

# Experiencias y resultados de la ampliación 1995-1999

## 38 km de túnel y 34 estaciones en 40 meses

Manuel J. Melis Maynar

Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, M.Sc, MBA

*Dir.Gral. Infraestructuras, Consejería de Obras Públicas, Comunidad de Madrid. Presidente, Metro de Madrid*

### RESUMEN

Se presenta en este artículo un resumen de los datos y hechos más importantes de la reciente ampliación del Metro de Madrid. Este gran proyecto de infraestructuras pesadas del transporte, 38 km de túneles y 34 estaciones bajo Madrid, se ha proyectado, construido y puesto en servicio en 40 meses a costes tan reducidos que el Banco Mundial ha licitado un concurso internacional para su estudio y aplicación a otros países.

### ABSTRACT

A summary of facts and figures of this enormous infrastructure project is presented in this paper. In 40 months, a total of 38 km of tunnels and 34 stations has been designed, built and commissioned. The World Bank has ordered the study of this Project and its application to other countries.

### 1. GENERALIDADES

En el momento de escribir estas líneas, fin de Noviembre del 2000, estamos terminando para el Banco Mundial una explicación detallada de cómo ha sido posible llevar a cabo el Proyecto y la Construcción de los 38 km de túnel y 34 estaciones de la Ampliación de Metro de Madrid en tan sólo 40 meses. Esta explicación era el objeto de un Concurso Internacional que dicho Banco Mundial licitó en Noviembre de 1999 entre los más importantes consultores mundiales de la materia, y que finalmente fue adjudicado al propio Metro de Madrid junto con la Consultora especializada BBJ Consulting. Como el Banco Mundial dedica grandes volúmenes de fondos a la financiación de infraestructuras en muchos países, especialmente países en desarrollo, está especialmente interesado en el coste, y pide específicamente una explicación de cómo ha sido posible además construir la ampliación de Madrid a 40 Millones de USA\$ por kilómetro cuando el

propio Banco Mundial está financiando estos Proyectos en otros países a un coste del orden de 150 Millones de USA\$ por kilómetro y en varios casos a un coste aún mucho mayor.

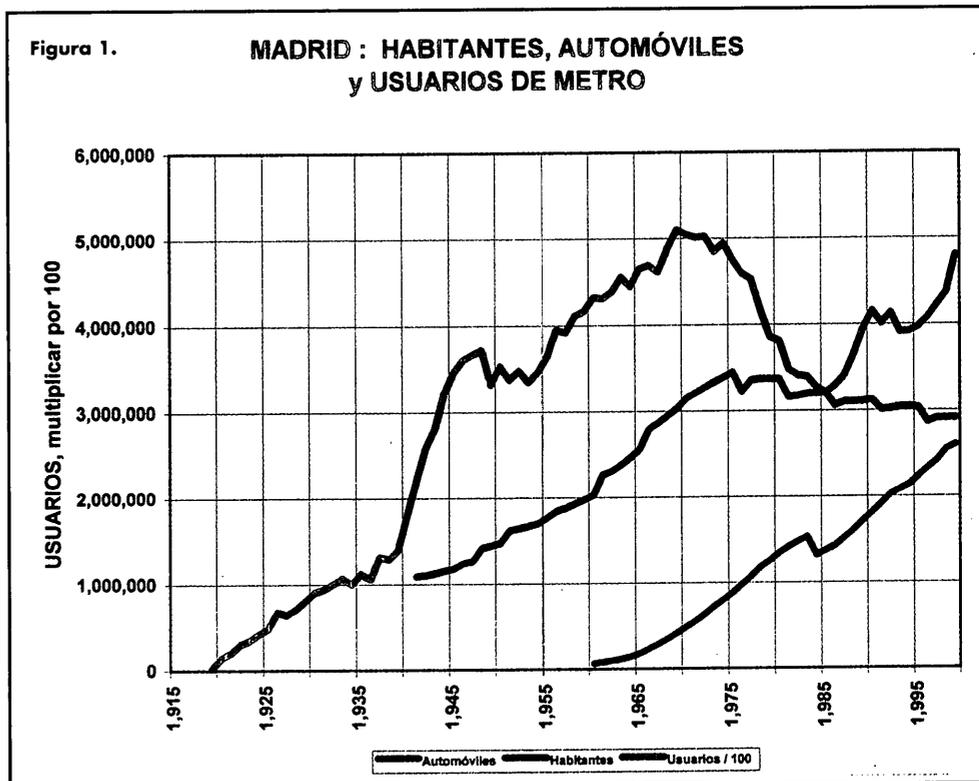
No hay ningún secreto, ni el equipo de Madrid es especial. Se han transmitido desde el principio unas instrucciones muy claras y se ha tenido el apoyo y el estímulo constante del máximo responsable, el Consejero de Obras Públicas de la Comunidad de Madrid. Las más importantes decisiones que fue necesario tomar a este máximo nivel se han tomado en 24 horas siempre, la financiación ha estado disponible, y ese apoyo y estímulo constantes, y esa ilusión por el Proyecto, se ha transmitido desde arriba hasta el último de los operarios de las distintas obras. Con esa base, el resto se debe simplemente a una técnica adecuada. Mientras que en otros equipos dedicados a la construcción de infraestructuras suelen encontrarse técnicos que no han vuelto a pasar por las aulas ni a estudiar desde el día en que acabaron la carrera, en la ampliación de Madrid el autor decidió desde el comien-

zo que lo más importante era la base técnica, y puede asegurar que todas las decisiones técnicas clave han estado al cargo de Profesores Titulares o Catedráticos de Ingeniería del Terreno de las más importantes Escuelas de Caminos de España, comenzando por el propio Director General. De hecho, los dos Ingenieros Funcionarios de la Consejería de Obras Públicas que han sido los Directores de las Obras de la Ampliación, están en estos momentos terminando el Doctorado en Ingeniería de Caminos. En estas condiciones, cualquier otra ciudad probablemente puede hacer lo mismo, en el mismo plazo y en el mismo coste.

La frase que se repetía en 1995, entre los medios de comunicación, los entornos políticos y sobre todo en los ambientes técnicos cuando se anunció el objetivo de construir 20 km de Metro en 4 años, era: "Jamás se ha hecho, ni se hará. Es imposible construir en una gran ciudad 20 km de Metro subterráneo en 4 años, ni aún teniendo los Proyectos de Construcción aprobados y preparados para licitar las obras".

El Metro de Londres estaba en 1995 ampliando su Línea Jubileo en 16 km, de los que solamente 12.4 eran en túnel. Los primeros Proyectos fueron adjudicados a finales de 1990, y en 1998, tras grandes retrasos en la puesta en servicio, todo el equipo directivo de la ampliación fue cesado y sustituido por la Ingeniería americana Bechtel para intentar terminar a cualquier precio antes de las celebraciones del Millennium, el 1 de Enero del 2000. El coste superó finalmente los 6.000 Millones de \$USA, resultando en unos 54.000 Millones de Pta por kilómetro, más de 10 veces que la ampliación de Madrid. El Metro de Atenas ampliaba también en 1995 su red en 18 km y 21 estaciones, habiéndose abierto la Licitación en 1987, y sólo a finales de 1999 lograron poner en servicio la mitad de esa ampliación, con un coste del orden de los 30.000 Millones de Pta por km. El Metro de Lisboa aumentaba su red en 18 km, con los Proyectos comenzados en 1991. Todos los técnicos de estas y otras ciudades que fueron consultados repetían el párrafo anterior. Es imposible construir 20 km de Metro subterráneo en 4 años.

Pues bien, 4 años después de la orden de comienzo dada por la Consejería de Obras Públicas de la Comunidad de Madrid se han proyectado, construido y puesto en servicio 38 km de Metro subterráneo con 34 estaciones, y 18 km más de Metro al aire libre, con 4 estaciones más. El total en 40 meses es de 56 km de Metro y 39 estaciones. Esto se ha conse-

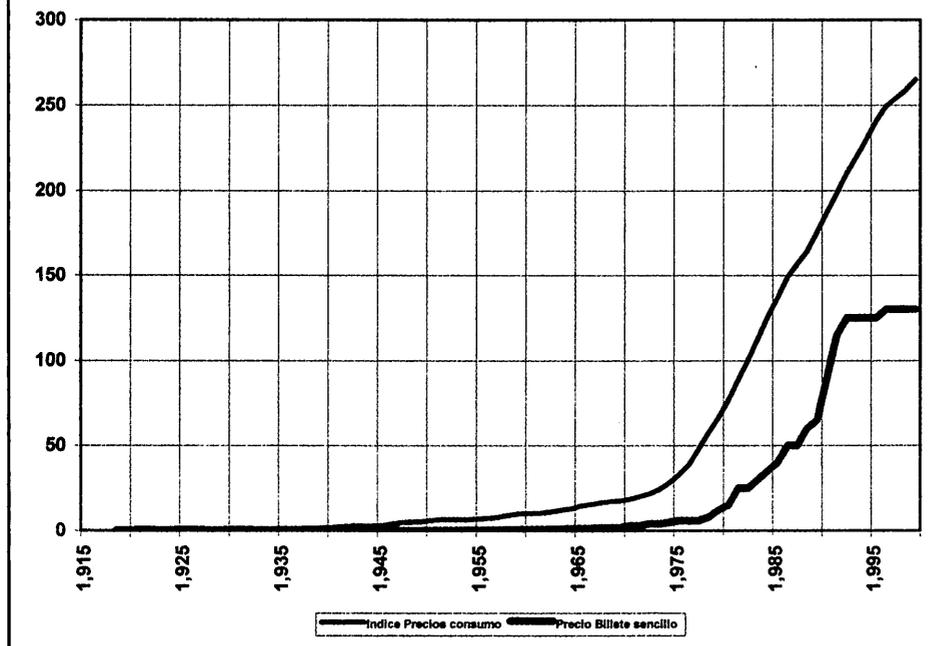


guido además con un coste por kilómetro de 5.201 Millones de Pta por km sin trenes, y 6.091 con trenes, la décima parte del coste de Londres, menos de la tercera parte del coste de Lisboa y menos de la cuarta parte del coste de Atenas y de Los Angeles. Las más importantes revistas internacionales de túneles y obras subterráneas (World Tunnelling, Tunnels & Tunnelling International) han dedicado números especiales a este Proyecto, lo que no había ocurrido antes para ninguna obra del mundo salvo el Canal de La Mancha, y lo dicho en estas revistas sobre la ampliación no se había dicho jamás de ninguna otra obra pública, española o extranjera. Como se ha dicho arriba, en Noviembre de 1999, el World Bank, organismo dedicado entre otras cosas a financiar este tipo de Proyectos de infraestructura a lo largo y ancho del mundo, lo puso como ejemplo para el resto de ciudades, diciendo textualmente, y cito: "the Madrid metro has been expanding its network at costs substantially below the levels that were internationally considered possible. The whole world could learn from this evidently superb manner of procurement and implementation".:

En las siguientes páginas se resumen algunas de las reflexiones y decisiones que llevaron al autor y a su equipo a conseguir lo que no se había conseguido nunca antes en infraestructuras pesadas urbanas.

La red de Metro de Madrid tenía en 1995 una longitud de 120 km y 158 estaciones. Mientras que en los últimos 18 años la población de la ciudad de Madrid descendió del orden de un 10%, las ciudades de la periferia aumentaron su

Figura 2. INDICE DE PRECIOS AL CONSUMO (1918 = 1) y COSTE DEL BILLETE DE METRO (Pta corrientes)



población en un 40%, servidos por autobuses interurbanos y los trenes de Cercanías de RENFE. La necesidad de un aumento de la red de Metro era apremiante.

En la **figura 1** puede verse la evolución del número de viajeros servidos por la red de Metro de Madrid desde sus comienzos en 1919. El máximo tuvo lugar en el período 1968-1975, cuando lo llegaron a utilizar más de 500 millones de viajeros al año. Desde entonces ha ido decreciendo gradualmente, hasta que la aplicación de las nuevas políticas tarifarias por el consorcio Regional de Transportes, creado en 1982, logró incrementar de nuevo su utilización. Esta política tarifaria es, ni más ni menos, que abaratar enormemente el coste del viaje, como puede verse en la **figura 2**. El Metro de Madrid es uno de los más baratos del mundo, y los costes se cubren a través de importantísimas subvenciones de la Comunidad, Ayuntamiento y Estado. Como puede verse en la figura, en 1995 lo utilizaron 358 millones de personas, y con los 56 nuevos km de red de la ampliación de la Comunidad de Madrid los usuarios pasaron a ser 480 Millones en 1999, siguiendo creciendo en número durante los primeros meses del año 2000 en unos porcentajes superiores al 5%. Ya sólo este aumento de más de 120 millones de usuarios da idea de la enorme importancia que ha tenido la Ampliación de Metro de Madrid para la ciudad y para el transporte y la movilidad de toda la Comunidad autónoma. Más aún: cuando un usuario toma un autobús y luego toma otra línea para llegar a su destino, se contabilizan dos viajes de autobús. En Metro de Madrid, sin embargo, un usuario transborda entre líneas para

llegar a su destino y sólo se contabiliza un viaje. El coeficiente de paso de una forma de medir a otra es del orden de 1.6 en el año 2000. Por tanto, el número real de viajes en Metro de Madrid en el año 2000 es del orden de los 770 millones.

Obsérvese en la misma **figura 1** la curva del número de automóviles (turismos) en la Comunidad de Madrid, en color verde. Desde 1960 la motorización ha ido en aumento de forma progresiva, salvo la baja durante la crisis de los años 1980-1985. El descenso del número de usuarios de Metro desde 1975 hasta 1982 se solía achacar a la introducción de la jornada continua, que eliminaba los viajes de mediodía, y sobre todo al aumento en el uso del vehículo privado. De la figura podemos ver sin embargo que esto no parece ser así, ya que en número de usuarios de Metro entre 1995 y 1999 ha aumentado un 20.9% (de 397 a 480 millones), mientras que el número de turismos lo ha hecho en un 16.5% (de 2.23 a 2.60 millones). Una buena red de trans-

porte público eleva sin duda el número de usuarios, que prefieren utilizarla antes que usar su coche.

En la misma figura puede verse, en color azul, la evolución de la población del Municipio de Madrid. Desde 1985 (3.21 millones) hasta 1999 (2.91 millones) ha bajado un 9.2%. El número de usuarios de Metro en este mismo período pasó de 320.8 millones a 480.0 millones, con un aumento del 49.6%. En los últimos 5 años, desde 1995 a 1999, la población del municipio bajó de 3.03 millones a 2.91 millones, un 3.8%, mientras que los usuarios de Metro subieron un 20.9%.

Las elecciones autonómicas de 1995 fueron en Junio. Nombrado a continuación el Gobierno Regional, los Proyectos de la ampliación de 56 km de Metro comenzaron en Agosto. En Diciembre de 1998 estaban ya en servicio 20.8 km de red con 18 nuevas estaciones, y el resto quedó en servicio el 15 de Febrero de 1999.

Para la realización del Programa de Trabajos con el que se ha construido la ampliación, en los primeros meses de trabajo del nuevo equipo se estudiaron los métodos constructivos que era necesario utilizar para cumplir el programa. Se estudiaron los procesos constructivos utilizados en las ampliaciones de Metro importantes que se estaban llevando a cabo en Europa, tales como la de Valencia y Bilbao en España, Lille, Lyon, Toulouse, Paris, Londres, Milán, Roma, Colonia, en el túnel de la Mancha y el Storebaelt y en algunas otras ciudades como Sao Paulo, Los Angeles, Seul, El Cairo, Hong Kong, Santiago y Taipei. Pero fundamentalmente se

estudiaron los procesos constructivos utilizados en el Metro de Madrid desde su primera obra en 1917, ya que las características geotécnicas del terreno y otros condicionantes locales son extremadamente importantes en la acertada elección de los procesos constructivos. Entre otros condicionantes, se pretendía evitar el tener que construir por motivos técnicos las nuevas líneas tan profundas como la Línea 6 Circular o la línea 9, dados los gravísimos inconvenientes que se venían observando tanto para los usuarios, por problemas de accesibilidad, como para el mantenimiento y la explotación. De estos estudios iniciales, y por el interés que puedan tener para el lector u otros profesionales de la Ingeniería de Caminos española, se resumen aquí algunas de las reflexiones del autor que le llevaron a la elección de los métodos con los que se ha trabajado en la Ampliación 1995-99.

Digamos en primer lugar que algunas decisiones a tomar para la construcción de la Ampliación del Metro parecieron evidentes al autor de estas páginas:

▼ 1.- El Proyecto de la Ampliación de Metro de la Comunidad de Madrid sólo tendría éxito si las actividades críticas y peligrosas tenían éxito. Estas actividades eran los túneles de Metro. Estos túneles de gran diámetro son una de las obras más difíciles de la Ingeniería de Caminos. Los túneles de Metro son los más difíciles de construir sin accidentes ni colapsos por ser túneles urbanos, superficiales, en una ciudad densamente habitada, con más de 500 años de antigüedad, con multitud de servicios bajo el pavimento y, sobre todo, por tratarse de suelos y rocas blandas. No era comparable a la construcción de túneles en roca bajo una montaña, donde encima sólo habría pinos, encinas o abetos.

▼ 2.- Para el éxito en la construcción de los túneles era necesario fijar unos criterios claros y prioritarios, a saber:

- Los procesos constructivos debían dar la máxima seguridad a los operarios dentro del túnel.
- Debían dar también la máxima seguridad a los edificios y otras estructuras urbanas situadas encima o en las proximidades de los túneles.
- El túnel debía ser geotécnicamente muy seguro. Se decidió exigir una superficie de frente de suelo expuesto mínima, inferior a la utilizada nunca en túneles urbanos.
- No se tendrían en consideración factores de coste o de plazo frente a los de seguridad en los trabajos subterráneos.

▼ 3.- En consecuencia, se tomó desde el principio la decisión de prohibir los métodos de frente abierto. En concreto, **en los túneles se prohibió el Nuevo Método Austriaco, el Precorte Mecánico** o Premill y los métodos si-

milares. Esta prohibición, que en 1995 causó indignación y estupefacción entre muchos técnicos extranjeros y españoles, hoy comienza a ser un hecho en otros proyectos.

▼ 4.- Ningún proyecto de trabajos subterráneos de la envergadura de estos 38 km de túnel de gran diámetro podía contratarse bajo la modalidad de precio fijo. En opinión del autor es científicamente imposible para ninguna Administración suministrar la información geotécnica completa y adecuada que permita a los Contratistas Licitadores valorar adecuadamente la construcción de un túnel. Incluso con un túnel piloto completo construido como parte del Proyecto de Licitación, las condiciones geotécnicas del macizo pueden variar tan sustancialmente que el contrato quede sin valor alguno y la construcción termine en los tribunales, decidiendo sobre las reclamaciones contractuales. Lo mismo es aplicable a las obras marítimas, las presas y cualquier obra pública en la que la naturaleza juegue un papel importante (¿puede estimarse con certeza e incluir en un Contrato la ola máxima que llegará a un dique de abrigo en un invierno, o la máxima avenida durante la construcción de una presa?). Esto puede comprobarse hoy en los túneles del Pinglin, en Taiwan, donde las tuneladoras llegaron en 1994 y sólo han construido un par de kilómetros en 5 años por este tipo de problemas contractuales. El lector comprenderá que no demos datos de túneles españoles que se han construido a razón de un kilómetro por año cuando podrían haberlo sido a razón de un kilómetro por mes. Se decidió en consecuencia que las modificaciones de los Proyectos que prevé la Ley de Contratos española así como los Proyectos Adicionales serían tratados y tramitados con la máxima prioridad a fin de que los trabajos llevaran el ritmo adecuado y el dinero invertido por los contribuyentes nunca quedara inactivo durante meses o años como ocurría en otros proyectos.

▼ 5.- La selección de los Consultores Autores de los Proyectos y los Contratistas Constructores de los mismos se haría con el máximo cuidado, teniendo en cuenta la experiencia en túneles en suelos blandos de los ingenieros y técnicos propuestos por cada Licitador. Un túnel en suelos blandos es, además de un oficio, un arte, y el Cliente debe elegir al artista de la misma forma que elige a Callas frente a Caballé, o viceversa, para cantar la Norma o Puritani. Los criterios de evaluación de las ofertas se basarían en un 30% en la oferta económica, un 20% para el plazo ofertado y un 50% en las condiciones técnicas y el equipo humano y medios auxiliares. El prepotente funcionario o el Interventor, que en su despacho limpio y enmoquetado, con plantas, banderas, suave música ambiental y aire acondicionado, escribe asépticamente que a la Adminis-

tración sólo debe importarle el coste inicial del Contrato, no está con nosotros, días y noches en el barro, el frío y el agua dentro del túnel con edificios de 13 plantas habitados encima a sólo 20 metros de distancia, ni sabe qué es el que colapse un túnel en una ciudad. Sólo nos exigirá responsabilidades después a los Ingenieros si el túnel colapsa, y nos hará sentar en el banquillo si algo ocurre, como ya hizo con nuestros compañeros los Ingenieros de la Presa de Tous.

▼ 6.- Debía desarrollarse un sistema de control de los trabajos subterráneos que permitiera seguir en detalle y con la máxima precisión la influencia que tenía la excavación de los túneles sobre los edificios y otras estructuras de superficie. Este sistema debía ser capaz de ayudar a detectar los posibles problemas que pudiesen aparecer y estudiar las soluciones correspondientes con el tiempo suficiente para ponerlas en práctica. De esta forma podrían construirse las estructuras adicionales necesarias para la seguridad total de los trabajos, acordar su coste con los Contratistas, aprobar los correspondientes Proyectos Modificados o Complementarios que fuesen necesarios y poner en marcha inmediatamente las soluciones elegidas. Debía conseguirse identificar los problemas con la antelación suficiente para evitar que llegaran a ser irresolubles, como había pasado con los colapsos de los túneles del Metro de Munich o Sao Paulo, los colapsos del Heathrow Express en Londres, las estaciones del metro de Lisboa, los túneles del Metro de Los Angeles o de Atenas, o los gravísimos problemas del enlace Great Belt o Storaebeil en Dinamarca, entre otros grandes proyectos. El sistema fué desarrollado y puesto en práctica, ha permitido seguir la evolución de los más de 8.200 puntos de control situados en toda la ciudad y ha sido una gran ayuda para evitar los colapsos en túneles, que gracias a Dios no se han producido.

▼ 7.- No se contrataría a una gran Consultora nacional o mundial como Project Manager de la ampliación. La experiencia de estas empresas en proyectos similares en otras ciudades demuestra que no resuelven los problemas de coste, de calidad ni de plazo, y el lector comprenderá que el autor no dé más detalles sobre este punto. La dirección de los trabajos de Ampliación se ha llevado por 3 competentes funcionarios de la Comunidad de Madrid, los Ings. de Caminos D.Jesús Trabada, D.Manuel Arnáiz y D. Julián Cuartero. La Dirección y redacción de los Proyectos de Obra Civil e Instalaciones, así como la puesta en marcha de los tramos completos, se ha llevado a cabo por el Director de Metro de Madrid D. Ildelfonso de Matías con su equipo.

▼ 8.- La ampliación de Metro de la Comunidad de Madrid era un proyecto en que la Geotecnia o Mecánica del

Suelo jugaba un factor decisivo. Si se solucionaban los problemas geotécnicos, el proyecto tendría éxito. Se decidió por tanto que los mejores expertos españoles en esta ciencia serían los asesores a tiempo completo de la Dirección de los trabajos. Los Profesores Drs. Ings. de Caminos José M<sup>a</sup> Rodríguez Ortiz (Catedrático de Cimentaciones en la ETS de Arquitectura de Madrid) y Carlos Oteo del Mazo (Prof. Titular de Mecánica del Suelo en la ETS de Caminos de Madrid), ambos con más de 30 años de experiencia en túneles en suelos blandos, han sido un factor decisivo en el éxito de la ampliación. El desarrollo del modelo numérico del comportamiento de las grandes tuneladoras de presión de tierras (EPB) utilizadas, así como el análisis e interpretación de todos los resultados de las medidas de auscultación, ha sido desarrollado por el Dr. Ingeniero de Caminos D. Luis Medina Rodríguez, Profesor de la Escuela de Caminos de Coruña. Además, ya a tiempo parcial, los Profesores César Sagaseta (Catedrático en la ETS de Caminos de Santander), Eduardo Alonso (Catedrático en la ETS de Caminos de Barcelona) colaboraron en el desarrollo y ajuste de otros modelos analíticos, semiempíricos y numéricos de la interacción suelo - túnel - estructuras y en la predicción de subsidencias. También otros prestigiosos catedráticos y titulares de Geotecnia, como los Profesores Ingenieros de Caminos José L Ripoll (E.T.S. Caminos Valencia) y S.Uriel (Catedrático ETS Caminos de Madrid) han colaborado en los trabajos de la Ampliación, así como el Prof. Manuel Romana.

▼ 9.- Como se verá en las páginas que siguen, el método constructivo base elegido fue la utilización de la tuneladoras o escudos de presión de tierras (EPB, earth pressure balance). Por ello, la especificación de las características de estos equipos era muy importante. Esta especificación se hizo directamente por la Dirección General de Infraestructuras de la Consejería de Obras Públicas de la Comunidad de Madrid, quien contrató como asesor especializado a uno de los más prestigiosos expertos españoles en el campo de los túneles mecanizados, el Ingeniero de Caminos D. Felipe Mendaña, recientemente retirado de la constructora Dragados, donde desarrolló estos trabajos durante más de 40 años. Junto a este equipo humano trabajaron los equipos de maquinaria de los contratistas adjudicatarios y los respectivos fabricantes de las tuneladoras. Las 4 grandes tuneladoras EPB que han construido la ampliación de metro, de 9.4 metros de diámetro, son las más potentes que pueden encontrarse a nivel mundial. El empuje máximo de gatos se subió del recomendado de 6.000 t hasta 10.000 t. El par motor de la cabeza de corte, recomendado en 1.600 mt se subió hasta 2.000 mt. Esto, entre otros factores, ha sido clave para el éxito de la excavación de los túneles.

TABLA 1

CIUDAD	PAÍS	FECHA APERTURA	LONGITUD (km)	Nº. LÍNEAS	Nº. ESTACIONES	
1	Londres	REINO UNIDO	1863	408.0	12	275
2	Nueva York	ESTADOS UNIDOS	1904	371.0	25	468
3	Chicago	ESTADOS UNIDOS	1892	358.2	7	143
4	Moscú	FEDERACIÓN RUSA	1935	262.0	11	160
5	París	REP. FRANCESA	1900	211	14	297
6	México City	MÉXICO	1969	189.7	11	167
7	Koln	REP.FEDERAL ALEMANA	1978	189.7	15	221
8	Madrid	ESPAÑA	1919	176.0	11	202
9	Tokyo	JAPÓN	1927	171.5	8	159
10	Valencia	ESPAÑA	1988	156.5	3	96
11	Washington	ESTADOS UNIDOS	1976	154.6	5	78
12	San Francisco	ESTADOS UNIDOS	1972	153.0	5	39
13	Berlin	REP.FEDERAL ALEMANA	1902	143.3	9	169
14	Seúl	REP. DE COREA	1974	134.9	4	115
15	Oslo	NORUEGA	1966	117.0	5	101
16	Osaka	JAPÓN	1933	115.6	7	111
17	Estocolmo	SUECIA	1950	106.1	3	100
18	Hamburgo	REP.FEDERAL ALEMANA	1912	100.7	3	89
19	Stuttgart	REP.FEDERAL ALEMANA	1966	99.9	11	137
20	San Petesburgo	FEDERACIÓN RUSA	1955	98.6	4	58
21	Seúl	REP. DE COREA	1995	89	3	86
22	Munich	REP.FEDERAL ALEMANA	1971	85.0	6	89
23	Singapur	REP. DE SINGAPUR	1987	83	2	48

## 2. ANTECEDENTES DEL METRO DE MADRID

La red de Metro de Madrid es una de las más importantes del mundo. En la tabla 1 se resumen las 20 mayores redes de Metro ordenadas por longitud total de red.

Además, es una de las primeras que se construyeron. La tabla 2 relaciona los primeros Metros construidos en el mundo:

Como se sabe, el 17 de octubre de 1919 a las tres y media de la tarde el Rey Alfonso XIII cortó oficialmente la cinta inaugural del Metropolitano de Madrid en la estación central de Cuatro Caminos, inaugurando el tramo Sol - Cuatro Caminos de la actual Línea 1, con una longitud de 3,5 km y 8 estaciones.

Las dos fotografías de la ceremonia son muy famosas. A la izquierda está la verdadera, en que SM el Rey salió con los ojos cerrados, y a la izquierda está la retocada que suele verse, en la que se le pintaron los ojos abiertos y se colocó detrás al tercero de los fundadores de Metro (Antonio Glez. Echarte, con barba, que no figuraba en la foto original porque se había retirado en aquel momento). Los otros dos fundadores, Miguel Otamendi y Carlos Mendoza, están, mirando la foto, a la izquierda y derecha de SM. Esta es la fotografía que preside la



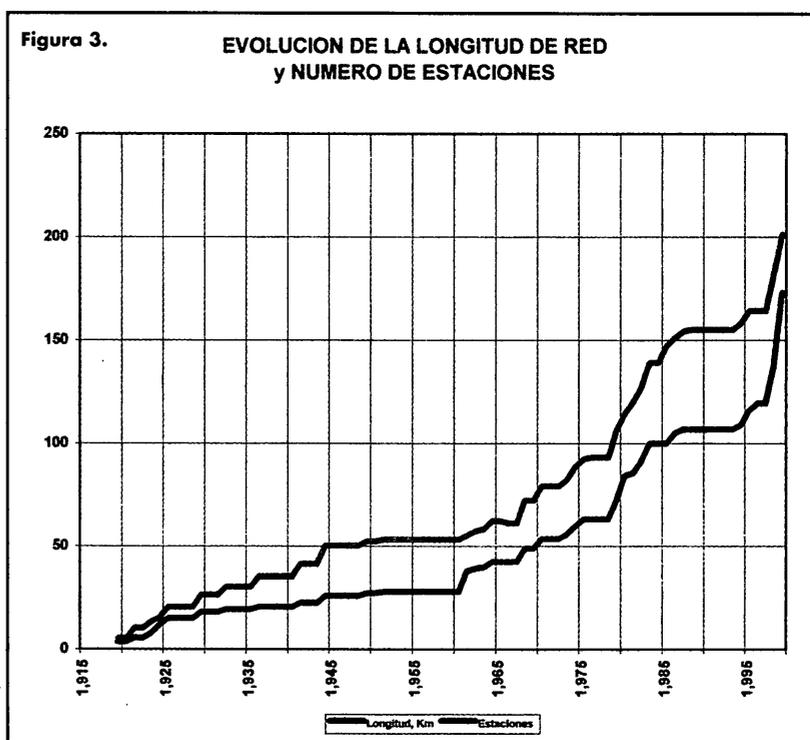
sala del Consejo de Administración de Metro de Madrid, en la calle Cavanilles 58. Metro de Madrid inauguró, en Octubre de 1919, su primera línea (Norte-Sur) cumpliendo puntualmente la fecha de puesta en servicio anunciada en la valla que su instalación en la Puerta del Sol, en julio de 1917.

En 27 meses se construyeron los 3.480 metros de línea y las nueve estaciones que ésta comprendía. Así pues, el ritmo de construcción en 1917-19 fué de casi 130 metros al mes, similar al del último Túnel de Somport o los más rápidos túneles actuales del AVE a Barcelona, por ejemplo. Esta rapidez, y perfección de construcción, que aún hoy, casi un siglo después nos asombra, ya se había puesto de manifiesto en otras obras en la época. El Hotel Palace, con más de 500 habitaciones, fué proyectado, construido y decorado íntegramente en un plazo de trece meses en 1912.

TABLA 2

	CIUDAD	PAÍS	FECHA APERTURA	LONGITUD (km)	Nº. LÍNEAS	Nº. ESTACIONES
1	Londres	REINO UNIDO	1863	408.0	12	275
2	Chicago	ESTADOS UNIDOS	1892	358.2	7	143
3	Glasgow	REINO UNIDO	1896	10.4	1	15
4	Budapest	REP. DE HUNGRÍA	1896	32.3	3	42
5	Boston	ESTADOS UNIDOS	1897	74.5	4	84
6	París	REP. FRANCESA	1900	211	14	297
7	Berlin	REP.FEDERAL ALEMANA	1902	143.3	9	169
8	Atenas	GRECIA	1904	25.8	1	23
9	Nueva York	ESTADOS UNIDOS	1904	371.0	25	468
10	Filadelfia	ESTADOS UNIDOS	1907	38.7	2	53
11	Newark	ESTADOS UNIDOS	1908	22.2	4	13
12	Hamburgo	REP.FEDERAL ALEMANA	1912	100.7	3	89
13	Buenos Aires	ARGENTINA	1913	38.6	5	66
14	Madrid	ESPAÑA	1919	176.0	11	202
15	Barcelona	ESPAÑA	1924	81.0	5	111
16	Tokyo	JAPÓN	1927	171.5	8	159
17	Osaka	JAPÓN	1933	115.6	7	111
18	Moscú	FEDERACIÓN RUSA	1935	262.0	11	160
19	Estocolmo	SUECIA	1950	106.1	3	100
20	Toronto	CANADÁ	1954	56.4	2	66
21	San Petesburgo	FEDERACIÓN RUSA	1955	98.6	4	58
22	Roma	REP. DE ITALIA	1955	38.0	2	45
23	Cleveland	ESTADOS UNIDOS	1955	30.6	1	18
24	Nagoya	JAPÓN	1957	76.5	5	74
25	Haifa	ESTADO DE ISRAEL	1959	1.7	1	6
26	Lisboa	REP.PORTUGAL	1959	27.7	4	40

El rey D. Juan Carlos I, 64 años después de la primera inauguración de su abuelo D. Alfonso XIII, inauguró el kilómetro número 100 en junio de 1983. En esos meses, finales de 1982, el Ministerio de Obras Públicas estaba terminando además los 7.7 km de la línea 9 entre Plaza de Castilla y Sáiz de Baranda, y los 2 kilómetros de la Línea 6 entre Cuatro Caminos y Ciudad Universitaria que habían sido comenzados años antes. Con ellos, la red de Metro de Madrid alcanzaba una longitud de 110 km. En la figura 3 puede observarse el gran crecimiento de la red entre 1960 y 1988, período de 29 años en que pasó de 28.0 km a 112.6 km y de 53 a 155 estaciones. (Tenga en cuenta el lector que la longitud de red citada es la ponderada, realmente en servicio, y medida de eje a eje de estación). En este período la red creció en 84.6 km y en 102 estaciones, con un crecimiento medio de 2.9 kilómetros y 3.5 estaciones por año. Sin embargo este crecimiento ha sido superado por la Ampliación 1995-1999 que se describe en este libro, ya que en este período ha crecido a un ritmo de 8.6 kilómetros y 9.3 estaciones al año, ritmo nunca igualado por ninguna red de Metro del mundo.



En Julio de 1995 la longitud de la red era de 116.5 km. Desde 1982 a Julio de 1995, transferidas ya las competencias de construcción de la infraestructura a la Comunidad de Madrid, se contrataron y construyeron 6.5 nuevos kilómetros, los 6.3 totales del tramo Laguna-Ciudad Universitaria de la Línea 6 (en los que ya estaban construídas las estaciones de Lucero, Alto de Extremadura y Puerta del Angel y el tramo de túnel entre estas dos últimas estaciones, que el Ministerio retrasó por dificultades técnicas, y que tenía una longitud de 1.3 km) y los 1.5 del tramo Portazgo - Miguel Hernández de la Línea 1.

Finalmente, desde 1995 hasta 1999 ha tenido lugar la ampliación que aquí se analiza, 56 km en total con 38 estaciones.

## 2 a.- Las redes de Metro en el Mundo.

En 1900 existían tan sólo 6 redes de Metro en servicio en el Mundo: Londres, Chicago, Glasgow, Budapest, Boston, y París, que abrió ese año.. Entre 1900 y 1925 se construyen y entran en servicio otras 9 (Berlín, Atenas, Nueva York, Filadelfia, Newark, Hamburgo, Buenos Aires, Madrid y Barcelona, que abrió en 1924). Entre 1925 y 1950 se construyen 4 redes de Metro, Tokyo, Osaka, Moscú y Estocolmo. Entre 1950 y 1975 se construyen 31 redes de Metro: Toronto, San Petesburgo, Roma, Cleveland, Nagoya, Haifa, Lisboa, Tokyo, Kiev, Milán, Tbilisi, Stuttgart, Oslo, Montreal

Baku, Frankfurt am Main, Rotterdam, Beijing, México City, Sapporo, Munich, Yokohama, Nurnberg, San Francisco, Pyongyang, Seúl, Praga, Sao Paulo, Kharkov y Santiago. De 1975 a 1999 se han construído 70 nuevas redes en las siguientes ciudades: Bruselas, Viena, Washington, Kobe, Tashkent, Marsella, Essen, Mulheim an der Ruhr, Amsterdam, Lyon, Koln, Edmonton, Hong Kong, Bucarest, Atlanta, Río de Janeiro, Tianjin, Newcastle upon Tyne, Fukuoka, Kyoto, Erevan, Düsseldorf, Helsinki, Lille, Dortmund, Baltimore, Caracas, Calcuta, Volgograd, Minsk, Miami, Pusan, Novosibirsk, Nizhni Novgorod, Buffalo, Recife, Porto Alegre, Vancouver, Belo Horizonte, Sendai, Singapur, Samara, Cairo, Valencia, Estambul, Bochum, Génova, Ekaterinburg, Bonn, Duisburg, Shanghai, Toulouse, Nápoles, Los Angeles, Hiroshima, Seúl, Dnipropetrovsk, Bilbao, Varsovia, Medellín, Ankara, Taegu, Guangzhou, Taipei, Kuala Lumpur, Sofía, Inchon, Brasilia y Rhein Ruhr. No se incluye el de Sevilla, que no se termina por problemas de asientos entre otros, se tapa y se abandona con 8 estaciones construídas y más de 4 km de túnel terminado, si bien en el 2000 parece que van a continuar los trabajos. Están en construcción varios más, como los de Bagdad, Medellín, Bangkok, Madrás, Yakarta, Trípoli y Teherán. En total había en 1999 un total de 116 ciudades con red de Metro en el mundo, con el reparto que se indica en la tabla 3.

A este crecimiento exponencial de ciudades que se suman a las que cuenta con una red de Metro hay que añadir las sucesivas ampliaciones de las distintas redes existentes entre las

**TABLA 3****METROS DEL MUNDO**

CONTINENTE	CIUDADES	OPERADORES
ASIA	27	29
RUSIA & CIS	15	15
EUROPA	45	45
AFRICA	1	1
NORTEAMÉRICA	17	17
SURAMERICA	11	11
<b>TOTAL</b>	<b>116</b>	<b>118</b>

que destacan las de Madrid, tanto por su extensión como por su cortísimo plazo de ejecución. No se han considerado las múltiples redes europeas de los RER, S-Bahn o de cercanías, por considerarlas enmarcadas en el ámbito de las administraciones nacionales ferroviarias.

Pese al auge de los sistemas de capacidad intermedia, denominados metros ligeros, o tranvías urbanos, la construcción de redes de Metro goza, por tanto, de un excelente reconocimiento internacional. Su distribución geográfica redescubre las grandes ciudades del mundo entero, si bien la Europa de los quince concentra cuarenta y cinco de ellas, a las que hay que añadir otras quince en los países de la Europa del Este. América cuenta con veintiocho redes, de las cuales trece están en Estados Unidos, cuatro en Canadá, una en Méjico, y diez en América del Sur. África cuenta con la red de El Cairo, y las de Trípoli, Túnez y Alejandría en construcción. Asia completa las veintisiete ciudades restantes.

La Unión Europea presenta, por lo tanto, la mayor concentración de redes de Metro en el mundo. A escala mundial, la red de Madrid ocupa el octavo lugar por longitud de red, después de las de Londres, Nueva York, Chicago, Moscú, París, México City y Koln, si bien aquí se ha tenido en cuenta toda la red, y no sólo la red subterránea que es la importante. Por número de estaciones ocupa el quinto lugar, después de Nueva York, París, Londres y Koln, si bien debe repetirse lo mismo. Si se cuenta sólo el metro subterráneo, que es el que no molesta al tráfico en superficie ni a la ciudad, Madrid es la tercera ciudad del mundo, tras París y Londres, y muy cerca de Londres. Por número de viajeros ocupa el decimoséptimo lugar, después de Moscú, Tokyo, Seúl, México City, Nueva York, París, Osaka, Londres, Hong Kong, San Petesburgo, Cairo, Sao Paulo, Tokyo, Beijing, Nagoya, Seúl y Praga.

Madrid ocupa, por tanto, el cuarto lugar entre los metros de la Unión Europea, teniendo en cuenta los criterios de longitud de red, número de estaciones, y viajeros que lo utilizan anualmente, después de Londres, París y prácticamente igualada con Berlín y entre el sexto y el decimocuarto a nivel mundial. Las distintas ciudades están realizando extensiones de sus redes de Metro, y existe una gran actividad en las grandes

## Experiencias y resultados de la ampliación 1995-1999. 38 km de túnel y 34 estaciones en 40 meses

capitales europeas en la construcción de nuevas líneas de Metro o la ampliación de las existentes. Baste citar el caso de la Jubilee Line en Londres, la Meteor en París, las nuevas líneas de Metro de Atenas y Lisboa, y la progresiva y constante ampliación del metro de Munich, a razón de 3 km anuales desde su puesta en servicio, hace ya 30 años. El año 1999 las redes

de metro europeas presentaban las características reflejadas en la tabla 4.

En el caso del Plan de Ampliación del Metro de Madrid, las nuevas líneas construidas duplican las realizaciones europeas más ambiciosas. Los tramos abiertos desde 1986 hasta 1995 fueron los indicados en la tabla 5.

**TABLA 4. METROS DE EUROPA, 1999**

CIUDAD	FECHA APERTURA	LONGITUD (km)	LÍNEAS	ESTACIONES	EMPLEADOS	VIAJEROS / AÑO
1	París	211	14	297	15,322	1,156.0
2	Londres	408.0	12	275	16,000	868.0
3	Madrid	176.0	11	202	5,568	480.0
4	Praga	50.1	3	50	4,186	407.0
5	Berlin	143.3	9	169	4,000	400.0
6	Viena	58.0	5	82	2,597	378.0
7	Milán	69.3	3	84	9,580	307.1
8	Budapest	32.3	3	42	2,563	297.0
9	Munich	85.0	6	89	4,020	285.6
10	Barcelona	81.0	5	111	2,517	277.9
11	Estocolmo	106.1	3	100	1,800	269.0
12	Koln	189.7	15	221	3,200	220.0
13	Roma	38.0	2	45	1,430	217.0
14	Düsseldorf	62.7	7	100	3,459	198.9
15	Hamburgo	100.7	3	89	1,800	169.0
16	Stuttgart	99.9	11	137	2,850	166.0
17	Atenas	25.8	1	23	1,431	164.0
18	Nurnberg	29.8	2	39	1,966	162.0
19	Frankfurt Main	56.2	7	83	1,153	151.0
20	Lyon	27.5	4	39	3,563	125.4
21	Lisboa	27.7	4	40	2,172	125.3
22	Bucarest	59.2	3	45	6,016	117.3
23	Bochum	14.9	1	21	2,116	105.6
24	Dortmund	67.1	6	22	1,752	103.6
25	Bruselas	40.6	3	64	214	89.8
26	Essen	22.0	3	25	2,360	88.5
27	Amsterdam	60.6	4	49	650	78.0
28	Rotterdam	75.9	2	42	3,800	77.7
29	Bonn	43.3	6	82	1,151	69.5
30	Oslo	117.0	5	101	936	57.0
31	Marsella	19.3	2	24	2,706	54.0
32	Helsinki	21.1	1	16	152	50.0
33	Bilbao	28.1	1	27	447	49.1
34	Duisburg	17.1	1	19	1,230	47.2
35	Lille	40.0	2	55	1,700	47.0
36	Toulouse	10.0	1	15	143	44.8
37	Varsovia	12.5	1	12	971	37.0
38	Newcastle	59.1	2	46		35.3
39	Valencia	156.5	3	96	967	24.2
40	Glasgow	10.4	1	15	333	14.7
41	Sofía	7.0	1	6	517	11.0
42	Mulheim Ruhr	10.9	1	17	589	4.6
43	Génova	3.1	1	3	40	3.2
44	Rhein Ruhr					
45	Nápoles	9.5	1	9		

TABLA 5

LÍNEA	TRAMO	CONSTRUCTOR	APERTURA	METROS	EMPRESA
9	Sainz de Baranda-Avda. America	ESTADO	24-feb-86	3,221	ENTRECANALES
Antigua 8	Nuevos Ministerios-Avda. America	ESTADO	23-dic-86	1,664	CMZ-DRAGADOS
6	Ciudad Universitaria-Cuatro Caminos	ESTADO	13-ene-87	2,076	DRAGADOS
1	Portazgo-Miguel Hernández	COMUNIDAD	7-abr-94	1,855	CONSTR.Y CONTR.
6	Laguna-Lucero	ESTADO	5-may-95	785	CUBIERTAS
6	Lucero-Puerta del Ángel	ESTADO	5-may-95	1,960	CUBIERTAS
6	Puerta del Ángel-Príncipe Pio	COMUNIDAD	5-may-95	1,146	AGROMAN
6	Príncipe Pio-Moncloa	COMUNIDAD	5-may-95	1,901	AUXINI
6	Moncloa-Ciudad Universitaria	COMUNIDAD	5-may-95	1,326	ENTRECANALES
<b>TOTAL</b>				<b>15,934</b>	

En Julio de 1995 la Comunidad de Madrid se replanteó en profundidad la política llevada a cabo por el Consorcio en la década anterior, recuperando el déficit de red y llevando a cabo el programa de ampliación de la red más ambicioso de la historia de Metro: la prolongación de la red en un mínimo de 20 kilómetros en tan sólo cuatro años (que finalmente, como se ha dicho, ha resultado en 56 nuevos km), debiendo realizar en este período los Estudios Informativos, los Proyectos de Construcción y la ejecución de las obras de infraestructura y de superestructura.

Los tramos abiertos desde 1996 hasta 1999 fueron los reflejados en la tabla 6.

El diagrama de crecimiento de la red desde su origen puede verse en la citada figura 3.

### 3. PROGRAMA DE TRABAJOS GENERAL. PROYECTOS Y OBRAS

El camino crítico de la programación global del Proyecto de la Ampliación resulta ser el que pasa por la construcción de las estaciones. En la ampliación había que construir 38 estaciones, y cada estación es un complejo edificio subterráneo con multitud de accesos, losas a diferentes niveles, cuartos de equipos electromecánicos, y sofisticadas instalaciones de señalización y enclavamientos de vía, línea aérea y otras. Terminadas a principio del año 95 las estaciones de Arguelles, Moncloa, y la remodelación del intercambiador modal de Príncipe Pio, a partir de los programas de trabajos correspondientes se

TABLA 6

LÍNEA	TRAMO	CONSTRUCTOR	APERTURA	METROS	EMPRESA
10	Lago-Príncipe Pío	COMUNIDAD	26-dic-96	2,600	DRAGADOS
10	Príncipe Pío-Plaza de España	COMUNIDAD	26-dic-96	1,100	NECSO
10	Alonso Martínez-Nuevos Ministerios	COMUNIDAD	22-ene-98	1,620	FOMENTO
7	Avda. America-Gregorio Marañón	COMUNIDAD	13-feb-98	1,250	NECSO
4	Esperanza-Mar de Cristal	COMUNIDAD	27-abr-98	2,040	DRAGADOS
8	Mar de Cristal-Campo de las Naciones	COMUNIDAD	24-jun-98	2,630	DRAGADOS-NECSO-ACS
7	Gregorio Marañón-Canal	COMUNIDAD	16-oct-98	1,020	NECSO
11	Plaza Elíptica-Pan Bendito	COMUNIDAD	16-nov-98	2,600	DRAGADOS
9	Pavones-Puerta Arganda	COMUNIDAD	1-dic-98	4,600	NECSO-ACS
4	Mar de Cristal-Pque. Sta. María	COMUNIDAD	15-dic-98	2,310	DRAGADOS
7	Canal-Guzmán el Bueno	COMUNIDAD	12-feb-99	2,100	NECSO-FERROVIAL
7	Guzmán el Bueno-Valdezarza	COMUNIDAD	12-feb-99	2,550	FERROVIAL
1	Miguel Hernández-Congosto	COMUNIDAD	2-mar-99	2,830	AGROMAN-AUXINI
7	Valdezarza-Pitis	COMUNIDAD	29-mar-99	4,210	CUBIERTAS-MZOV
9	Puerta Arganda-Arganda	COMUNIDAD	7-abr-99	18,300	CONCESION TFM
8	Campo de las Naciones-Aeropuerto	COMUNIDAD	14-jun-99	4,000	DRAGADOS-FOMENTO
8	Aeropuerto-Barajas Pueblo	COMUNIDAD	7-sep-99	1,600	DRAGADOS-FOMENTO
<b>TOTAL</b>				<b>57,360</b>	

**TABLA 7. AMPLIACIÓN DE METRO 1995-99**

TRAMO A CONSTRUIR	Km de túnel	ESTACIONES
1.- LÍNEA 10 LAGO-P. PÍO	2,67	0
2.- LÍNEA 10 P. PÍO-PL. ESPAÑA		0
3.- LÍNEA 4 PROLONG. HORTALEZA	2,04	2
4.- UNIÓN LÍNEAS 8-10	1,62	1
5.- UNIÓN LÍNEAS 7-8	1,25	1
6.- LÍNEA 9 PROLONGACIÓN a VICÁLVARO	4,60	4
7.- LÍNEA 8 MAR CRISTAL-FERIALES	2,63	2
8.- LÍNEA 7 Dr. MARAÑÓN-G. EL BUENO	2,48	5
9.- LÍNEA 7 G. EL BUENO-VALDEZARZA	2,74	2
10.- LÍNEA 7 VALDEZARZA-PITIS	4,51	6
11.- LÍNEA 1 PROLONG. VALLECAS VILLA	2,67	4
12.- LÍNEA 11 PROLONG. CARABANCHEL	2,60	3
13.- LÍNEA 4 MAR CRISTAL-Pque.Sta.MARÍA	2,31	2
<b>SUMAS</b>	<b>32,05</b>	<b>32</b>

vió que el plazo mínimo necesario para la construcción de una estación de estas características era de 20 meses, pudiéndose reducir a 18 meses si se lograra una perfecta planificación. En este plazo, y suponiendo que la obra civil y la arquitectura no dieran problemas especiales, el camino crítico pasaba por las instalaciones electromecánicas propias de Metro. Se decidió por tanto programar las estaciones en un plazo de 24 meses, con las instalaciones incluidas.

Con estos datos de partida, era necesario proyectar y construir las 13 siguientes obras que se indican en la tabla 7.

De estos 13 tramos, era necesario hacer los Proyectos de los 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12, y rehacer o modificar los de los tramos 1 y 2 para pasar bajo el río Manzanares, 4 y 5 para construir el Intercambiador de Gregorio Marañón en lugar de estaciones separadas, modificar el 9 para reducir al máximo la superficie de pantallas a construir y subir la rasante bajo el cruce con RENFE en Vicálvaro, y los 3 y 13 para ajustar la estación de Mar de Cristal al intercambio con el nuevo ramal a Recintos Feriales y posteriormente al Aeropuerto. En definitiva, había que proyectar los 13 tramos casi en su totalidad.

En consecuencia, las actividades a realizar para cada una de las obras a construir debían ser las siguientes:

▼ 1.- Reestudiar y definir la solución óptima obtenida de los estudios de demanda y los modelos de transporte del Consorcio Regional de Transportes. El Consorcio debería estudiar los aún no estudiados.

▼ 2.- Licitación y contratar las Asistencias Técnicas para la Redacción de los Proyectos de Construcción.

▼ 3.- Redactar los Proyectos de Construcción. No es el momento ni la ocasión de hablar sobre cómo debe redactarse un Proyecto. Baste decir que la Planificación Gene-

ral exigía que todas las obras estuvieran comenzando la construcción en Diciembre de 1996.

▼ 4.- Aprobado el Proyecto, licitar y contratar las obras correspondientes. Como las licitaciones superaban en todos los casos un umbral económico determinado, las licitaciones debían anunciarse en el Boletín de las Comunidades Europeas, lo que en determinadas circunstancias exigía un plazo de licitación muy superior al de licitaciones sólo en España.

▼ 5.- Construir las obras. En ningún caso el Plazo definido en el Proyecto era inferior a los 24 meses.

Estos 5 pasos definían el Plan Global de la ampliación de Metro de la Comunidad de Madrid. Tal vez se sorprenda el lector de que se citen expresamente actividades pura-

mente administrativas como las 2 y 4. Sin embargo, los trámites administrativos tienen una enorme importancia en el Programa de Trabajos General, y los plazos necesarios para el funcionamiento de la maquinaria administrativa, Servicios de Contratación, Intervenciones, etc., son importantes, lo que por otra parte conoce sin duda cualquiera de los lectores que tenga su trabajo en la Administración Pública. En los gráficos Diagramas de Gantt obtenidos del PERT general pudo verse que las actividades y trámites administrativos eran casi tan largos como la construcción de las propias obras.

#### 4. LICITACIONES Y ADJUDICACIONES DE LOS PROYECTOS Y OBRAS

Se ha dicho que hubo que modificar los proyectos de los tramos 1, 2, 4, 5, 9, 3 y 13, y hacer completos los de los tramos 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12. Las fechas fueron las reflejadas en la tabla 8.

Teniendo en cuenta las modificaciones realizadas a los tramos que así lo exigieron, la tabla anterior quedó de la forma indicada en la tabla 9.

Las licitaciones de las obras fueron haciéndose conforme los proyectos correspondientes iban siendo aprobados por el Servicio de Supervisión correspondiente de la Comunidad, y su Licitación era aprobada posteriormente por la Consejería. Las fechas de comienzo de los proyectos (o de su última modificación) y de la licitación de las correspondientes obras son las que se ven en la tabla 10.

Las obras 1 y 2 acababan de ser adjudicadas justo antes de las elecciones autonómicas, pero no habían comenzado. Una vez licitadas y adjudicadas las obras, el comienzo oficial de cada una de ellas es la fecha del acta de replanteo. En la

**TABLA 8. AMPLIACIÓN DE METRO 1995-99**

PROYECTO	ACCIÓN	LICITACIÓN	CONTRATACIÓN
1.- LÍNEA 10 LAGO-P. PÍO	MODIFICAR		1 Sep 95
2.- LÍNEA 10 P. PÍO-PL. ESPAÑA	MODIFICAR		1 Sep 95
3.- LÍNEA 4 PROLONG. HORTALEZA	MODIFICAR	29 Ago 94	20 Dic 94
4.- UNIÓN LÍNEAS 8-10	MODIFICAR	5 Nov 93	22 Abr 94
5.- UNIÓN LÍNEAS 7-8	MODIFICAR	5 Nov 93	27 Nov 95
6.- LÍNEA 9 PROLONGACIÓN a VICÁLVARO	MODIFICAR	25 Nov 94	18 Abr 95
7.- RAMAL MAR CRISTAL-REC. FERIALES	NUEVO	12 Mar 96	28 May 96
8.- LÍNEA 7 Dr. MARAÑÓN-GUZMÁN EL BUENO	NUEVO	21 Nov 95	19 Ene 96
9.- LÍNEA 7 GUZMÁN EL BUENO-LA PALOMA	NUEVO	21 Nov 95	19 Ene 96
10.- LÍNEA 7 LA PALOMA-PITIS	NUEVO	21 Nov 95	19 Ene 96
11.- LÍNEA 1 PROLONG. A VALLECAS VILLA	NUEVO	12 Mar 96	29 May 96
12.- LÍNEA 11 PROLONG. A CARABANCHEL	NUEVO	27 Mar 96	30 May 96
13.- LÍNEA 4 MAR CRISTAL-Pque.Sta.MARÍA	MODIFICAR	29 Ago 94	1 Sep 95

**TABLA 9. AMPLIACIÓN DE METRO 1995-1999. PROYECTOS**

PROYECTO	CONTRATACIÓN	MODIFICACIÓN
1.- LINEA 10 LAGO-P. PIO	1 Sep 95	1 Sep 95
2.- LINEA 10 P. PIO-PL. ESPAÑA	1 Sep 95	1 Sep 95
3.- LINEA 4 PROLONG. HORTALEZA	20 Dic 94	1 Sep 95
4.- UNION LINEAS 8-10	22 Abr 94	1 Sep 95
5.- UNION LINEAS 7-8	27 Nov 95	27 Nov 95
6.- LINEA 9 PROLONGACION a VICALVARO	18 Abr 95	18 Abr 95
7.- RAMAL MAR CRISTAL - REC. FERIALES	28 May 96	28 May 96
8.- LINEA 7 Dr. MARAÑÓN-GUZMÁN EL BUENO	19 Ene 96	19 Ene 96
9.- LINEA 7 GUZMÁN EL BUENO - LA PALOMA	19 Ene 96	19 Ene 96
10.- LINEA 7 LA PALOMA - PITIS	19 Ene 96	19 Ene 96
11.- LINEA 1 PROLONG. A VALLECAS VILLA	29 May 96	29 May 96
12.- LINEA 11 PROLONG. A CARABANCHEL	30 May 96	30 May 96
13.- LINEA 4 MAR CRISTAL - Pque.Sta.MARIA	1 Sep 95	1 Sep 95

**TABLA 10. AMPLIACION DE METRO 1995-1999. PROYECTOS Y OBRAS**

PROYECTO	CONTRATACIÓN O MODIFICACIÓN DEL PROYECTO	LICITACIÓN DE LAS OBRAS
1.- LÍNEA 10 LAGO-P. PÍO	1 Sep 95	ADJUDICADA
2.- LÍNEA 10 P. PÍO-PL. ESPAÑA	1 Sep 95	ADJUDICADA
3.- LÍNEA 4 PROLONG. HORTALEZA	1 Sep 95	14 Nov 95
4.- UNIÓN LÍNEAS 8-10	1 Sep 95	14 Nov 95
5.- UNIÓN LÍNEAS 7-8	27 Nov 95	6 Feb 96
6.- LÍNEA 9 PROLONGACIÓN a VICALVARO	18 Abr 95	8 Abr 96
7.- RAMAL MAR CRISTAL-REC. FERIALES	28 May 96	30 Oct 96
8.- LÍNEA 7 Dr. MARAÑÓN-GUZMÁN EL BUENO	19 Ene 96	5 Ago 96
9.- LÍNEA 7 GUZMÁN EL BUENO-LA PALOMA	19 Ene 96	30 Ago 96
10.- LÍNEA 7 LA PALOMA-PITIS	19 Ene 96	30 Oct 96
11.- LÍNEA 1 PROLONG. A VALLECAS VILLA	29 May 96	21 Oct 96
12.- LÍNEA 11 PROLONG. A CARABANCHEL	30 May 96	19 Sep 96
13.- LÍNEA 4 MAR CRISTAL-Pque.Sta.MARÍA	1 Sep 95	29 Nov 96

**TABLA 11. AMPLIACIÓN DE METRO 1995-1999. COMIENZO DE LAS OBRAS**

PROYECTO	LICITACIÓN DE LAS OBRAS	COMIENZO DE LAS OBRAS (ACTA DE REPLANTEO)
1.- LÍNEA 10 LAGO-P.PIO	ADJUDICADA	ADJUDICADA
2.- LÍNEA 10 P.PIO-PL.ESPAÑA	ADJUDICADA	ADJUDICADA
3.- LÍNEA 4 PROLONG.HORTALEZA	14 Nov 95	16 Mar 96
4.- UNIÓN LÍNEAS 8-10	14 Nov 95	30 Abr 96
5.- UNIÓN LÍNEAS 7-8	6 Feb 96	10 Jun 96
6.- LÍNEA 9 PROLONGACIÓN a VICÁLVARO	8 Abr 96	22 Jul 96
7.- RAMAL MAR CRISTAL-REC. FERIALES	30 Oct 96	15 Mar 97
8.- LÍNEA 7 Dr.MARAÑÓN-GUZMÁN EL BUENO	5 Ago 96	11 Nov 96
9.- LÍNEA 7 GUZMÁN EL BUENO-LA PALOMA	30 Ago 96	11 Nov 96
10.- LÍNEA 7 LA PALOMA-PITIS	30 Oct 96	11 Nov 96
11.- LÍNEA 1 PROLONG. A VALLECAS VILLA	21 Oct 96	17 Feb 97
12.- LÍNEA 11 PROLONG. A CARABANCHEL	19 Sep 96	17 Feb 97
13.- LÍNEA 4 MAR CRISTAL-Pque.Sta.MARÍA	29 Nov 96	20 May 97

**TABLA 12. AMPLIACIÓN DE METRO 1995-1999**

OBRA	DÍAS ENTRE LICITACIÓN PROYECTO Y ACTA DE REPLANTEO
1.- LÍNEA 10 LAGO-P.PIO	
2.- LÍNEA 10 P.PIO-PL.ESPAÑA	
3.- LÍNEA 4 PROLONG.HORTALEZA	565
4.- UNIÓN LÍNEAS 8-10	907
5.- UNIÓN LÍNEAS 7-8	948
6.- LÍNEA 9 PROLONGACIÓN a VICÁLVARO	605
7.- RAMAL MAR DE CRISTAL-RECINTOS FERIALES	368
8.- LÍNEA 7 Dr.MARAÑÓN-GUZMAN EL BUENO	356
9.- LÍNEA 7 GUZMAN EL BUENO-LA PALOMA	356
10.- LÍNEA 7 LA PALOMA-PITIS	356
11.- LÍNEA 1 PROLONGACIÓN A VALLECAS VILLA	342
12.- LÍNEA 11 PROLONG. A CARABANCHEL	342
13.- LÍNEA 4 PROL. MAR CRISTAL-Pque.Sta. MARÍA	995

**TABLA 13. AMPLIACIÓN DE METRO 1995-1999**

OBRA	MÉTODO CONSTRUCTIVO
1.- LÍNEA 10 LAGO-P.PIO	EPB EXISTENTE F 6.70 m 1 VÍA
2.- LÍNEA 10 P.PIO-PL.ESPAÑA	CLÁSICO MADRID
3.- LÍNEA 4 PROLONG.HORTALEZA	EPB nº 2 NUEVA F9.50 m 2 VÍAS
4.- UNIÓN LÍNEAS 8-10	CLÁSICO MADRID
5.- UNIÓN LÍNEAS 7-8	CLÁSICO MADRID
6.- LÍNEA 9 PROLONGACIÓN a VICÁLVARO	EPB nº 3 NUEVA F9.50 m 2 VÍAS
7.- RAMAL MAR DE CRISTAL-RECINTOS FERIALES	2 EPB EXISTENTES 1 VÍA
8.- LÍNEA 7 Dr.MARAÑÓN-GUZMÁN EL BUENO	EPB nº 4 NUEVA F9.50 m 2 VÍAS
9.- LÍNEA 7 GUZMÁN EL BUENO-LA PALOMA	EPB nº 4 NUEVA F9.50 m 2 VÍAS
10.- LÍNEA 7 LA PALOMA-PITIS	EPB nº 1 NUEVA F9.50 m 2 VÍAS
11.- LÍNEA 1 PROLONGACIÓN A VALLECAS VILLA	CLÁSICO MADRID Y PANTALLAS
12.- LÍNEA 11 PROLONG. A CARABANCHEL	CLÁSICO MADRID Y PANTALLAS
13.- LÍNEA 4 PROL. MAR CRISTAL - Pque.Sta. MARÍA	EPB nº 2 NUEVA F9.50 m 2 VÍAS

tabla 11 se resumen las fechas de licitación y del acta de replanteo.

Finalmente, y como curiosidad, en la tabla 12 se resumen los días que se ha tardado entre la Licitación del Proyecto y el comienzo real y efectivo de las correspondientes obras.

La situación final, tras todas las adjudicaciones de las obras, en lo que respecta a los métodos constructivos fué la indicada en la tabla 13.

De esta forma, se planeó la ampliación de forma que trabajaran en las obras 4 grandes tuneladoras EPB para túnel de 2 vías (2 de ellas Mitsubishi F9.40 m y otras 2 Herrenknecht F9.40 m), más 2 tuneladoras EPB de una vía, ambas ya existentes en España procedentes de trabajos anteriores. De éstas tuneladoras pequeñas una de ellas, LOVAT F7.40 m, acababa de terminar un túnel de RENFE en Madrid, y la otra, Herrenknecht, F6.52 m, un tramo de la Línea 3 del Metro de Valencia.

### **5. ACCESO AL AEROPUERTO. UNA OBRA MÁS**

A principios de 1997 ya podía verse que la ampliación iba en ritmo. El Gobierno Regional decidió, a través de la Consejería de

TABLA 14. AMPLIACIÓN DE METRO 1995-1999. DURACIÓN DE LAS OBRAS

PROYECTO	Km	COMIENZO DE LAS OBRAS (ACTA DE REPLANTEO)	INAUGURACIÓN DE LAS OBRAS	MESES
1.- LÍNEA 10 LAGO-P. PÍO	2.60	10 Jul 95	26 Dic 96	18
2.- LÍNEA 10 P. PÍO-PL. ESPAÑA		10 Jul 95	26 Dic 96	18
3.- LÍNEA 4 PROLONG. HORTALEZA	2.04	16 Mar 96	27 Abr 98	23
4.- UNIÓN LÍNEAS 8-10	1.62	30 Abr 96	22 Ene 98	21
5.- UNIÓN LÍNEAS 7-8	1.25	10 Jun 96	16 Oct 98	26
6.- LÍNEA 9 PROLONGACIÓN a VICALVARO	4.60	22 Jul 96	1 Dic 98	28
7.- LÍNEA 8 MAR CRISTAL-CAMPO NACIONES	2.63	15 Mar 97	24 Jun 98	15
8.- LÍNEA 7 Dr. MARAÑÓN-GUZMÁN EL BUENO	2.48	11 Nov 96	31 Ene 99	26
9.- LÍNEA 7 GUZMÁN EL BUENO-VALDEZARZA	2.74	11 Nov 96	31 Ene 99	26
10.- LÍNEA 7 VALDEZARZA-PITIS	4.51	11 Nov 96	31 Ene 99	26
11.- LÍNEA 1 PROLONG. A VALLECAS VILLA	2.67	17 Feb 97	31 Ene 99	24
12.- LÍNEA 11 PROLONG. A CARABANCHEL	2.60	17 Feb 97	16 Nov 98	20
13.- LÍNEA 4 MAR CRISTAL-Pque. Sta. MARÍA	2.31	20 May 97	15 Dic 98	18
14.- LÍNEA 8 CAMPO NACIONES-BARAJAS	5.60	15 Mar 97	24 Jun 98	15

Obras Públicas, incluir en el ambicioso plan de ampliación una nueva obra, la conexión del Aeropuerto de Barajas con la estación de Campo de las Naciones. El equipo responsable de la Ampliación, en la Dirección General de Infraestructuras, decidió la construcción con dos tuneladoras, comenzando una por cada extremo.

El túnel de 5.600 metros se construyó en el increíble plazo de 7 meses, y la obra se puso en servicio el 24 de Junio de 1998.

## 6. RESULTADOS DE LA AMPLIACIÓN

Los métodos constructivos y la gestión de este gran Proyecto fueron los adecuados. Todas las obras se terminaron en los plazos previsto. No hubo accidentes en las obras subterráneas de los túneles y estaciones, ni colapsos en superficie ni daños estructurales en los edificios. La tabla 14 resume la duración de los trabajos de cada Contrato

Como puede ver el lector, los rendimientos han sido verdaderamente excepcionales, nunca antes obtenidos en España o en otros países del mundo. Ser capaces de construir una pesada obra civil como la 14, casi 6 kilómetros de gran túnel con dos estaciones como la del Aeropuerto de Barajas y la de Barajas Pueblo en 15 meses es una hazaña única. Valga como comparación para el lector un túnel de longitud similar, el

túnel de Somport, en los Pirineos, que en su parte española ha tardado en terminarse más de 5 años, pese a no tener estaciones. Se repite que los 5.6 km del túnel de esta última obra se construyeron en el plazo de 7 meses. Ello demuestra la calidad de las empresas Consultoras y Constructoras españolas, y en general la calidad de los ingenieros de Caminos e Ingenieros Técnicos de Obras Públicas españoles. Y demuestra también la enorme importancia que tienen los máximos responsables políticos en los grandes Proyectos de Infraestructuras y Obras Públicas. El empuje, la ilusión y el apoyo dado a este gran proyecto de la Ampliación del Metro de Madrid dado por el Excmo. Sr. Consejero de Obras Públicas, D. Luis Eduardo Cortés y por el Excmo. Sr. Presidente de la Comunidad de Madrid, D. Alberto Ruiz Gallardón, han sido sin duda los motivos fundamentales del éxito del proyecto.

## 7. COSTE DE LA AMPLIACIÓN

El coste de la Ampliación, desglosado por Proyectos, y teniendo en cuenta todos los costes (los Modificados que ha sido necesario hacer a los diferentes Proyectos, las obras adicionales incluidas tras la adjudicación de los distintos Contratos, los tratamientos del terreno y protecciones a edificios y estructuras, las Liquidaciones de las Obras, etc) ha sido el indicado en la tabla 15. ■

**TABLA 15. COSTE TOTAL DE LA AMPLIACIÓN DE METRO DE MADRID 1995-99**

LÍNEA Y TRAMO	KM	ESTAC.	COSTE, MILLONES DE Ptas.			
			TOTAL	INSTALAC.	CONTROL y CALIDAD	OBRA CIVIL
LÍNEA 10 P.PIO-PL.ESPAÑA		0	3,206	834	119	2,253
LÍNEA 10 LAGO-P.PIO	2.6	0	7,634	2,661	187	4,786
UNIÓN LÍNEAS 8-10	1.6	1	9,774	1,865	287	7,622
UNIÓN LÍNEAS 7-10 Avda.América- Gr. Marañón	1.3	1	4,710	508	147	4,055
LÍNEA 4 PROLONG.HORTALEZA	2.0	2	9,486	1,720	257	7,509
LÍNEA 8 RAMAL A RECINTOS FERIALES	2.6	2	12,845	1,034	355	11,456
LÍNEA 7 Dr.MARAÑÓN - CANAL	1.0	3	Incluído	Incluído	Incluído	Incluído
LÍNEA 11 PROLONG.CARABANCHEL	2.6	3	12,158	1,457	334	10,367
LÍNEA 9 PROLONGACIÓN VICÁLVARO	4.6	4	23,150	2,883	412	19,855
LÍNEA 4 PROL. MAR DE CRISTAL - Sta.MARÍA	2.3	2	8,687	1,021	264	7,402
LÍNEA 7 CANAL - GUZMÁN EL BUENO	2.1	1	20,492	4,697	439	15,356
LÍNEA 7 GUZMÁN EL BUENO - VALDEZARZA	2.6	3	16,037	576	430	15,031
LÍNEA 1 PROLONG.VALLECAS	2.8	4	16,379	1,883	359	14,137
LÍNEA 7 VALDEZARZA - PITIS	4.2	6	25,877	2,553	518	22,806
LÍNEA 8 CAMPO NACIONES - BARAJAS	5.6	2	26,986	4,020	300	22,666
<b>TOTAL EN TÚNEL OBRA CIVIL,</b>						
<b>ARQUIT. E INSTALACIONES</b>	<b>38.0</b>	<b>34</b>	<b>197,421</b>	<b>27,712</b>	<b>4,408</b>	<b>165,301</b>
<b>Coste por km en túnel</b>			<b>5,201</b>	<b>730</b>	<b>116</b>	<b>4,355</b>
<b>Con material móvil, Mpta por km</b>			<b>6,091</b>			
<b>LÍNEA 9 AMPLIACIÓN A ARGANDA DEL REY. EN SUPERFICIE</b>						
	18.1	4	18,320	Incluído	Incluído	Incluído
<b>TOTAL OBRA CIVIL, ARQUITECTURA E INSTALACIONES</b>						
<b>E INSTALACIONES</b>	<b>56.1</b>	<b>38</b>	<b>215,741</b>	<b>27,712</b>	<b>4,408</b>	<b>165,301</b>
<b>Coste por km</b>			<b>3,941</b>	<b>507</b>	<b>81</b>	<b>3,026</b>
<b>MATERIAL MÓVIL, Tipos 2000 y 6000</b>						
			<b>35,840</b>			
144 coches tipo 2.000 ancho 2.3 m		18,581				
82 coches tipo 5.000 ancho 2.8 m		17,259				
<b>TOTAL COSTE, CONSTRUCCIÓN Y MATERIAL MÓVIL</b>			<b>251,581</b>			
<b>COSTE MEDIO FINAL por km</b>			<b>4,580</b>			