-
-.m^3 de hormigón 350.000,-
-.m^2 de pantalla 260.000,-
-.m^2 de losa de forjado 120.000,-
-.Kg. de acero en armadura 19.000.000,-
-.Kg. de acero en estructura 450.000,-
-.Presupuesto en Millones de Pts.....25.000,-
-.Grado de ejecución % 80,-

3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Se describen en este capítulo los sistemas constructivos empleados en la ampliación del Metro, en el periodo 1.990-1.993, habiéndolos agrupado de forma genérica, ya que de lo contrario se tendría que analizar de forma pormenorizada, cada una de las obras y dentro de éstas, cada uno de los frentes de trabajo con las circunstancias que han concurrido en su desarrollo. Quizá este esfuerzo de síntesis sólo consigue simplificar y minimizar un proceso, que aquellos que lo han vivido día a día, conocen como complejo, lleno de matices, y muy riguroso en su ejecución. No es esa la intención, si no muy al contrario, se trata de dar a conocer unas experiencias vividas, que permitan en lo sucesivo, contar con ellas durante el proceso de proyecto y ejecución de este tipo de obras subterráneas.

Como se ha dicho antes se han agrupado en sistemas para ejecutar el túnel, independientemente de su sección, ya que se han realizado y se están realizando secciones comprendidas entre los 40 m^2 y los 80 m^2 con métodos similares, y sistemas para ejecutar cavernas de estaciones o recintos de gran dimensión como las cocheras, ó no tan grandes, como los vestíbulos ó las subestaciones, que por su escaso recubrimiento es preciso hacerlos a cielo abierto.

3.1. TÚNEL DE LINEA

Se han utilizado dos sistemas generales, el que se ha denominado " EJECUCION EN MINA", como obra subterránea, sin afectar a la superficie y muy condicionada por lo existente por encima y el " EJECUCION A CIELO ABIERTO", que como su nombre indica requiere abrir el terreno desde superficie, para alojar en su interior lo que luego será el túnel y posteriormente restituirle a su estado original. Está claro que como las líneas están a profundidades limitadas, (una de las constantes de la Ampliación de Metro que se está realizando, es que la pronfundidad de las estaciones sea la menor posible para mejorar la funcionalidad y las condiciones de uso, es decir las profundidades de las que hablamos están en el entorno de los 20 a 25 mts desde la cota de carriles a superficie), la opción a cielo abierto económicamente es competitiva y únicamente los condicionantes de superficie, viario, servicios, proximidad de edificios, etc, y plazos, determinan el sistema elegido.

De cualquier manera no se trata de justificar los sistemas, si no de describir los que se están utilizando.

3.1.1. EJECUCIÓN EN MINA

En toda esta familia de sistemas de ejecución, uno de los problemas que hay que resolver previamente a su inicio, es el acceso al frente, ya que el túnel se encuentra a una profundidad determinada y habitualmente se parte de la superficie del terreno. Por tanto requieren realizar unas rampas de ataque o acceder desde pozos verticales, con el incremento de coste y tiempo que estos trabajos previos conllevan .

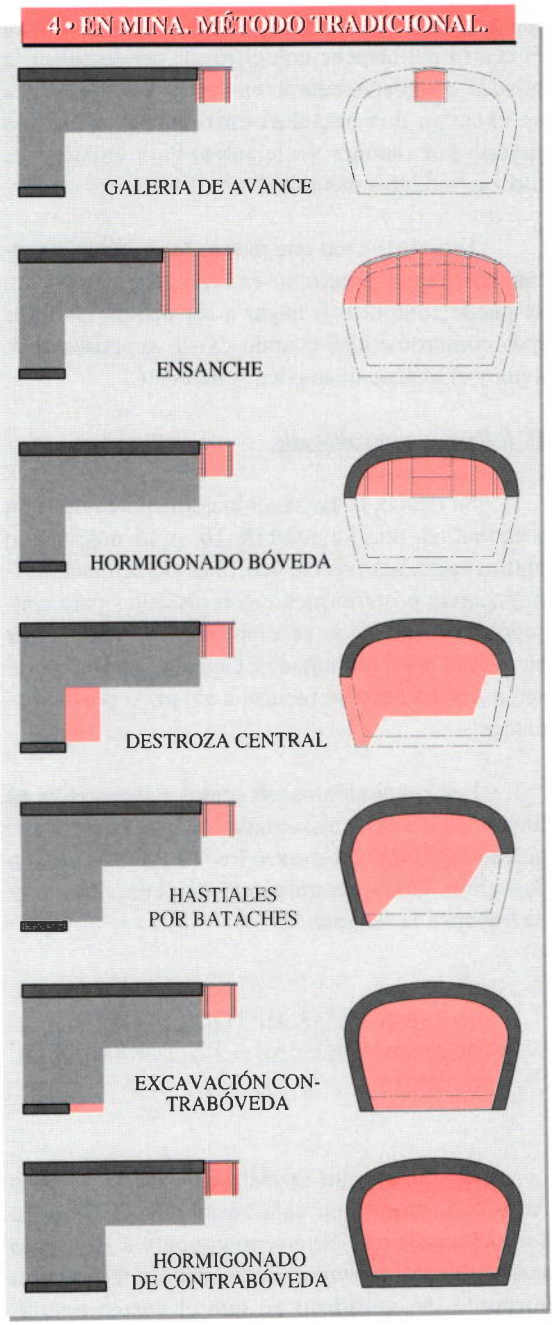
Otra parte común a los sistemas es la posibilidad de realizarlos a sección completa ó a media sección.

Vamos a describir cada uno de los sistemas empleados tal y como se realizan.

3.1.1.1. MÉTODO TRADICIONAL

Es el que se ha venido utilizando para la construcción del Metro de Madrid desde sus inicios en los años 20. Consta de varias fases que se van realizando sucesivamente, construyendo primeramente la media sección superior y posteriormente el resto. Las fases son:

•**A**.Bóveda •**B**.Destroza Central • **C**.Hastiales laterales • **D**.Solera ó Contrabóveda



A. Bóveda

Se inicia la excavación con una mina de avance de apenas un metro de anchura, en el eje del túnel y en la clave de la sección, con entibación continúa de tabla de eucalipto de 1,50 mts. de largo por 0,25 mts. de ancho y 0,025 mts. de espesor. Las tablas se van colocando a medida que avanza la excavación apoyadas en el propio terreno forrando la parte superior de la mina, lo que supone una alteración mínima del terreno. Una vez concluida la mina en toda su longitud, que es la longitud del "avance", entre 2 mts. y 2,5 mts. según el terreno, se colocan las "longarinas", que son los perfiles metálicos TH que servirán de apoyo a las tablas, se disponen longitudinalmente al túnel y separados un metro.

Entre las tablas y la longarina se coloca una tabla corrida haciendo de falso apoyo y separando estas con calas para dejar espacio suficiente a las tablas de los "pases laterales" siguientes. Esta tabla corrida se denomina "Falso".

Las longarinas tienen de 3 mts. a 3,50 mts. de longitud en función de la longitud del avance y se apoyan en pies derechos de rollizo de álamo negro en sus extremos y en el centro, de 1,50 mts. de altura inicialmente (enanos) y 2,50 mts. una vez terminada la mina. Entre las dos longarinas se ponen estampidores"trensillones" de madera.

Una vez finalizada la mina de avance, se comienza a abrir la excavación a ambos lados de esta en "pases", numerándose estos con primeros, segundos, etc.., según se van alejando de la mina de avance. La ejecución de los pases se realiza de forma análoga, pasando las tablas de entibación a través del "falso" y acuñadas contra la longarina ya colocada. En el otro extremo las tablas apoyan en el terreno hasta que se finaliza la excavación del pase y se coloca la longarina siguiente con su falso, que permitirá pasar a su vez las tablas del segundo pase y así sucesivamente.

De esta forma se configura una partición de la sección, en secciones de unos 3 m^2 con un sostenimiento unido transversalmente.

El túnel de vía doble para metro se suele realizar con cuatro pases a cada lado y, si el terreno es excepcionalmente bueno, se reducen a tres a costa de separar algo más las longarinas. Con el

fin de que los pies derechos no se claven en el terreno debido a la carga que les trasmite, se suele colocar una ó varias calas de tablón como apoyo. Así mismo en cabeza se les zuncha una pieza de perfil TH para garantizar el apoyo de la longarina.

Inmediatamente después de ejecutada la excavación se procede al encofrado y hormigonado de la sección de bóveda, con lo que se impide la deformación del terreno, otorgando al sostenimiento la labor de contener la deformación instantánea del mismo. La entibación continua permite soportar las cargas que transmiten terrenos sueltos con potencia, de hasta 1,5 mts. impidiendo la deformación gradual de los suelos más estables que pudieran existir sobre ellos.

El método aporta una gran versatilidad, ya que se pueden modificar los parámetros básicos:

-Ancho del pase
-Longitud de avance
-Densidad de la entibación y del apuntalamiento

En las obras de Ampliación, se han utilizado longitudes de pase desde 1 mts. a 2,5 mts. según el terreno atravesado y anchos de pase de 1 mts. a 1,5 mts. La entibación ha sido cuajada de forma sistemática salvo raras excepciones.

La excavación se realiza con martillos neumáticos y la evacuación mediante cintas transportadoras hasta tolva y camión.

B. Destroza central

Una vez hormigonada la bóveda y con un desfase de unos 5 o 6 anillos, se comienza la destroza, consistente en excavar una caja central dejando un resguardo del orden de 1 a 1,5 m. en los hastiales, para que los empujes que la bóveda transmita al terreno que sirve de apoyo, no formen planos de rotura peligrosos, que pudieran dar a origen el asentameinto y rotura de la misma. Esta operación se realiza con máquina excavadora y, además, en ella se retiran las tierras procedentes de la excavación de la bóveda que vierten en la destroza a través de una o varias cintas transportadoras. Las máquinas empleadas normalmente son del tipo Cartepillar 955 o Poclain LC-80 con excavador frontal.

C. Hastiales laterales

Finalizada la destroza, se ejecutarán los hastiales por bataches al tresbolillo.

Su excavación se realiza con la misma máquina que la destroza y se refina posteriormente a mano. La entibación suele ser ligera y poco cuajada.

Se excavan módulos de 2,5 m., al igual que los anillos, con las dos precauciones siguientes: la junta de los anillos debe caer aproximadamente en el centro del batache con el fin de no descalzar la bóveda completamente y, en segundo lugar, nunca se excavan dos bataches enfrentados al mismo tiempo por razones semejantes. Para encofrar se utilizan módulos metálicos.

Esta operación que parece tener poca importancia, cuando el terreno es relativamente bueno, se puede complicar y llegar a ser una de las fases más comprometidas cuando existe abundancia de agua y el terreno tiene poca coherencia.

D. Solera o contrabóveda

Se realiza la excavación correspondiente con máquina, en una longitud de 10 a 15 mts. (cinco anillos) para aprovechar los fines de semana, hormigonando posteriormente con plantillas para conseguir la forma de la sección tipo. Se puede hacer en toda la luz ó por mitades. Cuando el terreno presenta mucha agua se recurre a zanjas ó pozos drenantes.

Los rendimientos obtenidos han variado en función del terreno atravesado, pero se están consiguiendo rendimientos entre los 40 y 60 m/mes en dos y tres turnos de trabajo al día, con cinco días de trabajo a la semana.

3.1.1.2. NUEVO MÉTODO AUSTRIACO MODIFICADO PARA EL TERRENO DE MADRID.

Realmente no se trata del Nuevo Método Austriaco, ya que no está basado en la filosofía del mismo, de que el terreno coopera a su propio sostenimiento, permitiendo su deformación hasta un punto de equilibrio en que el sostenimiento

controla dicha deformación, anclando éste al propio terreno. Le llamamos así porque se utilizan los elementos de sostenimiento que se usan en el Método Austriaco, pero aquí termina toda su relación con dicho procedimiento.

El túnel se realiza en dos fases de avance y destroza.

A. Avance

La ejecución del frente de avance, cuya sección comprende la totalidad de la bóveda mas aproximadamente un metro de altura de hastiales, se excava mediante equipos mecánicos, retroexcavadores, rozadora ó pala cargadora, según las características del terreno, en una longitud de avance variable entre uno y dos metros, e inmediatamente se coloca un sostenimiento primario constituido por cerchas de acero, de perfil omega (cerchas TH) separadas entre 0,5 y un metro, previamente curvadas con la sección de la bóveda del túnel, se unen con trensillones metálicos separados un metro, de redondo de acero de 32 mm. de sección, mediante soldadura, y una capa continúa de hormigón proyectado de entre 15 y 20 cms. de espesor, con fibras metálicas en una cuantía de alrededor de 40 Kg./m^3.

La instalación de este sostenimiento primario se lleva con un desfase máximo de dos metros respecto a la excavación, que en los casos que ha sido necesario ha sido previamente sellada y regularizada mediante una capa de tres cms. de espesor de hormigón proyectado.

Posteriormente se hormigona la bóveda con el revestimiento definitivo, con un desfase entre sostenimiento y revestimiento de 18 mts. para permitir hacer otros trabajos de mejora y consolidación del terreno. Todo el proceso requiere una medición sistemática de la deformación del sostenimiento para tomar las medidas correctoras que fueran necesarias.

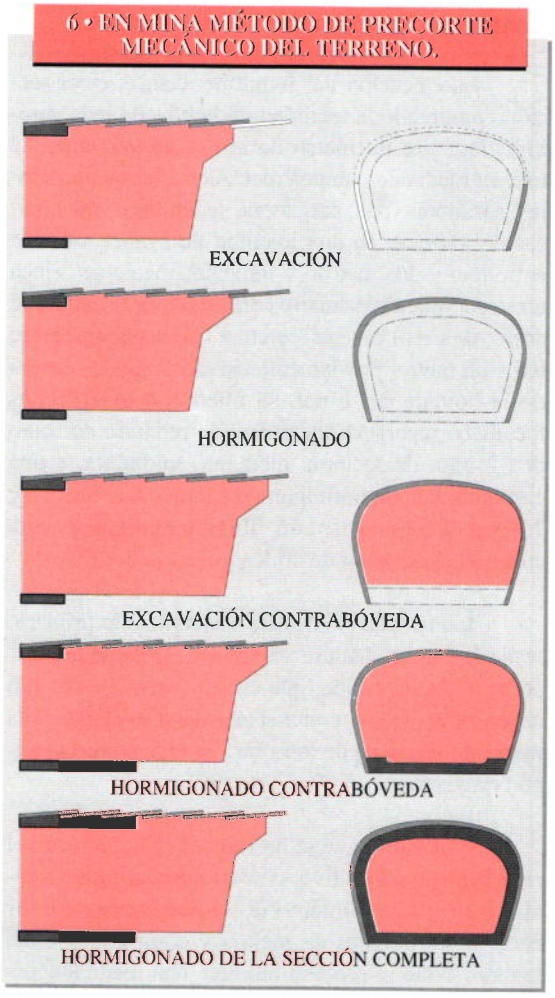
B. Destroza

Se ejecuta de forma similar al método tradicional continuando con los hastiales y contrabóveda de la misma manera.

3.1.1.3. MÉTODO DE PRECORTE MECÁNICO DEL TERRENO

Este método se ha utilizado a sección completa y se trata de un sistema patentado que se realiza en las siguientes fases:

A. Formación del Sostenimiento
B. Excavación de la Sección interior
C. Formación de muretes laterales y contrabóveda
D. Revestimiento definitivo



A. Formación del Sostenimiento

Para la ejecución de este sistema es necesario disponer del equipo de precorte del terreno, consistente básicamente en un gran bastidor muy robusto que tiene la forma de la sección del túnel a excavar, que está dotado de un equipo de traslación longitudinal autónomo mediante gatos hidráulicos. Sobre el bastidor se desplaza un equipo de corte de cadena, que produce en el terreno una ranura perimetral en la sección a excavar de 18 a 25 cms. de espesor. La longitud del precorte está condicionado por la dimensión del equipo de corte y en este caso es de 3,50 mts.

La ranura perimetral se hace por bataches sucesivos a un lado y otro de la sección de tres metros y rellenándose inmediatamente con hormigón proyectado de alta resistencia inicial, hasta completar el perímetro de la sección.

La forma de este anillo perimetral es troncocónico, para permitir el paso de la sección del túnel

B. Excavación de la sección interior

Una vez completada la sección del sostenimiento se excava el núcleo de tierras que queden en el interior, dejando un machón central para estabilizar el frente, habiéndose dispuesto en alguna ocasión anclajes de fibra de vidrio para mejorar dicha estabilidad.

Terminada la fase de excavación se ejecuta un nuevo anillo concéntrico con el anterior. Los avances son de 3 a 3,5 mts. con un solape de 0,50 a 1,00 mts. entre anillos lo que da un avance de 2,75 mts.

Normalmente se refuerzan los anillos con una o varias cerchas metálicas y se acodala la base con vigas metálicas ó riostras de hormigón que quedan embebidas en la contrabóveda definitiva.

C. Formación de muretes laterales y contrabóveda

A la menor distancia del frente, compatible con las operaciones del sostenimiento y excavación, alrededor de unos cuarenta metros se ejecutan los muretes laterales que empotran las bases de los anillos, sobre los que discurren luego el carro del encofrado y se excava y hormigona la contrabóveda que cierra la sección, en tramos de cinco metros de longitud.

D. Revestimiento Definitivo

Finalmente mediante un encofrado convencional con la forma de sección total de la bóveda del túnel se hormigona el revestimiento definitivo por tramos que en este caso han sido de cinco metros.

La separación entre las fases se puede acortar en caso que sea necesario por problemas derivados de la estabilidad del terreno. Todo el proceso requiere una medición de la deformación del sostenimiento para tomar medidas correctoras si fueran necesarias.

3.1.2. EJECUCIÓN A CIELO ABIERTO

La ejecución a cielo abierto requiere una condición previa, y es que se pueda ocupar temporalmente el terreno bajo el que discurrirá el túnel, si está condición se cumple y no existe ningún condicionante de servicios, obras subterráneas intermedias o cualquier otro impedimento, la elección del método a cielo abierto o en mina, solo estará determinado por la profundidad, rendimientos, plazos y costos de una u otra solución.

Pero ya se ha dicho anteriormente que no se trata de enfrentar unos sistemas con otros si no de describir los que se vienen empleando.

Se han diferenciado dos métodos de ejecución a cielo abierto entre pantallas en función de si se usan como parte de la estructura definitiva del túnel o no.

3.1.2.1. ENTRE PANTALLAS COMO ELEMENTOS AUXILIARES

El proceso consta de varias fases que son:

A. Construcción de muros pantallas
B. Excavación entre pantallas
C. Construcción de la sección del Túnel
D. Relleno y restitución de la superficie

A. Construcción de muros pantallas

Se trata de una operación convencional de construcción de pantallas, con las operaciones previas de murete guia para excavación de las pantallas, excavación, colocación de armadura y hormigonado. Las pantallas son de 0,60 m a 1,00 m. de espesor y las profundidades han variado entre los 10 y 30 mts.

B. Excavación entre pantallas

Se excava el terreno hasta el nivel de arriostramiento correspondiente, disponiendo codales provisionales a dicha altura, se prosigue la excavación hasta llegar al nivel de contrabóveda, hormigonando la solera de la misma.

C. Construcción de la sección del túnel

Apoyándose en la contrabóveda y mediante un equipo de encofrado convencional se hormigona la sección completa del túnel previa la colocación de la correspondiente armadura.

Los modulos de encofrado son de cinco metros de longitud, y su desencofrado condiciona el rendimiento en este método, suele ser de una puesta cada dos días.

D. Relleno y restitución de la superficie

Una vez construida la sección y colocada la impermeabilización si es necesaria sobre la bóveda del túnel, se procede al relleno sobre la misma, recuperando los codales de arriostramiento provisionales colocados en la segunda fase. Posteriormente se sustituye la superficie a su estado natural. En algunos casos es necesario demoler parte de las pantallas como condición para la restitución del terreno.

Este sistema también se ha empleado en túneles a cielo abierto, ya que las pantallas son elementos auxiliares para poder llegar al fondo de la excavación y no tiene ninguna función estructural con respecto al túnel.

3.1.2.2. ENTRE PANTALLAS, UTILIZANDOLAS COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA DEL TÚNEL

El proceso es similar al anterior en las dos primeras fases, no así en el resto, es evidentemente algo menos costosa, pero garantiza peor la estanqueidad del túnel.Las fases son:

A. Construcción de muros pantalla
B. Excavación entre pantallas
C. Construcción de la bóveda y relleno
D. Excavación bajo cubierta y realización de contrabóveda

A. Construccion de muros pantalla

Es exactamente igual que en el sistema anterior.

B. Excavación entre pantallas

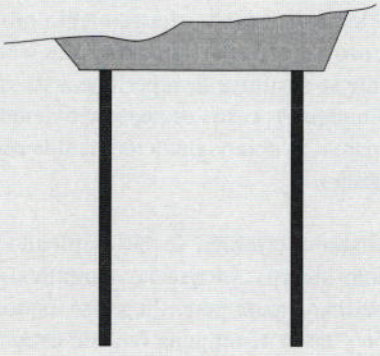
Es igual que en el sistema anterior pero llegando hasta el nivel de la bóveda.

7 · EJECUCIÓN A CIELO ABIERTO ENTRE PANTALLAS COMO ELEMENTOS AUXILIARES.

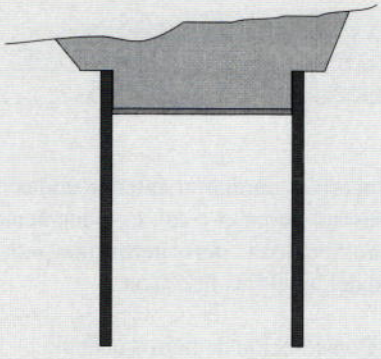
TERRENO NATURAL

PLATAFORMA DE TRABAJO

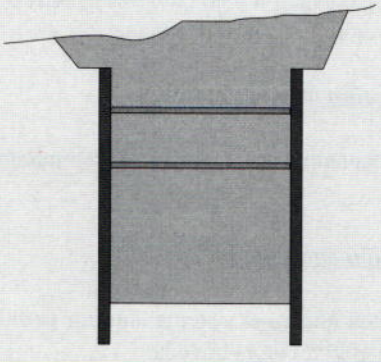
EJECUCIÓN PANTALLAS



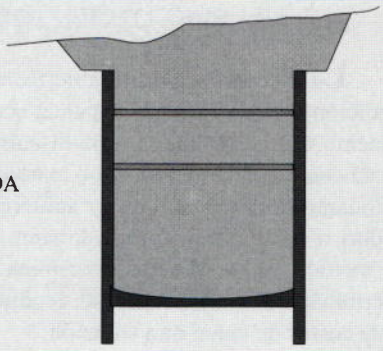
EXCAVACIÓN Y COLOCACIÓN
DE ESTAMPIDORES



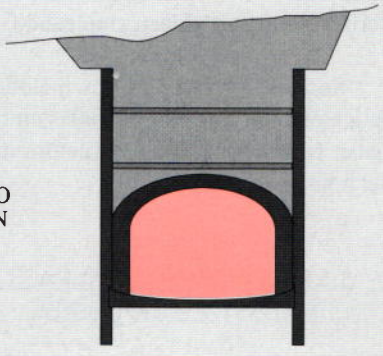
EXCAVACIÓN ENTRE PANTALLAS



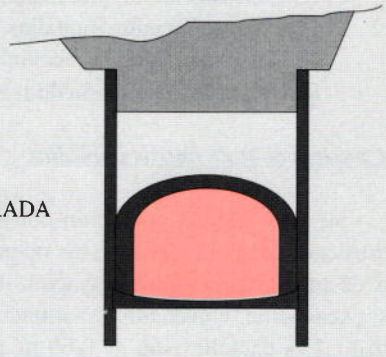
CONTRABÓVEDA



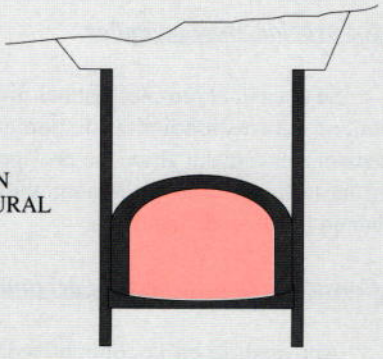
HORMIGONADO
DE LA SECCIÓN



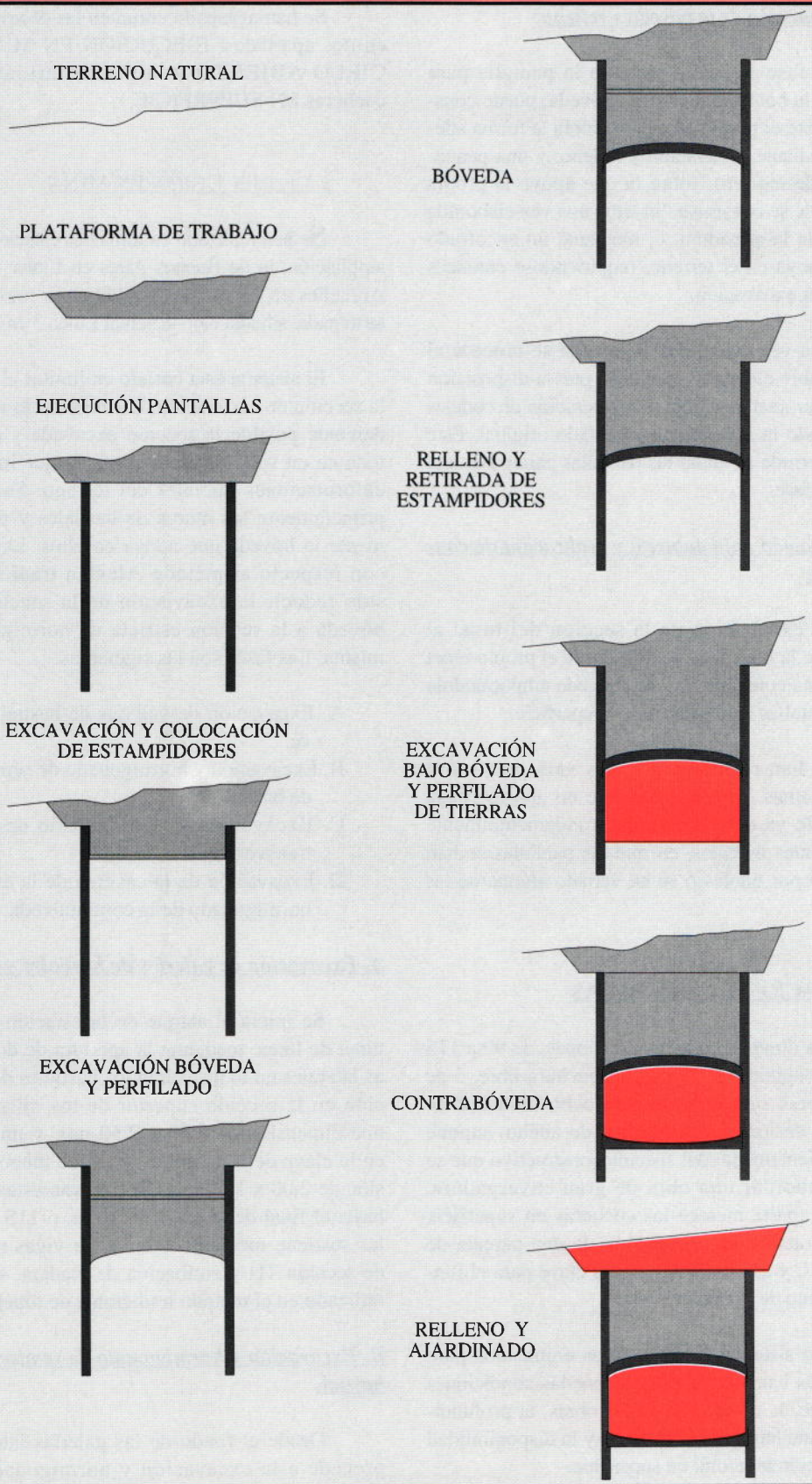
RELLENO Y RETIRADA
DE CODALES



RELLENO
Y RESTITUCIÓN
DE TERRENO NATURAL



3 · EJECUCIÓN A CIELO ABIERTO, ENTRE PANTALLAS UTILIZÁNDOLAS COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA DEL TÚNEL.



C. Construcción de la bóveda y relleno

La fase se inicia picando la pantalla para empotrar la bóveda en ella. La bóveda, puede construirse sobre el propio terreno dándola la forma adecuada mediante excavación y relleno, y una pequeña capa de mortero, sobre la que apoya la propia bóveda que se construye "in situ" una vez elaborada y colocada la armadura, ó, mediante un encofrado que se apoya en el terreno, requiriéndose entonces una mayor excavación.

Una vez construida la bóveda se procede al relleno sobre ella entre pantallas, previa disposición de la impermeabilización, y recuperación de codales restituyendo la superficie a su estado original. Este relleno permite acodalar las pantallas para pasar a la siguiente fase.

D. Excavación bajo cubierta y realización de contrabóveda

La excavación de la sección del túnel al amparo de la bóveda se realiza desde el propio túnel y sólo resta construir la contrabóveda empotrándola en las pantallas realizadas desde superficie.

Se han realizado algunas variantes sobre estos sistemas, pero básicamente no aportan nada nuevo a lo ya descrito, ya que fundamentalmente son variantes de estos, en que las pantallas se han sustituido por pilotes ó se ha variado alguna de las fases.

3.2. ESTACIONES Y COCHERAS

La dimensión de las estaciones, de 90 a 115 mts. de longitud por 15 mts. de anchura libre, ó de las cocheras subterráneas para ocho unidades de 200 mts. de longitud y 50 mts. de ancho, supone independientemente del sistema constructivo que se utilice, abordar una obra de gran envergadura. Capítulo aparte merece las cocheras en superficie pues se trata de una ocupación de una parcela de 40.000 m^2, y es una de las piezas clave para el funcionamiento de la línea circular.

Los sistemas constructivos empleados para estas obras han sido impuestos por las condiciones del terreno, la dimensión de las obras, la profundidad a la que hay que construirlas y la disponibilidad de ocupación temporal en superficie.

Se han agrupado como en las obras de túnel en dos apartados, EJECUCIÓN EN MINA Y A CIELO ABIERTO y la particularidad de las cocheras EN SUPERFICIE.

3.2.1. EJECUCIÓN EN MINA

Se han realizado en mina dos estaciones de la ampliación, la de Buenos Aires en Línea 1 y la de Argüelles en Línea 6, esta última sin estar todavía terminada, situada bajo la actual Línea 3 en servicio.

El sistema esta basado en limitar al máximo la sección de excavación, hormigonar lo más rápidamente posible la sección excavada y apoyarlo todo en un sostenimiento continuo que impida las deformaciones iniciales del terreno. Se realizan primeramente los muros de hastiales y posteriormente la bóveda que apoya en ellos. La variante con respecto al método Alemán tradicional ha sido reducir la excavación de la sección de la bóveda a la sección estricta de hormigón de la misma. Las fases son las siguientes:

A. Excavación de galerías de hastiales y clave.
B. Excavación y hormigonado de semisección de hastiales.
C. Excavación y hormigonado de galerías transversales de bóveda.
D. Excavación de la caverna de la estación y hormigonado de la contrabóveda.

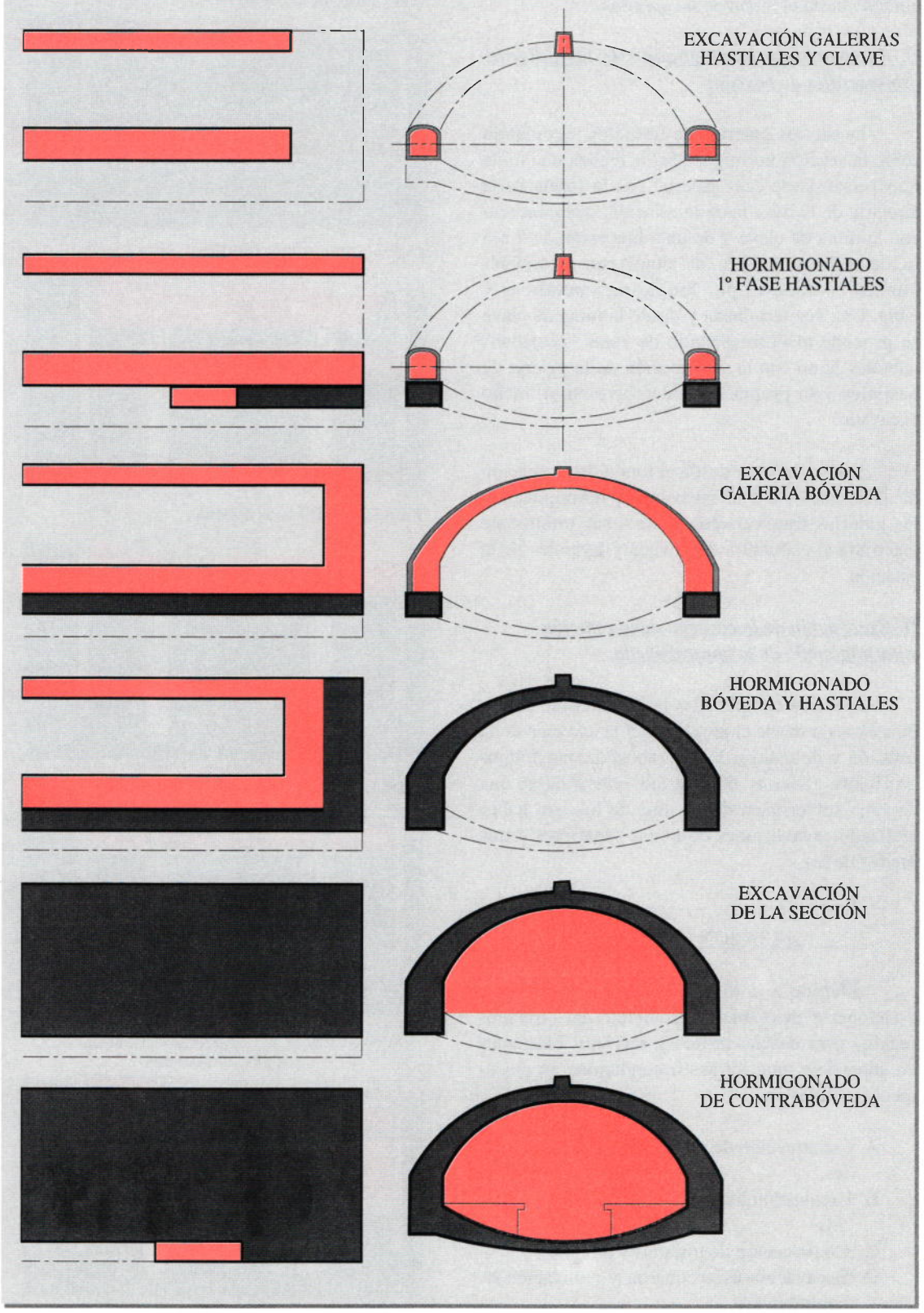
A. Excavación de galerías de hastiales y clave.

Se inicia el ataque de la estación desde el túnel de línea, mediante la apertura de dos galerías laterales en lo que serán los hastiales de la estación en la sección superior de los mismos, con una dimensión de 2,50 x 2,50 mts. y una galeria en la clave de la futura estación de menor dimensión de 2,00 x 1,50 mts. Se excavan estas galerías hasta el final de la estación 90 m. ó 115 mts y se las sostiene mediante cerchas de vigas metálicas de sección TH y entibación de madera, similar al utilizado en el método tradicional de túneles.

B. Excavación y hormigonado de semisección de hastial.

Desde el fondo de las galerías laterales se procede a la excavación y hormigonado de la

9 · EJECUCIÓN EN MINA DE ESTACIÓN.



semisección del hastial, mediante pozos de 2, 50 mts. de profundidad y 5 mts. de longitud, prosiguiendo hasta el inicio de las galerías.

C. Excavación y hormigonado de las galerías transversales de bóveda.

Desde las galerías de hastiales, circulando sobre la sección hormigonada, se realiza una mina transversal desde cada galeria, con la forma de la directriz de la bóveda de la estación, que conectan con la mina de clave y de una dimensión de 2 a 3 m. de ancho y 1.50 m. de altura, con un sostenimiento compuesto por longarinas metálicas y tabla. Una vez terminada y desde la mina de clave se procede al hormigonado de estas "costillas" laterales junto con la semisección de la galería de hastiales y la propia mina de clave en el ancho excavado.

Sucesivamente desde el fondo de la estación hacia su inicio, se van excavando y hormigonando las galerías transversales hasta tener totalmente enterrada al estructura de bóveda y hastiales de la estación.

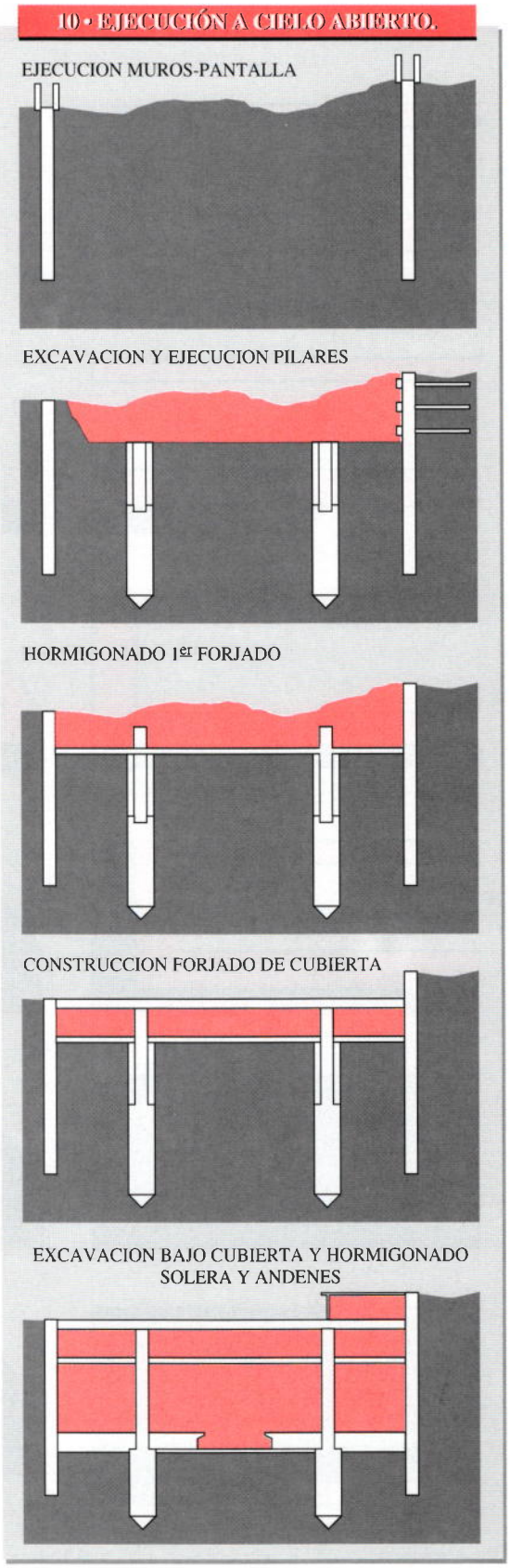
D. Excavación de la caverna de la estación y hormigonado de la contrabóveda.

Una vez completadas las costillas se procede a excavar desde el propio túnel la caverna de la estación y ha realizar la contrabóveda, por tramos de 10 mts. a 20 mts. de longitud, obteniéndose una caverna subterránea de 19 mts. de luz, sin haber realizado excavaciones de minas superiores a tres metros de luz.

3.2.2. EJECUCIÓN A CIELO ABIERTO

Debido a la dimensión de las cocheras y estaciones a cielo abierto, requieren unos trabajos previos para desviar tráfico y servicios existentes en superficie, que retrasa ó condiciona su ejecución. Las fases son:

A. Construcción de muros pantallas perimetrales.
B. Excavación hasta nivel de anclajes o forjados.
C. Construcción de forjados y pilares.
D. Excavación bajo cubierta y realización de contrabóveda.



A. Construcción de muros pantalla perimetrales.

Se excavan y hormigonan los muros pantalla perimetrales, cuya dimensión ha variado desde 0,80 a 1,20 mts. de espesor con profundidades entre los 25 y 35 mts.

Para la ejecución de algunas de estas pantallas se han empleado por primera vez en Madrid, hidrofresas con resultados satisfactorios, concretamente en la estación de Alto del Arenal y en las cocheras de Ciudad Universitaria.

B. Excavación hasta nivel de anclajes o forjados.

Una vez ejecutada la viga de atado en cabeza de las pantallas, se procede al vaciado hasta un nivel intermedio, normalmente el vestíbulo.

C. Construcción de forjados y pilares.

Desde este nivel se construyen los pilotes y los pilares que sustentarán los forjados intermedios y la cubierta, que a su vez cumplen la misión de arriostrar las pantallas. Si es necesario desde este nivel intermedio se ejecutan las líneas de anclaje para las pantallas.

D. Excavación bajo cubierta y realización de contrabóveda.

Una vez construido el forjado intermedio, se procede al vaciado bajo el mismo, bien desde el túnel de Línea ó desde las rampas que se precisen, y se ejecuta la losa inferior que constituye la base de la estación y sirve también de arriostramiento.

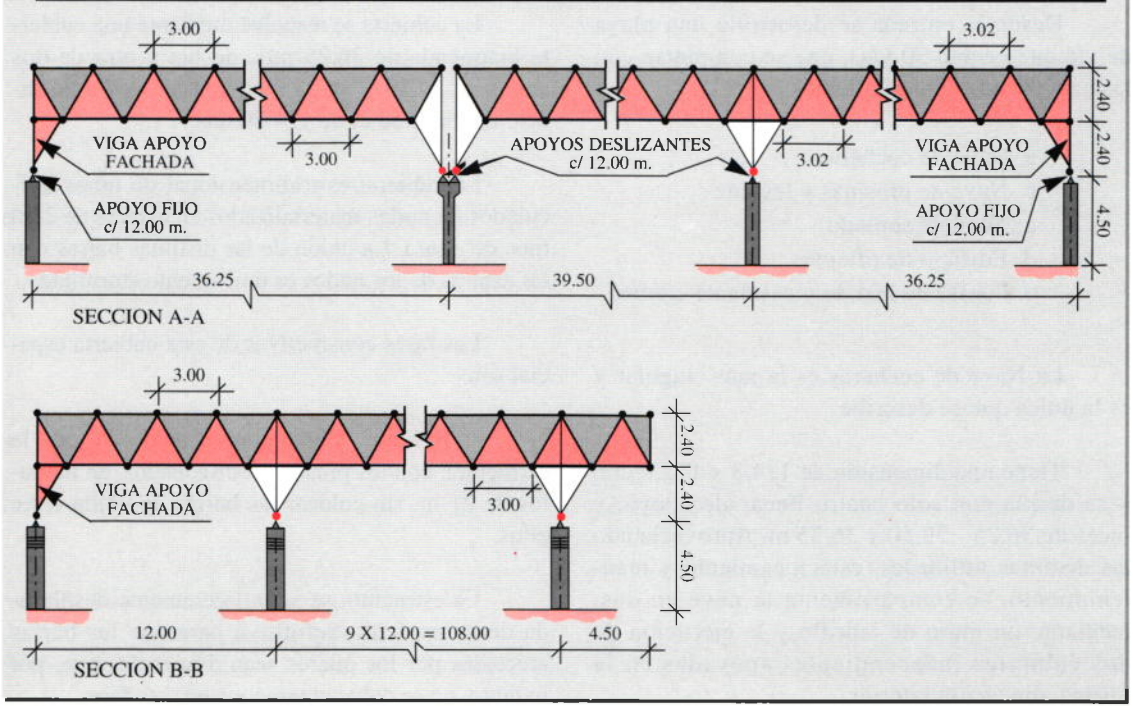
Cada estación ó cochera en particular ha requerido una adecuación expresa del procedimiento, para resolver los problemas que se han presentado para su ejecución.

3.2.3. EJECUCIÓN EN SUPERFICIE

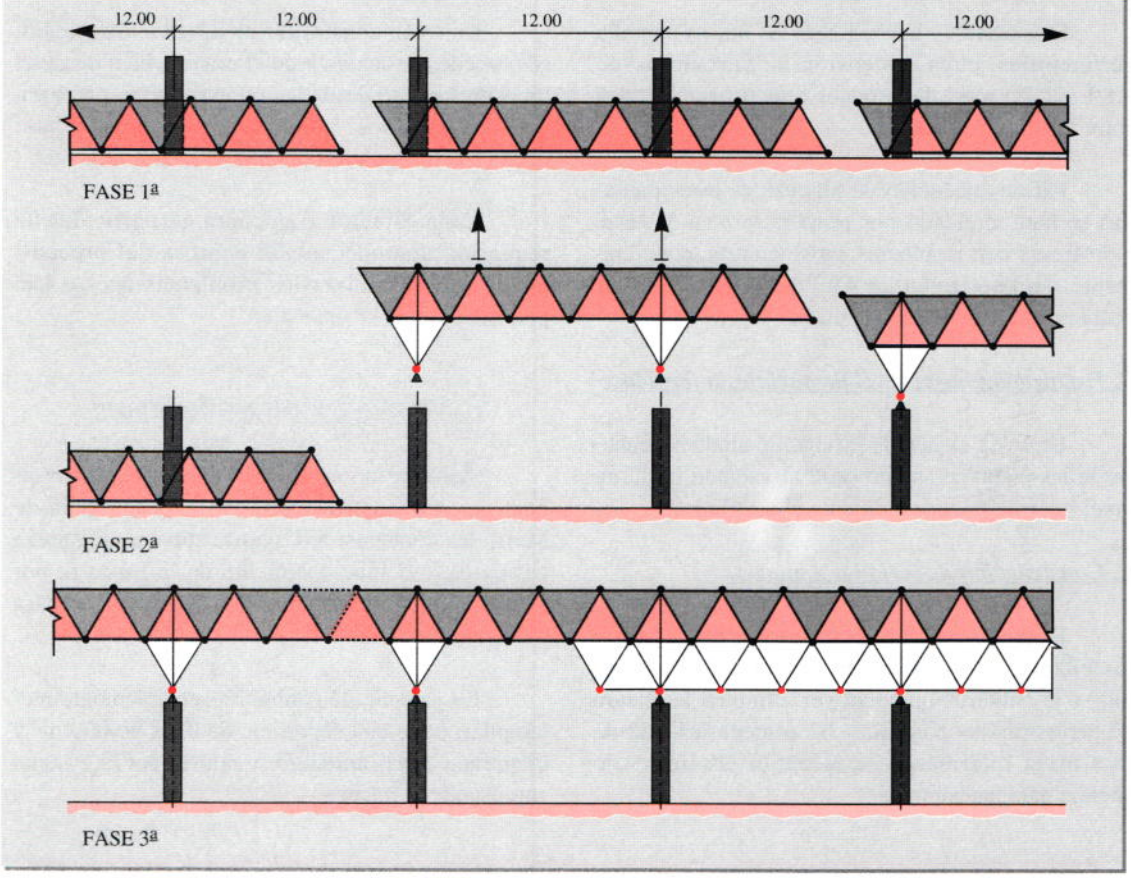
Aunque no se trata de una obra subterránea, se está construyendo con la Ampliación de Metro las cocheras de Laguna, que son una pieza básica para el funcionamiento de la Línea 6, por lo que aunque de una forma esquemática se pasa a describir.

La parcela, de geometría sensiblemente rectangular, tiene una superficie de unos 40.000 m² y la entrada de las unidades se realiza por la esquina suroeste de la misma.

11 • COCHERAS DE LAGUNA CUBIERTA NAVE DE COCHERAS.



12 • COCHERAS DE LAGUNA
CUBIERTA NAVE DE COCHERAS. FASES DE CONSTRUCCIÓN.



Desde la entrada se desarrolla una playa de vía que genera 30 vías, que se completan con las naves y edificios siguientes:

a. Nave de cocheras
b. Nave de dresinas y levante
c. Nave de soplado
d. Edificio de oficinas
e. Puesto de mando y caseta de control

La Nave de cocheras es la más singular y es la única que se describe

Tiene una dimensión de 124,8 x 112,0 cm. y se diseña con solo cuatro líneas de apoyo, y luces de 36,25 - 39,50 y 36,25 m. Aprovechando las distintas utilidades, estacionamiento y mantenimiento, se compartimenta la nave en dos, mediante un muro de ladrillo y la ejecución de dos cubiertas independientes apoyadas en la misma alineación interior.

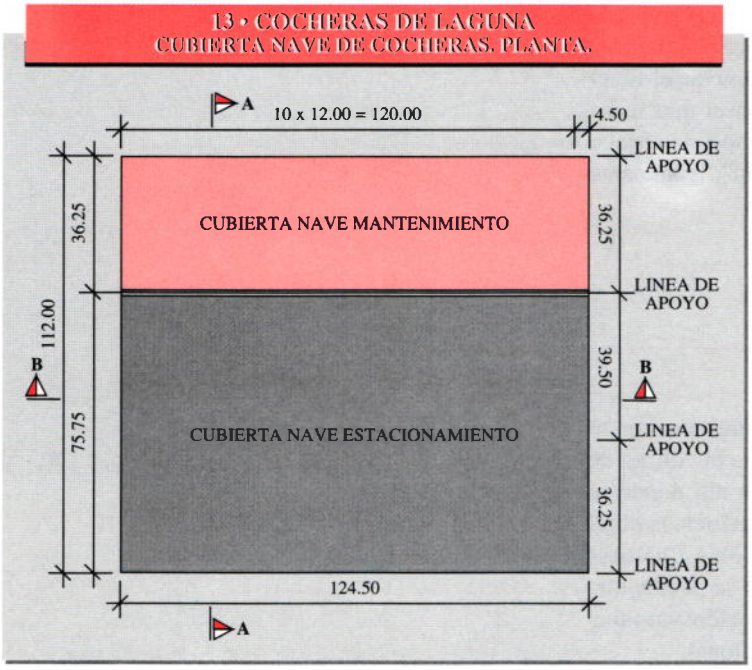
La cubierta se resuelve mediante una cubierta biapoyada de 36,25 mts. de luz y otra de dos vanos de 39,50 y 36,25 mts. con apoyos articulados. La longitud es de 124,80 mts.

La cubierta es tridimensional de tubos articulados en nudos materializados en esferas de 2,40 mts. de altura. La unión de las distintas barras con las esferas de los nudos es únicamente atornillada.

Las fases consructivas de esta cubierta espacial son:

1ª Fase: Montaje en el suelo de toda la estructura, con los pilares hormigonados, en módulos de 21 m. sin colocar las barras de unión entre ellos.

La estructura se situa ligeramente desplazada de su posición definitiva para que las barras afectadas por los pilares sean diagonales que, por lo tanto, no se colocan tampoco en esta fase.



2ª Fase: Elevación de cada uno de los módulos por medio de gruas con cuatro puntos de enganche.

Con el módulo suspendido se montan las diagonales que interferían con los pilares, las barras que conectan con los aparatos de apoyo y los mismos apoyos.

Los módulos se apoyan en los pilares y se colocan algunas barras entre los adyacentes para asegurar la distancia correcta entre ellos. Las grúas se retiran.

3ª Fase: Una vez situados todos los módulos sobre los pilares se procede a completar la cubierta con el resto de las barras de unión entre módulos y las barras de borde en las alineaciones de fachada.

Finalmente se fijan los apoyos a las placas embebidas en los pilares.

3.3 TRATAMIENTOS DEL TERRENO

Los tratamientos sistemáticos que se han realizado en estas obras solo han sido en zonas muy limitadas, concretamente en los 140 mts. de túnel de Línea 6 bajo la Glorieta de San Vicente y en 120 mts. de túnel en Línea 1 junto a la estación de Alto del Arenal. En el primer caso se han utilizado columnas de jet grouting verticales y horizontales y en el segundo se ha tratado con gel de sílice desde superficie con una cuadrícula de 1,25 x 1,25 mts.

Estos tratamientos lo que han permitido es modificar las condiciones del terreno de tal manera que se ha conseguido la excavación del mismo y la construcción del túnel de Línea.

3.3.1. INYECCIÓN QUÍMICA

El tratamiento fué necesario al detectarse en el túnel, en la sección de avance una capa permable en clave con presencia de agua que no permitía la excavación de la sección.

Se decidió cerrar el frente y dado que era posible la ocupación en planta se decició realizar un tratamiento desde la superficie.

Se conocía por los sondeos previos que existía una capa permeable sobre la bóveda del túnel de un espesor variable de 6 a 8 mts. Después de estudiar diversas alternativas se realizó un tratamiento en tres metros de dicha capa, arrancando desde el contacto con una capa de tosco inferior que aparecía a la mitad de la sección de avance del túnel.

La cuadricula establecida fué de 1,25 x 1,25 mts. con taladros verticales y los resultados fueron satisfactorios, pudiéndose excavar posteriormente el túnel por el método tradicional.

3.3.2. JET GROUTING

En el caso del cruce bajo la Cuesta de San Vicente, el problema a resolver era que el nivel fréatico estaba por encima de la sección a excavar y esta discurre en parte por terrenos permeables. Se decició crear unos recintos estancos a lo largo de la traza del túnel mediante columnas verticales de jet grouting, que empotraban en la capa imper-

meable y al amparo de las mismas y previa ejecución de una corona de columnas de jet horizontales realizados desde el propio túnel, excavar el túnel en dos fases: avance y destroza con el que se ha denominado método "Nuevo Método Austriaco modificado para el terreno de Madrid". Igualmente los resultados han sido satisfactorios

4. CONCLUSIONES

En la charla que viene a continuación se van a hacer unas reflexiones sobre las obras de ampliación del Metro, por lo que es allí donde se van a sacar conclusiones sobre la experiencia obtenida durante la realización de estas obras, no obstante por las cifras que se han dado se puede afirmar que el 80% de los túneles ejecutados en mina se han realizado por el método tradicional.

Este hecho podría llevarnos a concluir que dicho método es el más adecuado para este tipo de obras pero no parece que haya en este campo verdades absolutas, ni conclusiones definitivas. Parece clàro que con este método se controlan bien los asientos en superficie (subsidencias) y no se corren riesgos durante la ejecución, pero se depende excesivamente del personal especializado. Quizá como ya se apuntaba al principio las dimensiones de las obras y las zonas bajo las que discurren no han sido las adecuadas para pensar en tuneladoras modernas, pero en el futuro estas condiciones pueden cambiar.

En estos momentos se ha planteado un programa de inversión ambicioso para la extensión de la red de Metro de Madrid, por lo que con los futuros 24 km. de nuevas líneas se podrá aplicar las experiencias y conocimientos adquiridos durante estos tres años.

REFLEXIONES Y EXPERIENCIAS SOBRE LAS OBRAS DE AMPLIACIÓN DE METRO

JESÚS TRABADA GUIJARRO
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. CONDICIONANTES

3. EJECUCIÓN A CIELO ABIERTO
   3.1. VENTAJAS
   3.2. INCONVENIENTES

4. REFLEXIONES

5. SISTEMAS DE EJECUCIÓN. VENTAJAS E INCONVENIENTES
   5.1. PRECORTE MECÁNICO
   5.2. MÉTODO TRADICIONAL
   5.3. NUEVO MÉTODO AUSTRIACO
   5.4. ESCUDOS

6. CAMPAÑAS GEOTÉCNICAS

7. RAMPAS DE ATAQUE

8. AUSCULTACIÓN
   8.1. OBRAS EN MINA
      8.1.1. INSTRUMENTACIÓN
      8.1.2. MOVIMIENTOS VERTICALES
      8.1.3. INFLUENCIA DEL AGUA
      8.1.4. MOVIMIENTOS HORIZONTALES

   8.2. OBRAS A CIELO ABIERTO
      8.2.1. MOVIMIENTOS TEÓRICOS DE PANTALLAS
      8.2.2. MOVIMIENTOS REALES DE PANTALLAS
      8.2.3. PIEZÓMETROS
      8.2.4. CÉLULAS DE CARGA
      8.2.5. ANCLAJES AL TERRENO
      8.2.6. PUNTALES METÁLICOS
      8.2.7. LODOS

1. INTRODUCCIÓN

Reflexionar sobre nuestra experiencia en obras de Ampliación del Metro de Madrid, implica reflexionar sobre obras fundamentalmente subterráneas, por las propias características de las infraestructuras, de nuestro ferrocarril metropolitano.

En general, entiendo que esta experiencia es extrapolable a cualquier obra subterránea urbana, que se construya en nuestra ciudad.

En una obra de ampliación de Metro, se acometen muchos tipos de túnel completamente distintos: Vía doble, vía sencilla, estaciones, cocheras, accesos, subestaciones, cada uno de ellos con ubicaciones, secciones problemáticas y tratamientos diferenciados.

2. CONDICIONANTES

Los condicionantes de una obra de metro son muchos, pero pasaré a enumerar los que a mi juicio se han revelado como más importantes:

-El terreno por el que discurre la traza suele estar formado por suelos blandos o sueltos, debido, a que la mayoría de las grandes ciudades, se asientan en la orilla de los ríos, con las características geológicas que esto conlleva. El caso de Madrid, no es una excepción, como puede apreciarse en la variedad de rellenos, arenas limpias, arenas con finos, tosco arenoso, tosco, bolsas de agua, en diferentes capas o mezclados de forma heterogénea, en vertical y horizontal, lo que obliga a descubrir todo el muestrario, en cualquier obra subterránea de cierta entidad que se acometa.

-Otro condicionante, es la gran rigidez de trazado en planta y alzado, mediatizados por las características de diseño del material móvil, la situación de la demanda de viajeros, los edificios en superficie, los lechos de los ríos y las construcciones subterráneas existentes.

-Los Niveles freáticos, susceptibles de ser rebajados por el efecto drenaje, que la construcción del túnel provoca, con el consiguiente peligro de subsidencias en superficie.

-La existencia de líquidos inflamables, gases nocivos, viajes de agua abandonados.

Contrariamente a tendencias anteriores, en la actualidad, procuramos un trazado lo más somero posible, a pesar de las dificultades constructivas que esto implica, superadas por las ventajas en ahorro de incomodidades al usuario, por exceso de recorridos, que han convertido, en casi disuasorias, algunas realizaciones anteriores. Así mismo, se mejora la seguridad ciudadana, al disminuir la longitud de accesos y se reducen los gastos de conservación; escaleras, iluminación, etc.

3. EJECUCIÓN A CIELO ABIERTO

Todo esto, plantea la eterna disyuntiva, entre ejecución en mina y ejecución a cielo abierto, que me ha llevado a la conclusión de que "EL MEJOR TÚNEL ES EL QUE NO SE HACE", respaldando esta afirmación, con el siguiente análisis de ventajas e inconvenientes de la ejecución a cielo abierto:

3.1. VENTAJAS

-Se reducen las incertidumbres en cuanto a precio, plazo y seguridad.

-El plazo de ejecución de las obras es menor y más fácil de asegurar.

-Se eliminan tratamientos del terreno, que en la mayor parte de los casos se hacen innecesarios, por el propio sistema de ejecución.

-Se logra mayor independencia del tipo de terreno atravesado, mas importante en nuestro caso, dada la heterogeneidad del terreno de Madrid.

-Permite la ejecución de túnel y sobre todo de estaciones con muy poca cobertura, en casos en que sería imposible ejecutar en mina.

-Aumenta la seguridad en la ejecución para los operarios.

-Disminuye la dependencia de la mano de obra especializada, que requiere la ejecución en mina.

-Posibilita la apertura de muchos frentes de trabajo, lo que disminuye los plazos y no paraliza la obra por aparición de problemas en el frente de ataque.

-Disminuye y permite un mejor control de las subsidencias.

-Disminuye la afección a los niveles freáticos, lo que incide sobre lo indicado en el punto anterior.

-Posibilita el aprovechamiento del espacio entre la clave del túnel y la superficie, bien para crear galerías de servicio, aparcamientos, estaciones de autobuses, salas de exposiciones, zonas comerciales. En el caso de Madrid, si bien tienden a utilizarse los espacios grandes, como las estaciones, (Véase el caso de las estaciones de Moncloa en línea VI, con una Estación de autobuses sobre ella, las cocheras de Ciudad Universitaria en la misma línea, que albergan un nuevo vestíbulo y un aparcamiento de 2000 plazas, así como las estaciones de Miguel Hernández y Alto del Arenal con un aparcamiento de 1000 plazas), es más difícil por su anchura con el túnel de línea, en el que no se aprovecha casi nunca la parte superior, procediéndose a su relleno.

3.2. INCONVENIENTES

-Obliga a desviar el tráfico, cuando el trazado discurre por calles o incluso a cerrar estas, restringiendo capacidad y cortando algunos movimientos.

-Obliga al desvio de servicios, con el consiguiente incremento económico, de plazo y el peligro que esto conlleva.

-Puede tener una incidencia clara sobre arbolado, ó elementos arquitectónicos históricos ó de relevancia en superficie que sería necesario conservar y reponer.

-Implica una mayor molestia para los ciudadanos, que han de soportar las obras.

-Obliga a una buena coordinación entre administraciones, al incidir en competencias de unas y otras, con el consiguiente peligro de complicación para la obra.

En cuanto a coste puro se refiere, la ejecución de túnel en mina y a cielo abierto, ambas realizadas en condiciones óptimas, se igualan en precio, para una profundidad de nivel de carriles similar a los 12 m.

Aún así y a la vista de los inconvenientes reseñados, quiero hacer resaltar, que el criterio de los Técnicos de nuestra Dirección General, es reducir al mínimo los tramos ejecutados en túnel, haciendo por este sistema, únicamente aquellas zonas en que no pueda emplearse el falso túnel, a cielo abierto y con pantallas; como de hecho puede deducirse de los cambios efectuados en nuestros propios proyectos, para ejecutar el máximo número de tramos con este último sistema.

A pesar de estas declaradas intenciones, son muchos los casos en que es imposible la ejecución por otro método que no sea la mina, aún teniendo en cuenta la tendencia al encarecimiento que este tipo de obras presenta respecto al resto.

4. REFLEXIONES

Llegados a este punto y ante la inevitabilidad de ejecutar en mina, me veo obligado a hacer las siguientes aseveraciones:

-ES FUNDAMENTAL LA ELECCIÓN DE LA EMPRESA CONTRATISTA, para cualquier obra, pero obviamente, con más razón, para una ejecución subterránea, por los riesgos físicos y técnicos que esta plantea.

-LOS TÚNELES SE CAEN Y EL ACCIDENTE ES POSIBLE, es un hecho probado, que no aplica aquí la tan manida frase, de uso popular entre los técnicos, de que "las cosas tienden a no

caerse", siendo el riesgo de accidentes en este tipo de obras, muy superior a otras más convencionales, lo que implica que no debe bajarse nunca la guardia.

-EN UN TERRENO BUENO VALE CASI TODO Y EL MALO HAY QUE CONVERTIRLO AL MENOS EN REGULAR, entendiendo en esta frase, que la elección del método constructivo, es tanto más importante cuanto peor es el terreno.

-NO HAY TRATAMIENTO DEL TERRENO QUE DÉ MÁS SATISFACCIÓN Y SEGURIDAD QUE EL QUE NO ES NECESARIO EJECUTAR, queriendo decir con esto, que nos hemos visto obligados a tratar el terreno con inyecciones o columnas de Jet-Grouting, con resultados desiguales, por lo que ninguno aporta una tranquilidad total.

-ES MEJOR UN TRATAMIENTO DESDE SUPERFICIE QUE DESDE EL FRENTE. A pesar de la mayor relación longitud taladrada a longitud tratada, que esto implica, es innegable, que los tratamientos en superficie, permiten ampliar la zona a tratar e independizar los tratamientos de la ejecución, con las ventajas que esto implica, en cuanto a precio y plazo, por la imposibilidad de ubicar en el frente, conjuntamente, la maquinaria de ejecución y la de tratamiento.

5. SISTEMAS DE EJECUCIÓN. VENTAJAS E INCONVENIENTES

En cuanto a los sistemas utilizados para la ejecución de túnel subterráneo pasamos a hacer los siguientes comentarios:

5.1. PRECORTE MECÁNICO

Las ventajas aportadas por el método son las siguientes:

-Es un presostenimiento que influye en la limitación de la subsidencia.

-Es un método mecanizado de ejecución, menos sujeto por tanto a los errores humanos, con lo que mejora las condiciones de seguridad personal en el frente de excavación.

-Cuando el terreno es autoestable la ejecución es muy sencilla. Indicado en terrenos cohesivos y en rocas blandas.

-El acabado interior del sostenimiento es muy regular y por tanto los excesos de hormigón del revestimiento definitivo son limitados. Incluso con un cálculo adecuado podría llegarse a disminuir el espesor total de este.

-Elimina las inyecciones de contacto y de consolidación en el trasdós.

Frente a las anteriores ventajas incuestionables, se presentan algunos inconvenientes, en el caso de terrenos en que existan arenas con pocos finos y con carga de agua, o en terrenos que no sean autoestables. En estos casos los inconvenientes son:

-Un problema en el frente paraliza la obra, sin posibilidad de atacar otros frentes, por el precio de la maquinaria, que no hace posible tener varias, salvo para túneles muy largos.

-Se requiere un drenaje previo y efectivo de la zona e incluso su impermeabilización, para asegurar la estabilidad de todos y cada uno de los puntos del frente, antes de iniciarse la excavación.

-La excavación en arenas con agua, puede plantear problemas de estabilidad durante la excavación de la ranura anular de la prebóveda, lo que puede obligar, a efectuar cortes de una menor anchura y a reducir la profundidad de la ranura excavada.

Por esta razón, en terrenos con escasa o nula cohesión, las sobre-excavaciones pueden ser importantes, superiores incluso al 50%. Los avances se pueden ver reducidos y los solapes entre las bóvedas sucesivas del hormigón proyectado, pueden aumentar respecto a lo previsto.

-En el túnel de El Goloso, se puso en evidencia que un solape de 1 m. era suficiente para el sostenimiento en el terreno compuesto fundamentalmente de arena de miga, con muy pocos problemas de agua sin presión. El intento de reducir

aquel solape a 0,50 m. dió resultados negativos, con síntomas de inestabilidad en el frente. Si el terreno presenta capas arenosas más permeables, con una humedad residual, incluso después de los agotamientos e impermeabilizaciones previas, los solapes, anchura y profundidad de la ranura y los sobre-espesores del hormigón proyectado, pueden ser radicalmente diferentes a los diseñados originalmente.

Los problemas derivados de la inestabilidad en el frente de excavación, son los mismos para cualquier método que se utilice, exceptuando la excavación con escudo de tierras o presurizado. Sin embargo, cuanto mayor es la sección excavada, los problemas de inestabilidad pueden ser mayores y afectar a una zona más amplia del entorno. Por esta razón, el método Precorte, al llevar la excavación a plena sección, es potencialmente más peligroso.

A estos problemas hay que añadir los de amortización de la maquinaria, en tramos cortos de túnel a contratar.

Debido a que uno de los principales problemas del método, es la posible inestabilidad del frente, se ha demostrado como una buena práctica, ejecutar semanalmente, un sondeo al avance, que proporciona información sobre las características del terreno que se va a atravesar y sobre todo, de la existencia de bolsas de agua.

5.2. MÉTODO TRADICIONAL (VARIANTE EN MADRID DEL BELGA Ó ALEMÁN)

Entiendo que es un método antiguo, no anticuado, con las siguientes ventajas e inconvenientes:

VENTAJAS

-Mínima inversión inicial en instalaciones, por ser un método que sólo requiere herramienta de mano y maquinaria tradicional de excavación.

-Posibilidad de avance en varios frentes, siempre que se disponga de varias rampas de ataque y personal especializado suficiente.

-Estabilidad del frente al ser un método de ataque a sección partida y tener la posibilidad de entibar éste.

-Adaptabilidad a casi cualquier tipo de terreno, lo que permite ejecutar sin tratamientos previos, en zonas en las que no sería posible con otros métodos.

-Gran flexibilidad de actuación frente a imprevistos, acortando los pases, aumentando la entibación, o tratando el terreno.

-Buen control de asientos, debido al propio sistema de ejecución con poco frente abierto, con el presostenimiento colocado inmediatamente de excavar y con el sostenimiento definitivo pegado al frente de excavación.

-Precio competitivo con métodos más mecanizados.

-Reduce incertidumbres de plazo al necesitar menos tratamientos que otros sistemas.

INCONVENIENTES

-Dependencia de la mano de obra especializada para la ejecución del método. Entibadores y piquetas, cuyo número, se ha visto reducido, en gran parte por el parón sufrido en este tipo de obras durante los últimos años en Madrid, y en parte, por la elevación del nivel de vida y la aparición de otros métodos menos penosos.

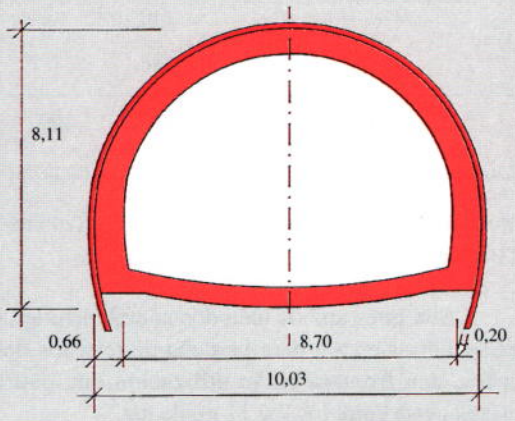
La experiencia nos ha demostrado, que con un equipo de profesionales, es posible formar nuevos especialistas, ampliando el potencial humano, aunque es una labor lenta.

- El método implica una elevada proporción entre mano de obra y materiales, agudizada por el incremento de los salarios y la disminución actual de la productividad en la construcción.

-Provoca muchas juntas de construcción, con la consiguiente repercusión en el acabado superficial y la duración a largo plazo de la obra.

Los rendimientos obtenidos con el PRECORTE y el MÉTODO BELGA en la ejecución de túnel se reflejan en los siguientes cuadros:

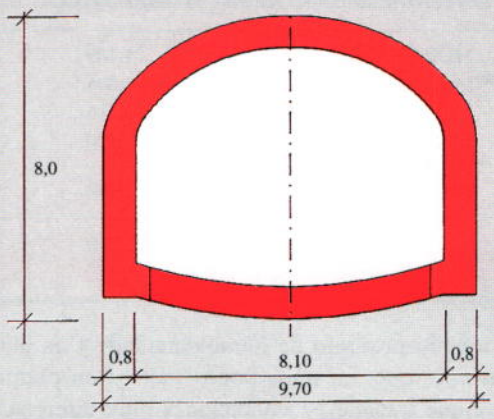
1 • TÚNEL DE LÍNEA. MÉTODO PRECORTE



SECCIÓN TIPO

MEDICIONES		JORNADA	
Anillo de Sostenimiento:		Turnos	3 x 8 horas/día
Profundidad de corte	3,5 m.	Trabajos	6 días/semana
Ancho	0,2 m.		
Perímetro	21,4 m.		
Solape entre anillos	0,5 m.		
Vol. H. Proyectado	5,0 m³/ml.	RENDIMIENTOS	
Excavación	68,2 m³/ml.	Máximo	18 m/semana
Hormigón de Revestimiento:		Medio	15 m/semana
Bóveda y Hastiales	15,6 m³/ml.		
Contrabóveda	15,6 m³/ml.		
TOTAL	19,8 m³/ml.		

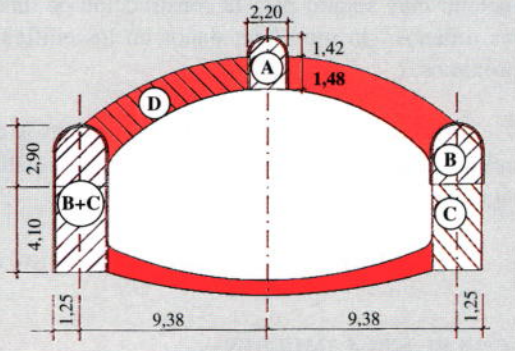
2 • TÚNEL DE LÍNEA. MÉTODO BELGA.



SECCIÓN TIPO

MEDICIONES		JORNADA	
Excavación:		Turnos	3 x 8 horas/día
Avance	28,6 m³/ml.	Trabajos	5,5 días/semana
Destroza	40,4 m³/ml.		
TOTAL	69,0 m³/ml.		
Hormigón de Revestimiento:			
Bóveda	8,9 m³/ml.	RENDIMIENTOS	
Hastiales	7,3 m³/ml.	Máximo	15 m/semana
Contrabóveda	5,3 m³/ml.	Medio	12,5 m/semana
TOTAL	21,5 m³/ml.		

3 • ESTACIÓN DE ARGÜELLES.



SECCIÓN TRANSVERSAL

MEDICIONES		JORNADA	
Galería clave (A)	5,20 m².	Turnos	3 x 8 horas/día
		Trabajos	5,5 días/semana
Galería hastial:			
Avance (B)	7,59 m².	RENDIMIENTOS	
Destroza (C)	7,59 m².	Galería clave (A)	3 m/día
TOTAL	16,86 m²	Galería derecha (B)	3 m/día
		Galería izquierda (B+C)	2 m/día
Semibóveda (D)	13,78 m²	Semibóveda (D)	1 ud/día

Ante la eterna discusión sobre la mecanización o no de los túneles urbanos, quiero destacar, que si bien esta es posible en el túnel de línea (a pesar de la mala experiencia general que se tiene en Madrid al respecto, salvo honrosas excepciones), casi nunca lo es, en nichos para mecanismos, telescopios y accesos, difícilmente mecanizables y en muchos casos, con una representación en longitud y volumen muy importante respecto al conjunto global de la obra.

Se reproduce aquí, lo indicado por Cañamaque y Sentchordi en su artículo, SISTEMAS DE EJECUCIÓN EMPLEADOS EN EL METRO DE MADRID.

"Los accesos. Aproximadamente suponen un 60% en términos absolutos de la longitud total de túnel. Si añadimos a esto que los tramos inclinados llevan un ángulo de 30° respecto a la horizontal (lo cual significa que la pendiente es del 57,7%), puede uno hacerse la idea de que el trabajo en estas condiciones se endurece sensiblemente.

Con estas pendientes, se atraviesa un mayor número de capas distintas (el suelo de Madrid no

SISTEMA DE EJECUCION	TUNEL FF.CC.	%	ACCESOS ESTACION Y GALERIAS	SUMA	%
MÉTODO BELGA	21.409	73,1	19.600	41.009	83,9
MÉTODO ALEMÁN	4.045	13,8	----------	4.045	9,3
ESCUDO EXCAVADOR	3.316	11,4	----------	3.316	6,8
ENTIBADORA	320	1,1	----------	320	0,7
PRUEBAS, CERCHAS, ROZADORAS, ETC.	180	0,6	----------	180	0,3
TOTAL	29.270	100	19.600	48.870	100

es ningún prodigio de homogeneidad) y es muy corriente que, en unos pocos metros en planta, haya que trabajar en condiciones muy diferentes, tanto en lo que se refiere a presencia de agua como en lo que respecta a estabilidad del frente de excavación y al grado de dificultad que supone la misma.

En el cuadro adjunto se resumen las longitudes ejecutadas por los distintos sistemas empleados, por Dragados y Construcciones:

Como puede apreciarse, los métodos de ejecución manual (Belga y Alemán) representan el 86,9% del túnel ferroviario ejecutado e, incluyendo los accesos y galerías, alcanzan el 92,2% de la totalidad.

La indiscutible primacía del Método Belga, con un 73,1% del túnel y un 83,9% del total, manifiesta claramente la gran adaptabilidad de este método para la ejecución de túneles en terrenos muy heterogéneos y con gran variedad de secciones. No obstante creemos necesario hacer una puntualización previa al respecto.

Las secciones ejecutadas por el Método Belga han superado en escasas ocasiones los 9 m. de luz y pudiéramos decir que en ninguna los 11 m. Por el contrario las secciones ejecutadas mediante el Método Alemán han sido, salvo casos excepcionales , de luz superior a los 11 m.

Son pues ambos métodos complementarios, existiendo, siempre para la gama de terrenos descritos, una frontera en su utilización que podría establecerse entre los 9 y 11 m. de luz."

5.3 NUEVO MÉTODO AUSTRIACO

Con este sistema hemos obtenido los peores resultados, hasta la fecha, limitándome a reproducir un texto de Romana en su conferencia, TEORÍA DEL NUEVO MÉTODO AUSTRIACO. Nov. 1982.

"Suele argumentarse, que si el N.M.A. se aplica correctamente, los asientos en superficie son muy reducidos y no exceden de 30 mm. (40 mm. según MULLER) por lo que se trataría de un método muy seguro para la construcción de túneles urbanos, sin introducir daños en los edificios próximos.

(MULLER, 1978) presenta varios casos de asientos característicos que se resumen en la tabla siguiente.

MULLER (1977) cita que bajo el

ASIENTOS EN VARIOS METROS CON EL N.M.A. (MULLER).

CURVA	CIUDAD	ASIENTO	CONDICIONES
1	FRANKFURT	48	Frentes y cerchas verticales
2	FRANKFURT	20	Frentes y cerchas inclinadas
3	BOCHUM	72	Retraso de varios días en el cierre
4	BOCHUM	28	Frentes y cerchas inclinadas
5	NUREMBERG	10	Frentes y cerchas verticales Terreno rocoso

Ayuntamiento de FRANKFURT (RÖMER HALL) durante la primera aplicación del N.M.A. se produjo un asiento de 42 mm., del cual fué diferencial aproximadamente la mitad, además de otros 44 mm. de asiento producido por el descenso del nivel freático, previo a la construcción."

Asimismo, se reproduce un texto de OTEO, en informe enviado a la Comunidad de Madrid.

"El nuevo Método Austriaco de ejecución de túneles, debe considerarse como una filosofía de diseño y no como un método que usa gunita y cerchas metálicas. Dicho método pretende dejar relajar el estado tensional del terreno alrededor del túnel -con un cierto desplazamiento- a fin de poder utilizar un sostenimiento relativamente ligero, con el que se alcance un equilibrio empujes-deformaciones que sea aceptable (dentro de que no haya inestabilidades), sostenimiento que puede ser reforzado si las deformaciones aumentan. Para ello se usan, habitualmente, gunita, cerchas, bulones, etc, sin que ello suponga que sean elementos exclusivos de este método.

El Nuevo Método Austriaco ha dado magníficos resultados en materiales rocosos en que las deformaciones antes de la rotura pueden ser relativamente grandes. En suelos, estas deformaciones antes de rotura son más pequeñas y hay mayor riesgo de utilizar la filosofía, sobre todo en suelos incoherentes y con agua. Existen algunas experiencias europeas solo que dicen haber usado el Nuevo Método Austriaco (porque usaron gunita, cerchas y bulones), pero en suelos duros y cohesivos, con lo que es dudoso que realmente se haya utilizado la filosofía del método. Además, la aplicación de gunita directamente en suelos incoherentes húmedos no es segura, tiene mucho rebote y puede quedar mal.

La esencia del Método Belga no es usar madera, pies derechos de madera y longarinas metálicas. Esa esencia está en que constituye un método de excavación a sección partida (para reducir los problemas en cada momento por excavar poco a poco y en una cierta secuencia), con variantes a la hora de excavar hastiales. No implica tampoco que pueda haber o no refuerzo del terreno."

Espero que los párrafos reproducidos sean lo suficientemente autoexplicativos, sin necesidad de mayores aclaraciones.

5.4. ESCUDOS

No tenemos experiencia directa con el método y entiendo que será difícil obtenerla, mientras que los tramos objeto de los contratos sean tan pequeños, que impidan la amortización de la maquinaria, lo que viene sucediendo por la política de diversificación de riesgos de nuestra Dirección General de Infraestructuras del Transporte.

En obras correspondientes al Pasillo Verde Ferroviario actualmente en construcción en Madrid, este método ha revelado que es muy seguro, que los rendimientos que obtiene son muy altos (Del orden de 30 m/día), y que si bien produce asientos muy fuertes, en terrenos poco competentes y de baja cobertura, permite pasar con monteras imposibles para cualquiera del resto de los métodos analizados.

6. CAMPAÑAS GEOTÉCNICAS

En cuanto a los análisis geotécnicos previos a la realización de las obras, he de indicar que los resultados de las diferentes campañas, pueden ser muy distintos, dependiendo de quién los ejecute y quien los interprete , con el condicionante que esto representa para el proyecto y para la elección del sistema constructivo más adecuado.

En general creo que es de gran utilidad efectuar las campañas en base a los siguientes puntos:

-Sondeos cada 50 m. a lo largo de la traza del túnel, a una distancia no superior a 10 m. de la misma; con profundidad de 10 m. por debajo de la cota de solera del túnel.

-Perforación con diámetro superior a 80 mm. y refrigeración "en seco" (utilizando agua en cantidades mínimas) para la obtención de testigo contínuo.

-Detección precisa de los niveles de arena. Para esto se pueden utilizar diversas técnicas geofísicas.

-Análisis de la permeabilidad de las arenas, mediante la realización muy cuidada de ensayos Lefranc de carga variable.

-Estudio de la deformabilidad del terreno, mediante ensayos presiométricos en los diversos materiales del perfil geológico.

Como experiencias más significativas sobre las campañas de prospección se que hemos efectuado, pueden comentar:

-La detección de los niveles arenosos con métodos geofísicos fué muy eficaz con la medición de radiactividad natural.

-Los ensayos de permeabilidad Lefranc se deben realizar cuidadosamente, lo que puede suponer mucho tiempo hasta que se estabilizan los niveles de agua, con el consiguiente encarecimiento del ensayo; pero dan valores correctos, necesarios para la toma de decisiones.

-Tanto el presiómetro Menard como el presiómetro Oyo dan valores del módulo de deformación muy superior a los deducidos en ensayos de laboratorio, y cercanos a los comprobados con la auscultación y posterior cálculo.

7. RAMPAS DE ATAQUE

Hay que destacar también la importancia para el buen desarrollo de la obra en mina, que han tenido las rampas de ataque, muy difíciles de ubicar por el poco espacio para instalarlas, de que disponen las ciudades.

Es evidente, que cualquier obra lineal necesita una serie de puntos por los que acometerla. En nuestro caso, las rampas ejecutadas tienen las siguientes características medias:

Longitud: 200 m. (La mitad en CUT and COVER)
Pendiente: 14%
Anchura: 5 m. ó 6 m.
Precio: 180.10^6 pts.

Estas características, indican claramente que los medios humanos, de maquinaria y presupuestarios, necesarios para ejecutar estas obras auxiliares, no son en ningún caso despreciables y por lo tanto es muy importante adecuar el binomio costo-plazo a la hora de decidirse a acometerlas.

8. AUSCULTACIÓN

Paso a describrir parte de las experiencias adquiridas, derivadas de la auscultación, tanto de obras en mina como de obras en superficie, comenzando por las primeras.

8.1. OBRAS EN MINA

8.1.1. INSTRUMENTACIÓN

En obras en mina se ha hecho una instrumentación, dirigida la medición de:

Movimientos verticales:

-En superficie y en obras existentes (edificios, túneles de Metro existentes, galerías), mediante nivelación topográfica.

-En profundidad; mediante la instalación de extensómetros de 3 varillas en secciones de control.

-En el sostenimiento provisional del túnel construído con el método de precorte; mediante la nivelación de clavos colocados en clave y hastiales.

Movimientos horizontales:

-En profundidad; mediante la utilización de inclinómetros en secciones de control.

-Convergencias en el túnel excavado con el método de precorte y en las galerías de la estación de Argüelles. Se han medido con cinta de precisión.

Presiones:

-Sobre células instaladas en el interior del sostenimiento provisional, en el método de precorte.

Niveles piezométricos:

-En diversas capas de arena a lo largo de la traza, mediante tubos piezométricos instalados en sondeos verticales.

INSTRUMENTACIÓN INSTALADA	TUNEL DE LÍNEA				ESTACIÓN DE ARGUELLES L=116 m.		RAMPAS		
	M. Precorte L=600 m.		M. Belga L=640 m.						
	TOTAL	Nº/100 m.	TOTAL	Nº/100 m.	TOT.	Nº /m.	PP	VR	RR
MOV. VERTICALES									
-Nivel sup., edif., etc.	40	6,67	144	22,50	54	46,55	6	16	7
-Extensometro (3 varill)	5	0,83	4	0,62	3	2,59	1	1	1
-Nivelación clave	15	2,50	----	------	---	-------	--	---	--
MOV. HORIZONTALES									
-Inclinómetros	2	0,0033	3	0,0047	2	1,72	--	---	--
-Convergencias	28	4,67	----	--------	16	13,80	7	7	--
PRESIONES									
-S/ sost. del túnel	17	0,028	----	---------	---	-------	--	---	--
-En anclajes	---	-------	----	-------	---	-------	4	4	--
NIVELES PIEZOMÉTRICOS	2	0,33	3	0,50	3	2,59	1	1	1

En el cuadro se indica la cuantía de la instrumentación instalada hasta el momento en el tramo Príncipe Pío-Moncloa

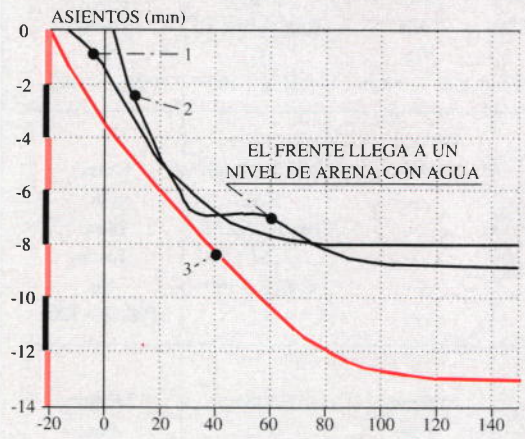
8.1.2. MOVIMIENTOS VERTICALES

En cuanto a los movimientos verticales producidos por la construcción del túnel, podemos deducir que éstos han dependido principalmente y en orden decreciente de los siguientes factores:

-Tipo de terreno
-Presencia de agua
-Método constructivo

Es importante destacar que los movimientos son parecidos en ambos métodos, a pesar de la

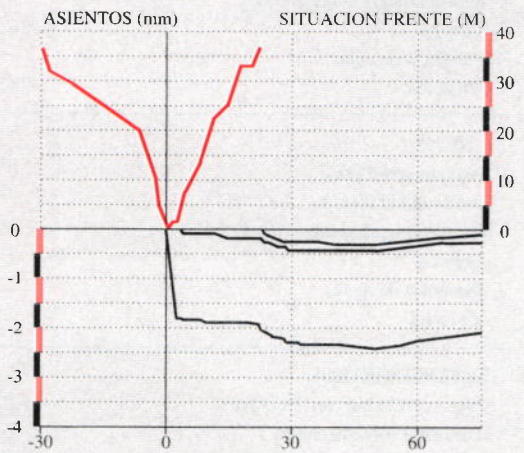
4 • ASIENTOS MÁXIMOS
TRAMO: PRÍNCIPE PÍO - MONCLOA



1. M.PRECORTE (PK: 1+600)
2 y 3. M.BELGA (PK: 2+167 y 2+119)

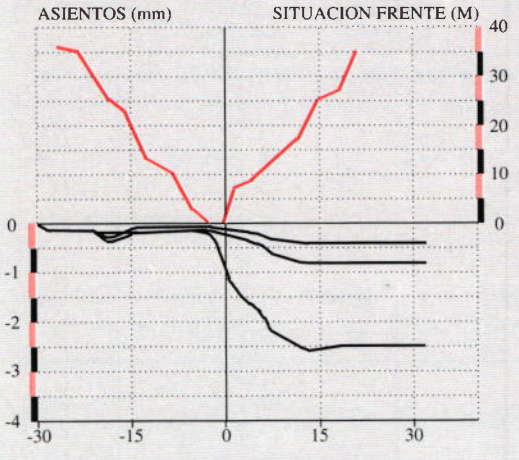
NIVELACIONES TOPOGRAFICAS

5 • EXTENSÓMETRO DE SUPERFICIE
TRAMO: PRÍNCIPE PÍO - MONCLOA. PK: 1+510



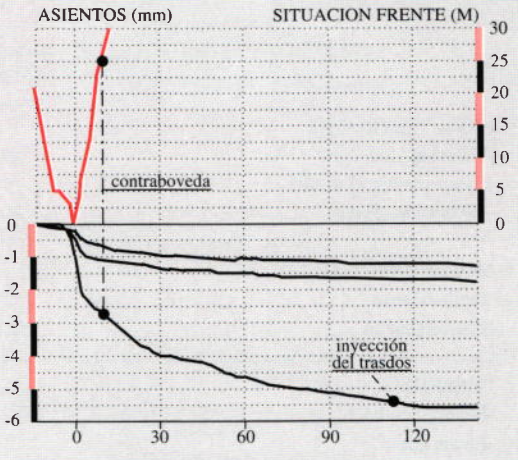
EXTENSOMETRO EN EL EJE. LA CABEZA ASENTO UN TOTAL DE 4 mm
EXCAVACION CON M.PRECORTE

6 • EXTENSÓMETRO DE SUPERFICIE
TRAMO: PRÍNCIPE PÍO - MONCLOA. PK: 1+960



EXTENSOMETRO EN EL EJE. LA CABEZA ASENTO UN TOTAL DE 4 mm
EXCAVACION CON M.BELGA

7 • EXTENSÓMETRO DE SUPERFICIE
TRAMO: PRÍNCIPE PÍO - MONCLOA. PK: 2+333



EXTENSOMETRO A 3.5 M DEL EJE. LA CABEZA ASENTO UN TOTAL DE 8 mm.
EXCAVACION CON M.BELGA

MOVIMIENTOS VERTICALES	M. PRECORTE		M. BELGA	
	Mov. máximo	Mov. mínimo	Mov. máximo	Mov. mínimo
SUPERFICIE				
-Asiento sobre el eje	9 mm.	3 mm.	(*)12-13 mm.	4 mm.
-Recubrimiento sobre el túnel	24 m.	29 m.	25 m.	28 m.
-Terreno	Tosc. y Are. T.	Tosco	Tosc. y Are. T.	Tosco
-Presencia de agua	Sí	Nó	Sí	Nó
-Situación	P.K: 1 + 600	P.K: 1 + 700	P.K: 2 + 100	P.K: 1 + 960
LÍNEA 3				
-Asiento sobre el eje	---	---	(*)14-15 mm.	6 mm.
-Profundidad túnel L-3	---	---	8 m.	8 m.
-Recubrimiento sobre el túnel	---	---	Tosc. y Are. T.	24 m.
-Terreno	---	---	Sí	Tosco
-Presencia de agua	---	---	P.K: 2 + 100	Nó
-Situación	---	---		P.K: 2 + 320
EXTENSOMETROS				
-Mov. varilla inferior (relativo)	2,5 mm.	1,0 mm.	5,7 mm.	2,5 mm.
-Distancia sobre la clave	4 m.	3 m.	1 m.	4 m.
-Recubrimiento sobre el túnel	33 m.	29 m.	22 m.	29 m.
-Terreno	Tosc. y Are. T.	Tosco	Tosco arenoso	Tosco
-Presencia de agua	Humedad	Nó	Sí	Nó
-Situación	P.K: 1 + 510	P.K: 1 + 692	P.K: 2 + 333	P.K: 1 + 960

(*)Valor deducido de medidas realizadas a diversas distancias del eje.

presencia de agua en el método belga.

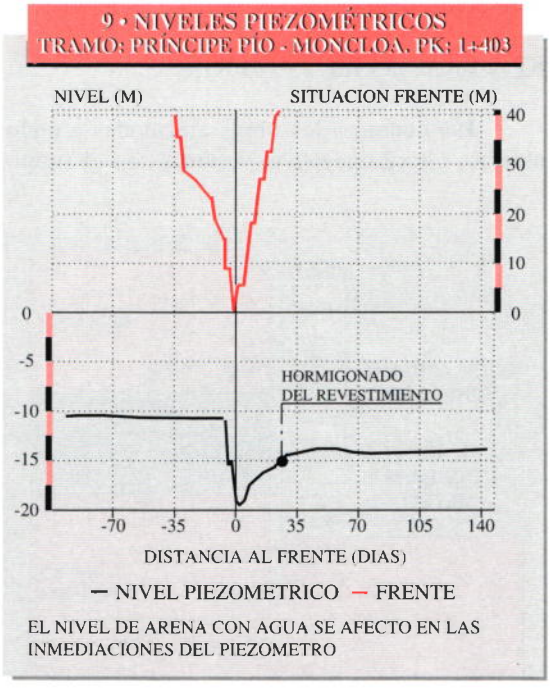
Con el precorte los movimientos son más bruscos al paso del frente, mientras que en el belga no se detienen una vez pasado éste, estabilizándose únicamente al proceder a las inyecciones del tradós. De ahí la importancia de ejecutar éstas lo mejor y lo antes posible.

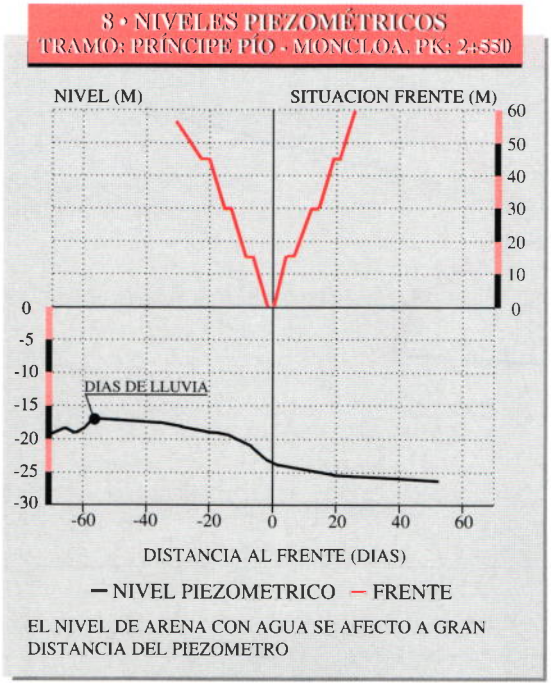
Se adjunta un cuadro, pág anterior, con movimientos detectados con el Método precorte y Método Belga, entendiendo que únicamente serían plenamente comparables si pudieran hacerse con los mismos condicionantes, lo cual es muy difícil que pueda darse.

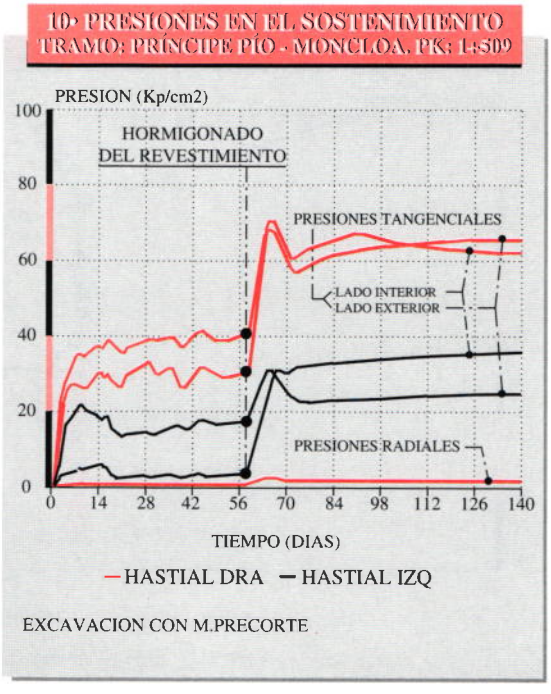
8.1.3. INFLUENCIA DEL AGUA

En cuanto a la influencia del agua, es importante destacar que en niveles arenosos con agua a presión (1 a 1,5 kg/cm²) se ha comprobado que se inicia el descenso de los niveles piezométricos cuando el frente se aproxima a distancias incluso superiores a los 20 m. (caso que dicho nivel de arena venga siendo afectado por la excavación). En la mayoría de los casos, la cohesión de las arenas sometidas al gradiente hidráulico establecido por el efecto drenaje del túnel, ha evitado su arrastre.

No ocurre lo mismo, lógicamente, cuando un nivel de arena con carga de agua importante es afectado por la excavación por primera vez. En ese momento la estabilidad de la arena es más crítica pudiendo dar lugar a sifonamientos.





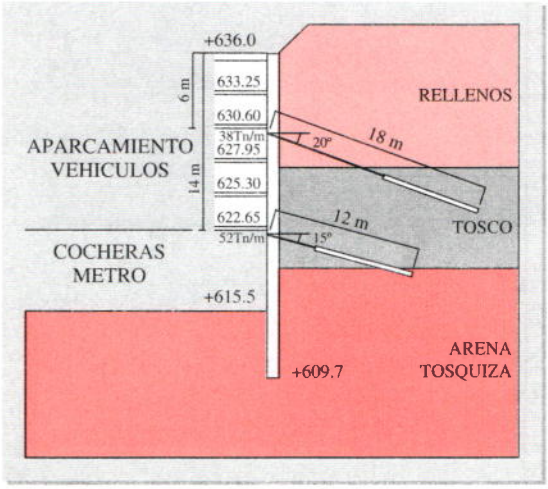


8.1.4. MOVIMIENTOS HORIZONTALES

No han sido muy halagüeñas nuestras experiencias con inclinómetros y células de carga, por mala o dificultosa instalación, pudiendo indicarse que los movimientos horizontales han sido pequeños y del orden de 8 mm. y 15 mm. en Precorte y Belga respectivamente en sentido transversal al túnel y 8 mm. en ambos en sentido longitudinal.

8.2. OBRAS A CIELO ABIERTO

En cuanto a las obras ejecutadas a cielo abierto, citaré nuestra experiencia en el tramo Moncloa-Ciudad Universitaria, como más representativa y extrapolable para el resto:



Para la construcción de las Cocheras de Ciudad Universitaria y el aparcamiento sobre las mismas se ha creado un recinto entre pantallas de 80 cm. de espesor, profundizándose la excavación 20,5 m. con dos niveles de anclajes activos a 6 y 14 metros de profundidad, según se muestra en el croquis adjunto. El empotramiento de las pantallas bajo cota de excavación máxima es de 5,30 m.

8.2.1. MOVIMIENTOS TEÓRICOS

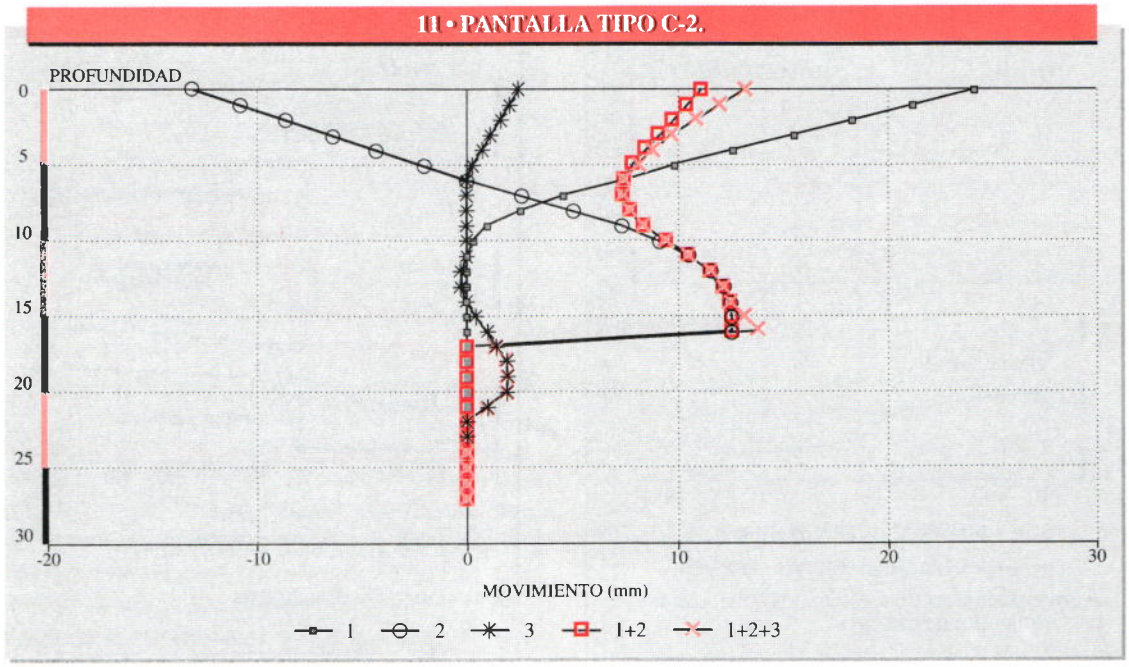
Analizaré primero los movimientos que se habían previsto en los cálculos, para compararlos posteriormente con los reales.

Los resultados del cálculo en cuanto a movimientos horizontales se presentan en el gráfico adjunto donde están numeradas las fases de la siguiente manera:

1. Excavación en voladizo hasta 0,5 m. bajo la primera cota de anclajes (-6,0 m.)

2. Excavación hasta la segunda línea de anclajes con la primera línea ya tensada. (-14,0 m)

3. Excavación máxima con las dos líneas de anclajes activos en tensión (-20,5 m)



En el gráfico además se han sumado los estados de cálculo, ya que cada fase se calculó, desde una deformación inicial nula. Todo ello considerando que dichos estados fueran sumables.

Como se ve, el mayor desplazamiento hacia el interior de la excavación se produce para la etapa inicial de excavación en voladizo, la segunda fase supone un movimiento hacia el lado contrario a la excavación. El cálculo se ha realizado suponiendo base libre y no considerando la longitud total de la pantalla (es un cálculo de dimensionamiento).

8.2.2. MOVIMIENTOS REALES DE PANTALLAS

-En cuanto a los movimientos reales de las pantallas, se han evaluado mediante tres sistemas: Los movimientos horizontales mediante colimación de una alineación de clavos en el trasdós de la cabeza de la pantalla y con lecturas de inclinómetro a lo largo de toda la vertical de la pantalla. Los asientos mediante nivelaciones de precisión en el terreno de trasdos de la excavación y de las fachadas de los edificios próximos.

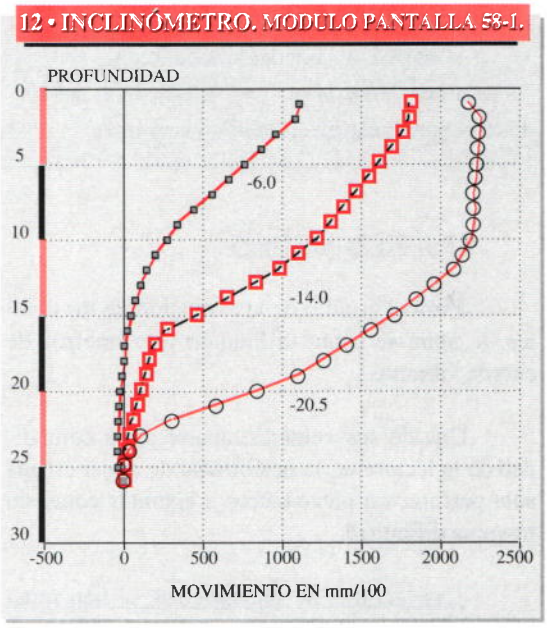
-La colimación es menos precisa que la lectura con inclinómetro y únicamente proporciona valores del movimiento en cabeza con margen de precisión aproximadamente 5 mm, pero su coste es mínimo y en cualquier caso advierte la evolución del movimiento.

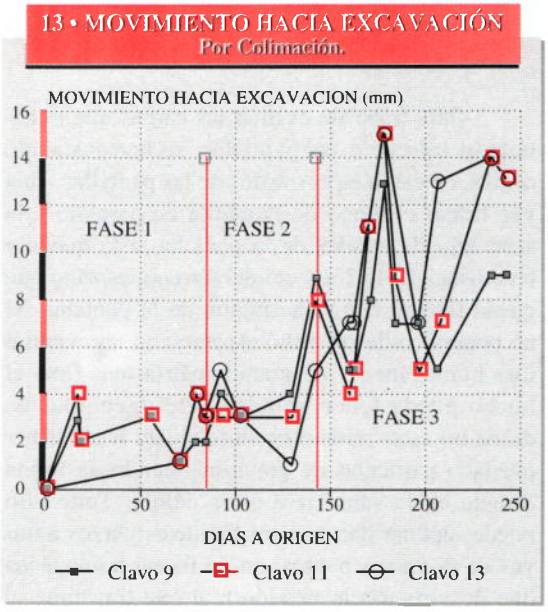
-El movimiento registrado con el inclinómetro y el pronosticado por el cálculo coinciden sensiblemente en el orden de magnitud, unos 20 mm.

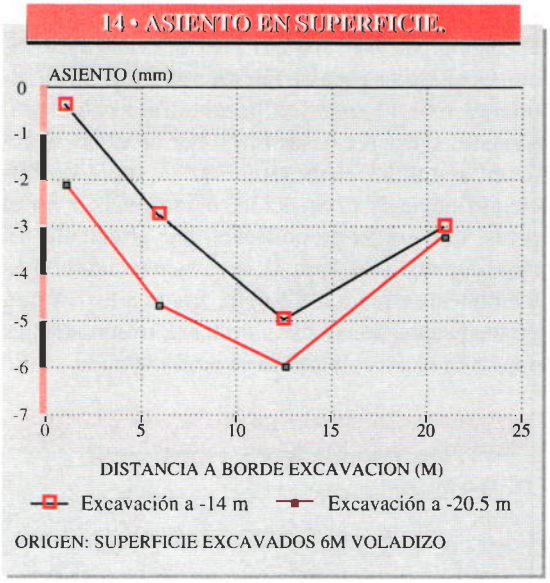
-La relación en tanto por ciento entre el máximo desplazamiento horizontal observado y la profundidad excavada resulta ser de un 0,11% que se sitúa dentro del margen empírico del 0,1 al 0,2% para arcillas rígidas y entibación tipo pantalla contínua de hormigón armado.

-La medida de asientos con micrómetro y mira invar ha puesto de manifiesto que el asiento máximo detectado alcanza aproximadamente el 60% del máximo movimiento horizontal, observado en cabeza de la pantalla.

-Los movimientos horizontales registrados por el inclinómetro se presentan en el gráfico adjunto, que comparándolas con las obtenidas en el cálculo permiten realizar las siguientes observaciones: Para la excavación en voladizo, el movimiento real 11 mm., es la mitad del calculado. Cuando se excava desde el primer nivel de anclajes al segundo, el movimiento se sigue produciendo hacia la excavación; 6 mm. más y no al revés, que era lo pronosticado por el cálculo. El movimiento final Para la excavación máxima es ligeramente superior, 22 mm., frente a los 14 mm pronosticados como suma de los correspondientes a los tres estados, según ya se ha comentado.







8.2.3. PIEZÓMETROS

Para el estudio de la evolución de los niveles de agua se están utilizando piezómetros de cuerda vibrante.

Una de sus ventajas, aparte de la comodidad de la lectura, es la posibilidad de alojar en una sola perforación piezómetros a distintas cotas sin ninguna dificultad.

-Las lecturas de piezómetros se han mostrado totalmente fiables cuando se ha excavado en su entorno.

8.2.4. CÉLULAS DE CARGA

-Para tratar de evaluar las cargas que transmite el terreno a las pantallas, se han instalado células de carga en el trasdós de las pantallas. Una vez fijado el plano de la célula en paralelo a la armadura de trasdós de la pantalla, esta queda a una distancia de 2 a 4 cm del terreno, espacio que queda relleno con el hormigón de la pantalla. Al no poderse rellenar dicho espacio con un material más homogéneo y de granulometría más fina, el hueco puede tener grandes heterogeneidades, desde no estar relleno en su totalidad hasta haber quedado partículas de grava incidiendo de forma directa en la superficie de la célula. Todo ello puede suponer una transmisión de esfuerzos a través de di versos puntos, no de forma homogénea que desvirtuaría la presión real que transmite al terreno. Los registros observados en las células instaladas son bastante variables y a diferencia de los aportados por los otros aparatos instalados, supondrían en algún caso incluso más carga que la supuesta para el cálculo, lo que puede deberse a defectos en su colocación.

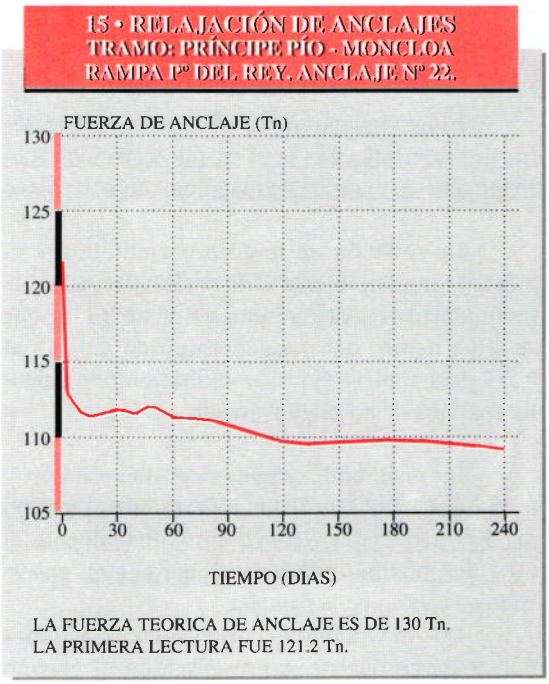
8.2.5. ANCLAJES AL TERRENO

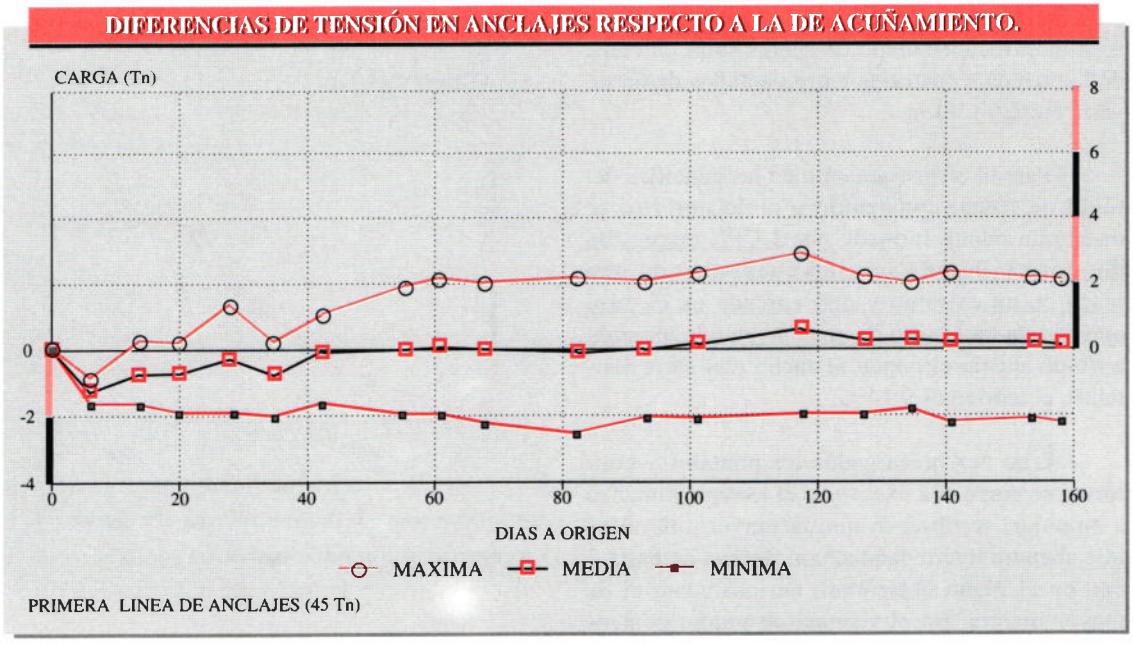
-Con el fín de comprobar el comportamiento de los anclajes al terreno, se han instalado células de carga con dos objetos fundamentales:

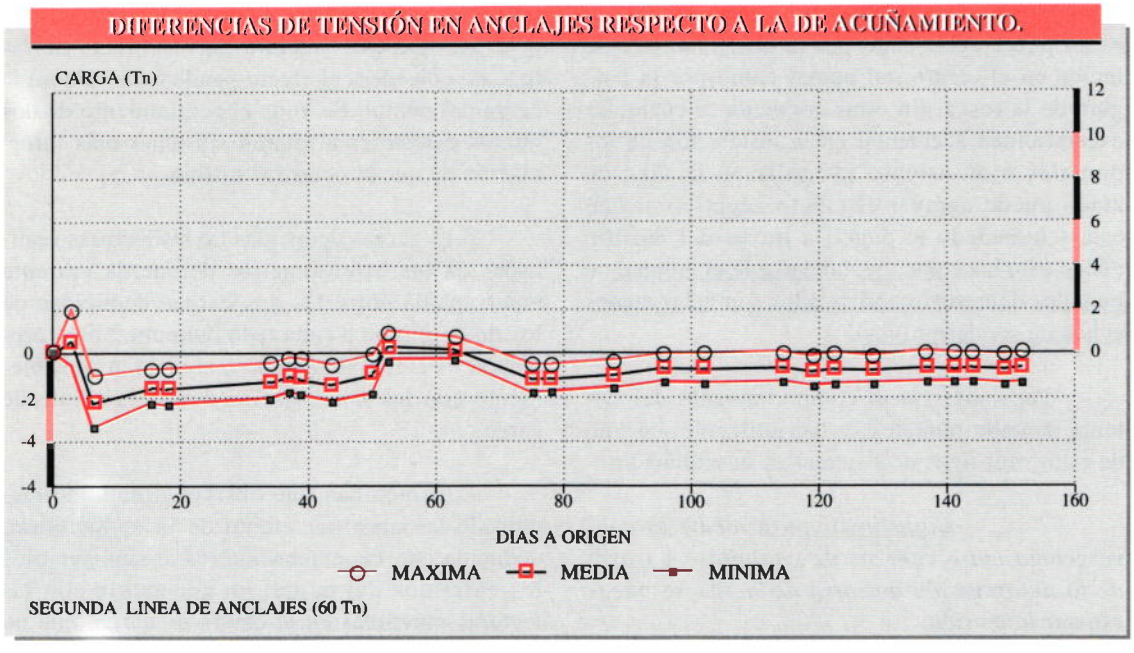
1. Confirmar que quedan acuñados a la tensión calculada.

2. Observar si existen variaciones de carga a lo largo de su período de servicio.

-En referencia al primer punto, se ha detectado que las pérdidas de carga, tensión teórica desde la que se suelta (lectura en gato) menos tensión real a que quedan acuñados los cables (lectura en célula), alcanzan un valor medio del 19% respecto a la lectura en gato desde la que se suelta, frente al 8% que proponía utilizar la casa que los instalaba, por lo que recomendamos incrementar una 20% la tensión de acuñamiento respecto a la tensión deseable de trabajo del cable.







-Respecto al segundo punto, en los dos gráficos siguientes se presenta la evolución media de la tensión en la 1 y 2 líneas de anclajes activos con el bulbo en la capa de tosco, el cero corresponde a la tensión a que quedó acuñado el anclaje. En dichos gráficos se muestran, a lo largo del tiempo, las envolventes de la diferencia de tensión máxima, media y mínima respecto a la de acuñamiento. La ordenada superior representa el 20 % de la carga teórica, para la cual se comprueba el anclaje en la prueba del mismo, antes de ser en clavado. La inferior representa al 10% con que se ha incrementado la carga necesaria según cálculo como margen de seguridad frente a posibles pérdidas durante su vida útil.

8.2.6. PUNTALES METÁLICOS

-Se analiza a continuación el comportamiento de los puntales metálicos colocados en cabeza de pantallas de túnel.

-El ancho en intrados de hastiales era de 9,14 m el recubrimiento de suelos sobre la clave de la bóveda, construída entre pantallas de 65 m. varía entre 6 y 14 m.

-Para el arriostramiento de las pantallas del túnel de línea, construído a cielo abierto, se diseñó un puntal formado por 2 UPN empresilla dos formando una sección cuadrada con una placa en un extremo y otra roscada en el otro, que admite un husillo de unos 30 cm. de longitud a fín de ajustar el puntal al ancho real entre pantallas, el teórico es 9,14 m.

Una vez precargados los puntales y conforme se empezó a excavar y el terreno comenzó a empujar, se observó que la mayoría de ellos iniciaban un ligero pandeo con flechas de hasta 2 cm. en el plano horizontal, curiosamente el de mayor inercia. En el sistema de puntal comentado hay ciertas características que originan la citada tendencia al pandeo: el husillo de 30 cm. es un punto débil tanto por la dificultad en que incida en el centro del puntal como por la holgura de la rosca. En estas condiciones cualquier excentricidad accidental en la instalación de los puntales o un asiento irregular en la viga de atado puede agravar el efecto negativo al que está sentenciado el puntal a través del husillo. (Todo esto hace poco recomendable el empleo de puntales demasiado sofisticados y mucho menos si han de ser definitivos).

-Para observar el comportamiento del sistema pantalla-puntales se han utilizado, en uno de estos, tres tipos de sistemas de auscultación:

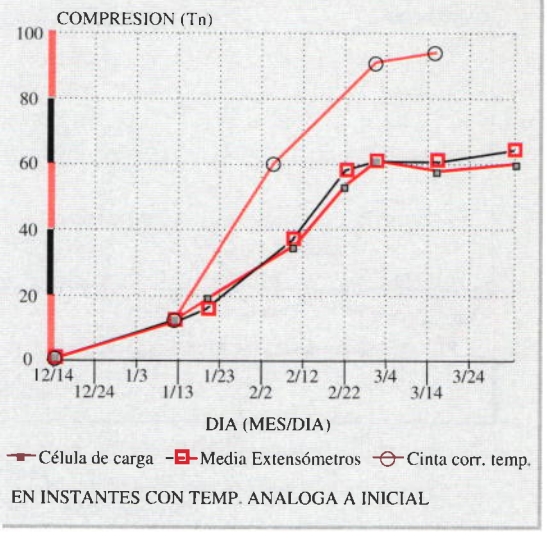
-Cinta invar para medir la convergencia entre cabezas de pantallas. A través de la deformación unitaria deducida se puede estimar la tensión.

-Extensómetro de cuerda vibrante para estimar el acortamiento en un punto de perfil, a través del módulo de elasticidad y la temperatura se obtiene la tensión.

-Célula carga, mide directamente la tensión en el puntal.

En el gráfico adjunto se observa la evolución de la carga en el puntal 10-A medida en la célula de carga y la deducida de las lecturas de la cinta invar y extensómetros. De la observación del mismo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

16 • CARGA EN PUNTAL 10-A.



-Las cargas deducidas con las lecturas de la cinta son las de mayor valor. La explicación debe ser que es la lectura más indirecta de las tres, no considera el efecto pandeo que minora la carga del puntal. Se mide el acortamiento de dos puntos exteriores al puntal sin tener más información de que le ocurre al mismo.

-Las cargas deducidas de las lecturas realizadas en los extensómetros de cuerda vibrante como media entre las dos cargas deducidas de los mismos, uno a cada lado del puntal para promediar el efecto del pandeo, coinciden sensiblemente con las obtenidas mediante la célula de carga.

-También hay que observar que la corrección de la carga por efecto de la temperatura, deducida con los extensómetros al suponer fijos los extremos del puntal no concuerda con las lecturas obtenidas en la célula de carga, que no necesita ajuste por variación térmica. El motivo puede ser el pandeo que alivia la carga o un, menos probable, movimiento del terreno al dilatarse el puntal.

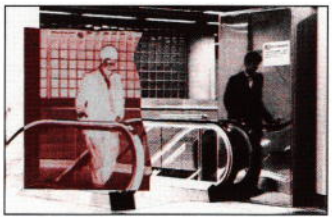
-La carga detectada por la célula y el extensómetro, se estabiliza en unas 70 Tn, aproximadamente un 60% superior a la de cálculo (el puntal indicado aguanta 90 Tn a compresión simple).

8.2.7. LODOS

Hay que destacar que se ha dado el caso de pantallas, en las que se ha hecho necesario el uso de lodos para su ejecución por los arrastres de arenas provocados por el agua , lo que viene a confirmar el efecto drenaje del túnel que al quitar presión de agua, evita arrastres en terrenos y zonas similares.

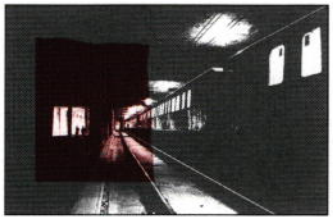
También es destacable aquí el beneficioso efecto conseguido, en algunos casos, al ejecutar pantallas de pilotes en lugar de las pantallas normales.

EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS
EN EL TRANSPORTE DE MADRID.
Emilio Miralles Claver.
Pags. 11-27



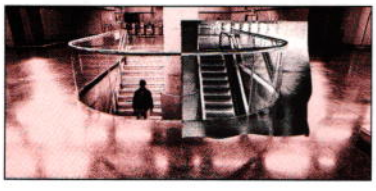
EL FUTURO DEL METRO
EN MADRID.
Vicente Gago Llorente.
Pags. 29-48

EL METRO EN LA MOVILIDAD
METROPOLITANA.
Jesús Rodríguez Molina.
Pags. 49-69

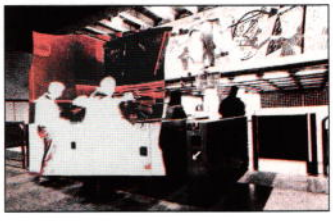


EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO.
Ramón López-Mancisidor del Rio.
Pags. 71-81

CRITERIOS DE DISEÑO
EN LAS NUEVAS LÍNEAS.
Ildefonso P. de Matías Jimenez.
Pags. 83-98



ÍNDICE



EL METRO Y LOS SUELOS DE MADRID.

Santiago Uriel Romero.

Pags. 99-114

TRATAMIENTOS ESPECIALES.

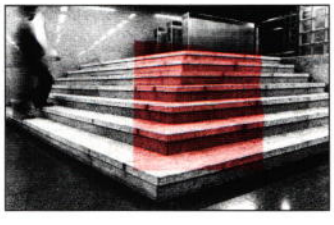
Carlos S. Oteo Mazo.

Pags. 115-125

SUBSIDENCIA Y AUSCULTACIÓN.

José Mª Rodriguez Ortíz.

Pags. 127-142



SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN OBRAS EN EJECUCIÓN PARA LA AMPLIACIÓN DEL METRO DE MADRID.

Manuel Arnáiz Ronda.

Pags. 143-168

REFLEXIONES Y EXPERIENCIAS SOBRE LAS OBRAS DE AMPLIACIÓN DE METRO

Jesús Trabada Guijarro.

Pags. 169-187

ESTE LIBRO SE TERMINO DE IMPRIMIR
EL DIA 16 12 1994 EN LOS TALLERES
DE GRAFYTEX

Estos textos corresponden a las ponencias presentadas en las Jornadas Técnicas organizadas conjuntamente por la Consejería de Transportes de la Comunidad de Madrid y por la Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas, AETOS, en Madrid, los días 15 y 16 de noviembre de 1993.

Las Jornadas se celebraron en los locales del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, y contaron con el patrocinio del propio Colegio, Consorcio Regional de Transportes, Metro de Madrid y CEDEX, y la colaboración de las empresas constructoras y de asistencia técnica que contribuyen a la ejecución de la obra.

"La ampliación del Metro de Madrid se orienta a consolidar su utilización como modo básico de comunicación interior de la ciudad y como receptor y distribuidor de los viajes generados en la periferia".

AETOS

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS

Comunidad de Madrid
Consejería de Transportes