

# tranvía en la Comunidad de Madrid

ANTONIO GONZÁLEZ JIMÉNEZ (\*), MANUEL HERRERA ÁLVAREZ (\*\*) y JOSÉ ANTONIO MARTÍN MARTÍN (\*\*\*)

**RESUMEN** En 2007 entraron en servicio cuatro nuevas líneas de Metro Ligero en Madrid. El artículo describe tres de ellas, desarrolladas por MINTRA, así como la evolución histórica del Tranvía en Madrid y su incardinación en el panorama mundial del Metro Ligero.

## LIGHT RAILWAY: THE EVOLUTION OF THE TRAM IN THE MADRID REGION

**ABSTRACT** *Four new lines of light railway were opened in Madrid in 2007. This article describes three of them, developed by MINTRA, as well as the historical evolution of tram in Madrid and its inclusion in the world scene of light railway.*

**Palabras clave:** Metro Ligero, Tranvía, Comunidad de Madrid.

**Keywords:** Light Railway, Tram, Tramway, Madrid.

## 1. INTRODUCCIÓN

La planificación de las infraestructuras de transporte público está estrechamente vinculada al desarrollo territorial y a los usos del suelo. De este escenario en cambio constante, emanan las estrategias y políticas de construcción de nuevos tramos de red de transporte, que hagan posible la mejora de la movilidad de la población, lo que repercute en un incremento de la calidad de vida de los ciudadanos.

La elección de un modo de transporte público adecuado a las necesidades de movilidad es el primer paso para una correcta planificación de ciudades y regiones metropolitanas. Los diversos modos disponibles se complementan y refuerzan mutuamente, en el objetivo de conseguir una red adaptada a las características de cada zona urbana.

En Madrid y su Región, el Metro y el transporte en superficie mediante autobuses han sido, tradicionalmente, los grandes motores del transporte público. Desde el año 2007, la Comunidad de Madrid ha incorporado un nuevo modo de transporte, el Metro Ligero, que viene a articular esa malla de transporte que garantiza la calidad de la movilidad en zonas del territorio de Madrid y de poblaciones de su entorno que plantean una demanda de movilidad intermedia.

El Metro Ligero es una evolución del tranvía tradicional hacia un nuevo modo de transporte con una elevada calidad de servicio, que mejora sustancialmente las prestaciones que ofrece a los ciudadanos respecto a su antecesor. Esto lo convierte en un sistema muy atractivo, plenamente actualizado, que en su concepto trasciende la idea de medio de transporte,

para convertirse en un elemento que protagoniza el diseño y la urbanización de las zonas de la ciudad en que se dispone.

En este artículo se ofrece una breve visión de la evolución histórica de los tranvías, con especial interés en Madrid, así como del panorama internacional y nacional de tranvías y Metros Ligeros. Se continúa describiendo las características propias de este nuevo modo de transporte, como evolución mejorada del tranvía, en relación a sus criterios de planificación y diseño, así como a las distintas facetas que intervienen desde su concepción hasta su construcción y explotación. Se plantea a continuación una descripción general de las nuevas líneas de Metro Ligero recientemente puestas en servicio en la Comunidad de Madrid, que han servido para hacer realidad en la Región, adaptándolos a cada caso concreto, los conceptos, planteamientos y características propios del Metro Ligero como medio de transporte.

## 2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS TRANVÍAS

Se considera que el “nacimiento” del tranvía tuvo lugar en las explotaciones hulleras de Inglaterra en el s.XVII. Para transporte del mineral hasta los puertos de embarque, se construyeron dos hileras paralelas de maderas de haya separadas 1m, sobre las que rodaban las ruedas, lo que permitió aumentar la capacidad de carga de los caballos. Más de un siglo después, las hileras de madera fueron sustituidas por carriles de hierro fundido, que sujetaban mejor las ruedas de esos primeros tranvías.

La historia del ferrocarril y la del tranvía están entrelazadas en sus orígenes. El tranvía, sin embargo, aunque es heredero tecnológico del ferrocarril, presenta notables diferencias en cuanto a sus características técnicas y a su uso, preferentemente urbano y destinado al transporte de viajeros.

En 1832, John Stephenson (que nada tiene que ver con el inventor de la máquina de vapor, George Stephenson) construyó el primer tranvía urbano en Nueva York, entre el norte de Manhattan y Harlem, mediante coches que eran arrastra-

(\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director del área de proyectos y obras I de Mintra.

(\*\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director del área de proyectos y obras II de Mintra.

(\*\*\*) Arquitecto. Subdirector general de infraestructuras de la Comunidad de Madrid.



FIGURA 1. Tranvía de tracción animal en Bremen (Alemania 1880).



FIGURA 2. Berlín (Alemania hacia 1910).

dos por caballos. Estos tranvías de “tracción animal” o “tracción a sangre” se extendieron por todo el mundo durante las primeras tres cuartas partes del siglo XIX. A partir de 1875, se desarrollaron varios sistemas de mecanización, con aire comprimido o con vapor, sin que desapareciera totalmente la tracción animal.

El primer tranvía con tracción eléctrica que funcionó en el mundo fue desarrollado en Berlín en 1879 por Werner von Siemens y Halske. Este sistema, sin ruidos ni olores, estaba destinado a sustituir en las ciudades a los otros sistemas de tracción de los tranvías. En contadas excepciones se recurrió a la gasolina o al gasóleo o, en un caso de accidentada orografía como la ciudad de San Francisco, a un sistema de tracción por un cable de movimiento continuo, que discurría por un hueco practicado entre los dos carriles y a mayor profundidad que éstos, al que el tranvía se enganchaba o soltaba para iniciar o detener el movimiento. Este cable era movido de forma mecánica, sin conexión eléctrica.

La tracción eléctrica tuvo en sus orígenes dos modalidades: tranvías con acumuladores o baterías y tranvías conectados a una red alimentada por una planta generadora de electricidad. Los dos tipos conviven durante varios años, a caballo entre los siglos XIX y XX. Si bien inicialmente parecía que las ventajas de utilizar acumuladores superaban a las del tranvía con trole, con el paso de los años se consideró mucho más adecuado éste por razones de economía, comodidad de los viajeros y mejor mantenimiento, dado que los acumuladores ofrecían poca autonomía y desprendían gases molestos.



FIGURA 3. Tranvías de dos pisos. Barcelona. Serie 169-193. (Hacia 1915).

La evolución tecnológica de los tranvías está también relacionada con las transformaciones en la vía y su diseño. Los carriles de los primeros tranvías sobresalían del nivel de la calzada, lo que creaba una barrera y dio lugar a numerosos accidentes. El francés Alphonse Loubat inventó el carril de ranura, embebido en la calzada, que solucionó este problema en lo sucesivo.

El tranvía se implantó en ciudades de todos los continentes de forma generalizada. Sirva dar algunos datos como que, en 1895, funcionaban en los Estados Unidos 12.100 km de tranvías eléctricos o que, con algunos años de retraso, en tan solo diez años, se construyeron o electrificaron en Europa más de 20.000 km de tranvías.

España incorporó los tranvías a sus ciudades, como medio de transporte que se iba adaptando a los avances tecnológicos, a un ritmo menor que otros países de su entorno. Jerez de la Frontera fue la pionera, al disponer del primer tranvía de tracción animal en 1859, con carril perfectamente embutido. Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Bilbao, La Coruña, Málaga, Granada, Cádiz, Santa Cruz de Tenerife, Zaragoza o Murcia son algunas de las más importantes ciudades españolas que dispusieron de tranvías en sus calles.

Sin embargo, aunque más despacio que en otros países, el tranvía tuvo una difusión muy amplia en España y llegó a implantarse en pequeñas ciudades que no eran capitales de provincia como Avilés, Linares, Tortosa, Motril, o Sóller, por poner algunos ejemplos. El tranvía de esta última ciudad mallorquina, inaugurado en 1913, todavía presta servicio, al igual que el “Tram Blau” del Tibidabo de Barcelona, inaugurado en 1901. Ambos constituyen los dos únicos ejemplos de “historia viva” de los tranvías en España. Los dos conservan en buen estado las esencias de su pasado, lo que contribuye al carácter marcadamente turístico de su servicio actual.

### 3. LOS TRANVÍAS DE MADRID

La historia de Madrid, su evolución urbana, los usos y costumbres de sus gentes, están muy ligados a los tranvías que circularon por sus calles. Detalles de la vida cotidiana o de los usos del espacio público, quedaron reflejados en las imágenes del Madrid de los tranvías.

La ciudad vivió una auténtica transformación ligada a la de su red de tranvías, sobre todo en los nuevos barrios, que crecían al tiempo que lo hacían las nuevas líneas que los conectaban con el Centro. Durante 101 años, desde su inauguración en 1871, hasta su desaparición en 1972, formaron parte activa de la vida madrileña.



FIGURA 4. Tranvía histórico de Sóller (Mallorca).



FIGURA 5. Coche de caballos nº 2 del Tranvía de Madrid.

El primer tranvía de Madrid, inaugurado el 31 de mayo de 1871, recorría el trayecto entre la calle de Serrano y la Puerta del Sol mediante coches con tracción “a sangre” de fabricación británica. Tenían una “imperial” o piso superior descubierto y capacidad para 45 viajeros. Las líneas desarrolladas posteriormente mediante tracción animal tenían cuatro tipologías. Eran radiales, que comunicaban la Puerta del Sol con los nuevos ensanches de Argüelles o Salamanca, transversales que conectaban los nuevos barrios entre sí, líneas dirigidas a los extrarradios o las que pertenecían al proyecto urbanístico de “Ciudad Lineal”, promovido por Arturo Soria.

En los años siguientes, comenzaron a funcionar las líneas de vapor en los extrarradios de la capital y en 1898 comenzó la electrificación de las líneas que operaban con tracción animal. Entre dicho año y 1919, año en que tuvo lugar la inauguración de la primera línea de Metro, se produjo la electrificación total de las líneas. Fue el periodo de máximo esplendor de los tranvías en Madrid, que a partir de ese momento cedieron la hegemonía del transporte madrileño al suburbano, liderazgo que se mantiene hasta nuestros días. Las líneas eran operadas por empresas concesionarias, muchas de ellas de origen extranjero, sobre todo belga y alemán.

A pesar de que la llegada del Metro se convirtió en una alternativa de los tranvías, los madrileños continuaron utilizándolos de forma preferente debido a su elevada frecuencia y accesibilidad, así como a la penetración de las líneas en casi todos los barrios. La guerra civil supuso un duro golpe para los tranvías madrileños, con grandes pérdidas para las infraestructuras y el material móvil tranviario.

Después de la guerra civil comenzó el proceso de municipalización de la red, que culminó en 1948 con la creación de la Empresa Municipal de Transportes y el paso a control municipal de la red de tranvías madrileños. Este hecho trajo consigo un fuerte impulso de la red de autobuses urbanos, que había perdido todos sus vehículos durante la guerra.

En 1954, la red de tranvías alcanzó su máxima extensión con 188 km de vías y en 1956, la demanda anual de viajes en tranvía llegó a la cifra histórica de 260 millones de viajeros,



FIGURA 6. Plaza de Cibeles hacia 1918.



FIGURA 7. Tranvía “belga” en la Glorieta de San Vicente, cargado hasta los topes en sentido literal.

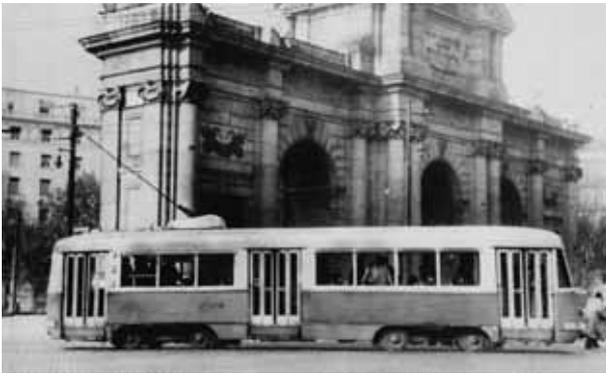


FIGURA 8. Tranvía PCC circulando por delante de la Puerta de Alcalá.



FIGURA 9. Viaje de despedida de los tranvías madrileños, 1 de Junio de 1972.

mientras que los viajes en Metro alcanzaron los 394 millones anuales. Comenzó a partir de ese momento el declive del tranvía, con el progresivo abandono de la red en el centro histórico.

A partir de 1960 se produjo un incesante cierre de líneas. Autobús y Metro le ganaron la batalla al tranvía, que vio desaparecer la última de sus líneas en 1972. Esta época coincide con el auge del vehículo privado y de los vehículos automotores en general, que eran signo de modernidad. Las dificultades para combinar estos vehículos con los tranvías en el mismo espacio fueron desplazando a éstos últimos hasta su desaparición transitoria, que en el caso de Madrid se extendió por un periodo de 35 años. Sin embargo, en algunas ciudades del centro y del este de Europa los tranvías nunca dejaron de circular, aunque se desplazaron de las calles céntricas, para dar paso a los autobuses y automóviles, hacia zonas más anchas de las periferias.

El material móvil de la red fue testigo de excepción de los avances tecnológicos. Desde los modelos eléctricos de finales del XIX y principios de XX, llamados "canarios" por su color amarillo, que convivieron con los "cangrejos" de color rojo, pasando por los "belgas" de los años 20 y 40, hasta los más avanzados General Eléctric y PCC Fiat de los años 40 y 50, los ve-

hículos fueron evolucionando en fiabilidad y capacidad de transporte de viajeros.

Al hacer una referencia histórica al tranvía en Madrid, aunque sea tan breve como la desarrollada en estas líneas, es importante destacar la enorme influencia que las líneas de tranvías tuvieron en la evolución urbana de la ciudad. En los planos de las figuras 11 y 12 se representa la evolución de la edad de la edificación en las diferentes zonas urbanas madrileñas. Con un simple vistazo puede observarse como el crecimiento de algunos ejes urbanos y de algunos barrios de extrarradio se produjo de forma simultánea a la construcción de las líneas de tranvías. Esto se deduce del hecho de que la edad de la edificación es mayor en las zonas más próximas a la calle por la que discurre la línea. Varios ejemplos corroboran esta influencia tan notable del tranvía en el desarrollo urbano, como son el eje de la carretera de Francia, hoy calle de Bravo Murillo, la carretera de Alcobendas a su paso por Chamartín de la Rosa, actual Paseo de la Habana, el camino de Hortaleza, hoy López de Hoyos, la carretera de Aragón, después calle de Alcalá, la carretera de Fuenlabrada, hoy General Ricardos, cuyos tranvías conectaban con los Carabancheles, o la carretera de Extremadura, cuyas líneas daban servicio a los cuarteles.



FIGURA 10. Tranvía belga modernizado, expuesto en la estación de Metro y Metro Ligero de Pinar de Chamartín.



FIGURA 11. Eje de la Carretera de Francia (Bravo Murillo).



FIGURA 13. Línea 70 a su paso por la calle Arturo Soria (1971).

Mención aparte merece el proyecto urbanístico de Ciudad Lineal, concebido por Arturo Soria como una ciudad-jardín de baja densidad, construida sobre un eje de comunicación servido por tranvías y que podía llegar a alcanzar decenas de kilómetros. Las viviendas de esta ciudad quedaban vinculadas al eje de transporte tranviario mediante una alianza indiscutible entre la vivienda y el tranvía, que quedó resumida en la frase de Arturo Soria: “del problema de la locomoción se derivan todos los demás de urbanización”.



FIGURA 12. Eje de la Carretera de Fuenlabrada (General Ricardos).



FIGURA 14. Metro Ligero de Grenoble (Francia).

#### 4. PANORÁMICA DEL METRO LIGERO EN NUESTRO ENTORNO

El resurgir del tranvía bajo un nuevo concepto, que venimos denominando Metro Ligero, se basa en razones inversas a las de su desaparición. A finales de los años 80 se plantea la recuperación de este modo de transporte como alternativa al uso del automóvil o de los autobuses, puesto que cumple con las exigencias de movilidad eficaz (su capacidad de transporte es muy elevada

cuando se disponen composiciones de varios coches por convoy) y sostenible en el entorno urbano (ausencia total de emisiones, bajo nivel sonoro, integración paisajística, etc).

Desde que en 1987 se inauguró en Grenoble (Francia) la primera línea con una concepción moderna de Metro Ligero (prioridad semafórica, segregación de tráfico, piso bajo, integración urbana, etc.) la acogida en Europa puede calificarse de espectacular. Se contabilizan más de 40 sistemas en todos los puntos del continente, desde Irlanda a Turquía. El resto del mundo también ha incorporado al Metro Ligero a sus ciudades en países como Argentina, Canadá, Estados Unidos, Japón, Australia, Túnez o Turquía.

España no se ha mantenido al margen de esta corriente modernizadora de los sistemas de transporte público, iniciando su andadura la primera línea de Metro Ligero en Valencia en 1994. A continuación, y por el orden que se cita, se ha implantado también en las áreas metropolitanas de La Coruña, Bilbao, Alicante, Barcelona, Vélez Málaga, Murcia, Madrid, Tenerife, Sevilla y Vitoria, y se cuentan un total de 14 redes en servicio. Se trata de sistemas no homogéneos, con rasgos propios, en función del área a la que dan servicio o de su vinculación a otros modos de transporte.

Como se verá más en detalle, la Comunidad de Madrid se ha sumado desde 2007 a este conjunto, con 4 líneas y 36 km en servicio.

#### 5. EL METRO LIGERO, EVOLUCIÓN MEJORADA DEL TRANVÍA EN LAS NUEVAS LÍNEAS CONSTRUIDAS POR LA COMUNIDAD DE MADRID

El Metro Ligero es un modo de transporte de capacidad intermedia que hereda de los tranvías una serie de ventajas respecto a otros medios de transporte. Como el de sus antecesores, el diseño de los **nuevos Metros Ligeros construidos en la Comunidad de Madrid** está especialmente orientado a la proximidad al usuario y a la integración en la ciudad. Al igual que los tranvías disponen de infraestructura ligera, que preferentemente se desarrolla en superficie, no emiten gases a la atmósfera y funcionan con bajo nivel sonoro.

Sin embargo, el **concepto de Metro Ligero** aplicado a la concepción y el diseño de las nuevas líneas, ha revolucionado



FIGURA 15. Metro Ligero de Bilbao.



FIGURA 16. Metro ligero de Sevilla. Al fondo, la catedral.

los logros de los tranvías en aspectos verdaderamente fundamentales:

- Es una nueva forma de hacer ciudad: las zonas atravesadas por las líneas se resuelven mediante intervenciones de renovación urbana, con integración de espacios metropolitanos diversos que vertebran el territorio a través de amplias redes viarias.
- Su plataforma reservada, con prioridad semafórica en los cruces, le proporciona independencia del tráfico rodado, lo que eleva su velocidad comercial y garantiza el cumplimiento de los horarios. Al mismo tiempo, se ha diseñado con una buena inserción urbana, con permeabilidad para peatones y vehículos.
- Todo el sistema está planificado bajo el concepto de “accesibilidad universal”. El conjunto parada-vehículo está diseñado para que pueda ser utilizado por todas las personas, independientemente de sus capacidades.
- Los nuevos vehículos ofrecen mejores prestaciones y una gran capacidad de transporte, al disponer de composicio-

nes de cinco coches por convoy, que podrían ser ampliados si la demanda lo aconseja.

- Se ha diseñado como un modo de transporte amable, con integración en el paisaje mediante tratamientos de urbanización, jardinería, mobiliario urbano y potenciación de la peatonalización de zonas próximas.
- Es un modo de transporte sostenible, con ausencia de emisiones, recuperación de energía en las frenadas y alto rendimiento del vehículo.
- Las nuevas tecnologías, incorporadas tanto a la infraestructura como a los vehículos, potencian la seguridad y la comodidad de los viajeros.
- Funciona con altísima fiabilidad en el servicio, cumpliendo con enorme regularidad los horarios programados y en tiempos de viaje muy competitivos en hora punta, con velocidades comerciales similares a algunas líneas de Metro.
- Está totalmente integrado en el sistema de transporte público, con cómodas conexiones con Metro, Cercanías y autobuses urbanos e interurbanos.



FIGURA 17. ML1. Estación Álvarez de Villaamil.

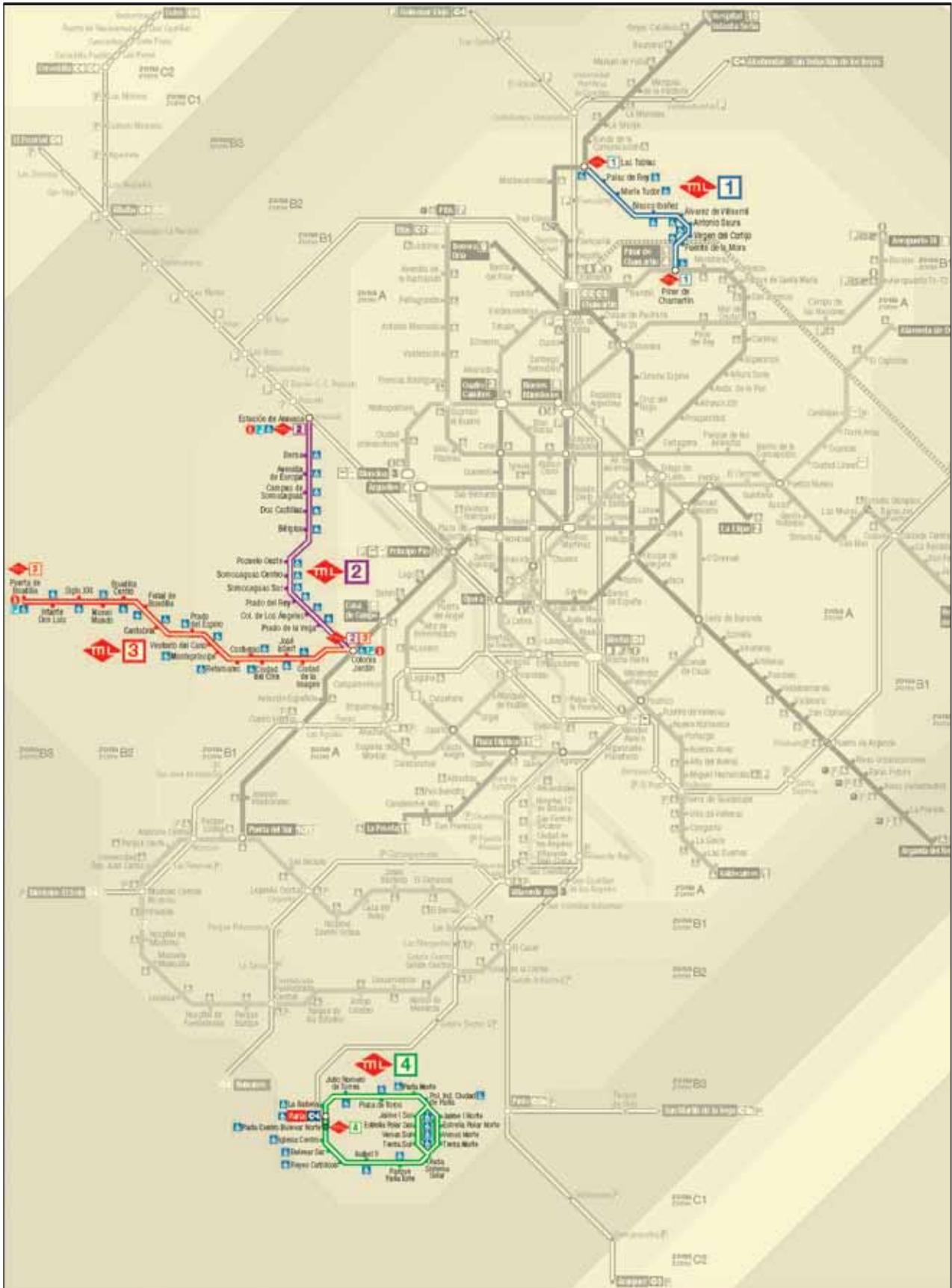


FIGURA 18. Plano de las líneas de Metro Ligero en la Comunidad de Madrid.



FIGURA 19. ML3. Vista aérea del trazado en Boadilla del Monte.

## 6. LAS NUEVAS LÍNEAS DE METRO LIGERO DE LA COMUNIDAD DE MADRID

Siguiendo estos principios generales, la Comunidad de Madrid ha construido e inaugurado, en la legislatura 2003-2007, cuatro líneas de Metro Ligero, 36 km en total, con una funcionalidad muy diferente:

- La Línea ML1, a Sanchinarro y Las Tablas, permite a estos dos nuevos barrios del norte de la ciudad de Madrid, con 25.000 nuevas viviendas, ser accesibles a un sistema que le conecta en sus dos extremos con la red de Metro (líneas 1 y 4 en un extremo y Línea 10 en el otro).
- La Línea ML2, a Pozuelo de Alarcón, es una línea transversal en la zona oeste de la primera corona metropolitana, que da accesibilidad a barrios residenciales, oficinas y al Campus de la Universidad de Somosaguas, conectando en un extremo con la red de Metro y Metro Ligero (Línea 10 y Línea ML3) y en el otro con Cercanías (líneas C-7 y C-10).
- La Línea ML3, a Boadilla del Monte, pasando por los términos municipales de Pozuelo de Alarcón y Alcorcón, es una línea radial que atraviesa dos coronas metropolitanas y que, partiendo de una estación de Metro y Metro Ligero (Línea 10 y ML2), da cobertura a zonas de oficinas, ocio, y universidad, conectando en su otro extremo con un intercambiador con la red de autobuses interurbanos en Boadilla del Monte.
- Por último, la Línea Tranvía de Parla, es una línea circular muy urbana que, atravesando el centro histórico de dicho municipio, conecta con la estación de Cercanías y dota de accesibilidad a nuevos barrios residenciales, como Parla Este, así como a una futura nueva estación de Cercanías.

A continuación se desarrollan los diferentes aspectos que han intervenido en la concepción y el desarrollo de las líneas ML1, ML2 y ML3, promovidas por la Consejería de Transportes e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid, a través de MINTRA, Madrid Infraestructuras de Transporte, ente de derecho público que tiene la competencia de la construcción de las infraestructuras de transporte de la Comunidad de Madrid.



FIGURA 20. ML3. Detalle de la plataforma junto al I.E.S. Máximo Trueba.



FIGURA 21. ML3. Parada José Isbert.

## 7. CRITERIOS DE PLANIFICACIÓN, DISEÑO DE TRAZADO Y PARADAS O ESTACIONES

Los criterios de planificación de las nuevas líneas de Metro Ligero se basan en los principios generales que se han enunciado como aspectos diferenciadores de los nuevos Metros Ligeros.

En la **planificación de las líneas** se han buscado corredores de transporte con unas necesidades de movilidad media. En una región tan compleja como la Comunidad de Madrid, surgieron distintas posibilidades y concepciones de líneas de Metro Ligero, en función de las necesidades de cada zona. Las líneas ejecutadas por la Comunidad de Madrid, conectan a la red de transporte de gran capacidad tanto barrios nuevos con densidades medias, como la línea ML1 en Sanchinarro o Las Tablas, como espacios metropolitanos con muy diferentes usos de suelo, donde las nuevas líneas de Metro Ligero tienen un carácter vertebrador del territorio por el que discurren, aprovechando que la red viaria de estos espacios es amplia. Este último es el caso de las líneas ML2 a Pozuelo y ML3 a Boadilla.

El **trazado de las líneas** se ha caracterizado por ser fruto del acuerdo entre los distintos agentes intervinientes, al objeto de lograr un equilibrio entre la idoneidad técnica del trazado, la compatibilidad con los desarrollos urbanos respectivos, así como la oferta del mejor servicio posible a los ciudadanos. En todo caso, los criterios seguidos para su diseño pueden resumirse en los siguientes:

- Lograr la máxima seguridad de funcionamiento.
- Garantizar la integración del trazado con las preexistencias del territorio.
- Conseguir el máximo respeto medioambiental.
- Minimizar las distancias a recorrer a pie por los usuarios del sistema, facilitando la accesibilidad y la comodidad en los desplazamientos.
- Crear corredores verdes y actuaciones paisajísticas que integran las zonas más pobladas con las no urbanizadas.
- Promover el uso de los transportes públicos, facilitando el intercambio con otros modos de transporte.

En algunos casos, el recorrido de las líneas se ha definido sobre un tejido de infraestructuras viarias, de transportes y de

servicios tremendamente desarrollado, es decir, zonas muy complejas de infraestructuras existentes o en construcción que ha habido que salvar mediante trazados que han exigido tramos bajo tierra, a fin de solventar los cruces con la red viaria o el trazado ferroviario.

Las **paradas y estaciones** de la red son, junto al material móvil, la parte más importante de la imagen que el sistema ofrece a los usuarios. En su diseño se han armonizado los aspectos funcionales con los constructivos y se han definido los criterios formales para ofrecer una imagen corporativa coherente, sencilla y fácil de identificar. Son básicamente de tres tipos:

- Paradas en superficie, la mayoría con andenes laterales.
- Paradas en trinchera, con andén central.
- Estaciones subterráneas, con andén central, excepto en los intercambiadores con Metro.

Las **paradas en superficie** son espacios en los que además de ofrecer al usuario la información sobre el sistema de transportes, se albergan unos equipos técnicos fijos para los requerimientos de energía, control, comunicaciones y billettería. Este corazón técnico se integra en el diseño de la parada para formar un conjunto homogéneo con la marquesina, pieza principal del conjunto, que alberga también los asientos y las mamparas de protección. Tanto el diseño como los materiales empleados responden a los criterios de durabilidad y facilidad de mantenimiento o reposición. La parada presenta una volumetría prismática sencilla, enmarcada en un pórtico central que facilita la colocación del cartel luminoso que identifica la estación junto al logotipo del Metro Ligero, que proporciona una imagen propia, claramente reconocible. Suelen colocarse sobre plataformas laterales, una a cada lado de las vías.

Las **paradas en trinchera** se originan en zonas donde la línea se hace subterránea por uno de los lados cercanos a la parada. Se produce un desnivel notable entre la plataforma y el entorno, que se resuelve mediante un ascensor que conecta los dos niveles. El diseño de la parada se adapta a la configuración de andén central, desde el que se facilita el acceso a las dos vías.

Las **estaciones subterráneas** son excepcionales. Su diseño general sigue los criterios establecidos para las estaciones de Metro construidas en las últimas ampliaciones de la red, te-



FIGURA 22. ML2.  
Parada Berna.

niendo en cuenta que no se requiere vestíbulo, por lo que se elimina ese nivel y se accede directamente desde calle al andén central. Los templetos de acceso en calle están dotados de escaleras mecánicas y ascensor hasta el nivel de andén. Los materiales de acabado son igualmente similares a los utilizados en la red de Metro, para conseguir una imagen estética parecida y, sobre todo, por sus propiedades de durabilidad y resistencia al vandalismo.

Mención especial merecen las estaciones de intercambio con la red de Metro, lo que sucede en las estaciones de Pinar de Chamartín y de Colonia Jardín. **Pinar de Chamartín** es un intercambiador de características plenamente singulares,

que conecta tres líneas de transporte ferroviario (ML1, L1 y L4). Las dos líneas de Metro se sitúan en el nivel más profundo, conectadas por un andén central que agiliza el intercambio, en el nivel intermedio se sitúa el vestíbulo y, por encima de éste, como un puente elevado, se sitúan la línea de Metro Ligerero y sus andenes laterales. **Colonia Jardín** es también un intercambiador subterráneo en el que las dos líneas de Metro Ligerero del oeste de la metrópoli finalizan su recorrido por encima de la línea 10 de Metro. El acceso a las tres líneas se produce desde el vestíbulo, situado por encima de las líneas de Metro Ligerero. La disposición de los andenes se produce de forma lateral, con un andén para cada línea.



FIGURA 23. ML1. Estación  
Fuente de la Mora.



FIGURA 24. Axonométrica del Intercambiador de Colonia Jardín.

## 8. INTEGRACIÓN URBANA Y ACTUACIONES EN EL PAISAJE

El trazado de los Metros Ligeros se ha integrado en la trama urbana creando ciudad, llegando más allá de un proyecto de transporte. Junto a la plataforma reservada, que se hace notar mediante un cambio de textura en el pavimento, se han creado áreas de circulación peatonal, combinadas con nuevas zonas verdes y espacios estanciales al aire libre. La plataforma se

convierte en un verdadero corredor ambientado con vegetación y mobiliario urbano, que facilita la proximidad a los comercios.

La armonización a nivel urbano de las infraestructuras del Metro Ligero con áreas verdes ha producido una renovación de la ciudad a lo largo del trazado. El entorno se ha estudiado minuciosamente a fin de hacerlo accesible, seguro y agradable.

Se han cuidado especialmente las zonas ajardinadas, que se caracterizan por la variedad de especies y coloridos. Los pa-

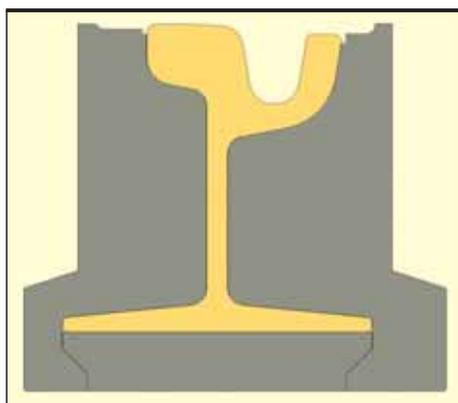


FIGURA 25. ML3.  
Boadilla del Monte.

vimentos son acordes al uso de cada zona, en especial los colores y texturas diferenciados en la zona de las paradas, a fin de facilitar la orientación y la movilidad a las personas con discapacidad visual.

## 9. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

El procedimiento constructivo más característico de la ejecución de las líneas de Metro Ligero de la Comunidad de Madrid ha sido la ejecución de la superestructura de vía, que se describe a continuación. Otros procedimientos empleados, como la ejecución de viaductos o pasos superiores, la de túneles o estaciones mediante procedimiento "cut and cover", o la de falsos túneles mediante marco, son comunes a otros tipos de infraestructuras, tales como carreteras o Metro convencional.



**FIGURA 26.**  
Chaqueteado  
de carril.

Para la ejecución de la superestructura de vía, el procedimiento seguido es el siguiente:

En primer lugar, tras proceder a los correspondientes desvíos de servicios, hay que ejecutar la base que sirva de cimentación para la superestructura. En vía en superficie, será necesario realizar, mediante el empleo de una excavadora, un cajado de alrededor de 1,4 m de profundidad y 5,8 m de ancho (en caso de ir doble vía) para poder emplazar el paquete de cimentación necesario para soportar las cargas transmitidas por el Metro Ligero.

Sobre esta base se ubica la superestructura de vía, formada por una capa de hormigón de limpieza HM-20, de 15 cm de espesor, y por una segunda capa de HM-20 de 25 cm de espesor armada con mallazo electrosoldado. En caso de existir fachadas de edificios próximas, para evitar vibraciones, se dispone una manta elastomérica entre ambas capas. En taller se habrá realizado previamente el chaqueteado del carril. La unión entre chaquetas y carril se realiza mediante el empleo de una cola especial, todo reforzado con la instalación de dos grapas por cada chaqueta.

Los carriles se transportan al tajo, ya chaqueteados, en barras de 12 m. Una vez allí, se genera la BLS (barra larga soldada) mediante la soldadura aluminotérmica de los carriles que, posteriormente, se montan en los pórticos de nivelación y alineación. A continuación se realiza la comprobación geométrica de los parámetros de la vía. Una vez se han llevado a cabo los trabajos topográficos y se ha colocado la vía dentro de tolerancias geométricas, se hormigona la última losa, de 44 cm de espesor, con HA-25, en la que va embebido el sistema de vía y sobre la que se coloca el acabado.

El acabado en superficie puede ser, en función de la zona en la que se encuentre, de diferentes tipologías: adoquín, césped, losas de granito, hormigón impreso y aglomerado, entre otros.



**FIGURA 27.** ML1. Las Tablas.  
Montaje de aparatos de vía.



FIGURA 28. Montaje de pórticos de nivelación.

## 10. MATERIAL MÓVIL

Con destino a las líneas de Metro Ligero en la Comunidad de Madrid, MINTRA contrató la fabricación de unidades de material móvil del tipo denominado «Citadis» de Alstom. Este vehículo ya se encontraba en operación en numerosas ciudades europeas (París, Montpellier, Lyon, Niza, Burdeos, Rotterdam, Dublín, Melbourne y Barcelona, entre otras).

El Citadis es un vehículo modular, que permite diferentes opciones. Se ha elegido una unidad autónoma, bicabina y

100% de piso bajo; compuesta de cinco cajas, tres de las cuales reposan sobre bogies (sin giro) y otras dos van suspendidas entre ellas. Son motrices los dos bogies extremos y el central es portante, lo que da una tasa de motorización del 66%. Si en el futuro fuese necesario, se podría ampliar fácilmente la composición de los vehículos a siete cajas, fabricando dos módulos intermedios. La longitud de la unidad es de 32,3 m, su anchura de 2,4 m y su altura de 3,36 m. Cada uno de los extremos del vehículo está equipado con una cabina de conducción y dispone de 4 motores de tracción ( $4 \times 120 \text{ KW} = 480 \text{ KW}$ ).

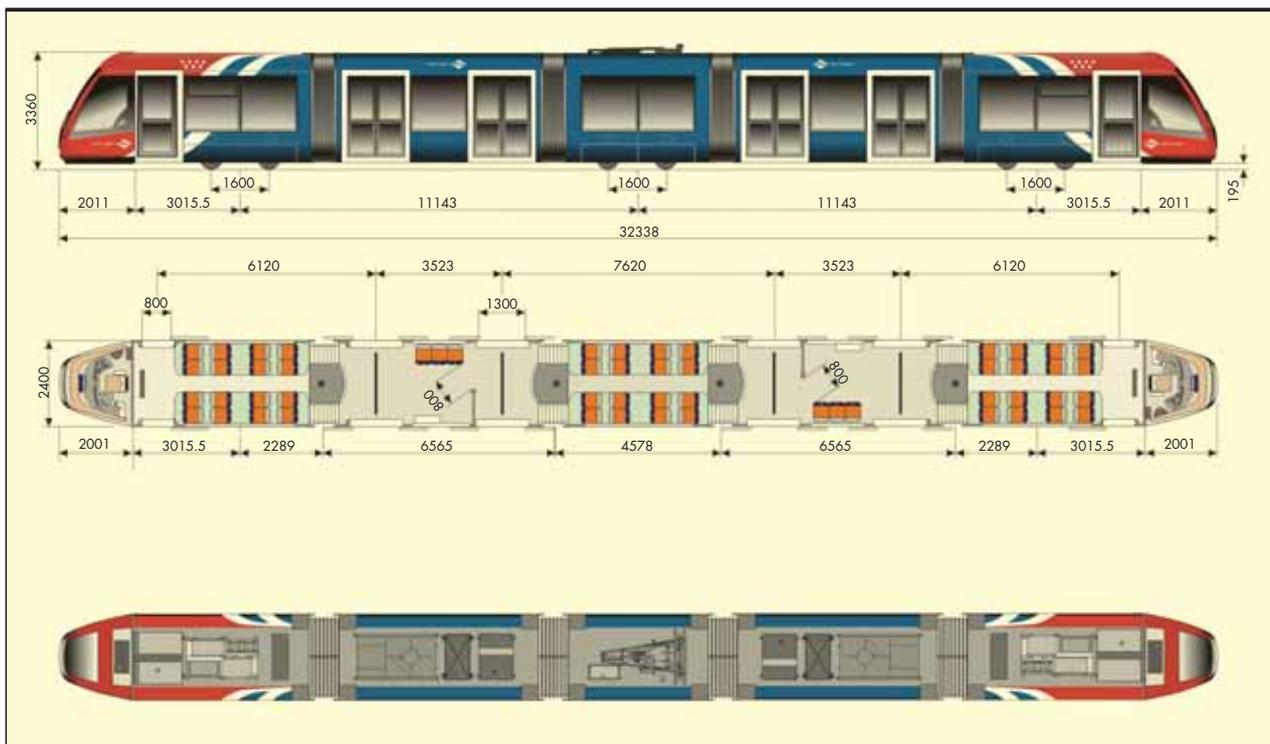


FIGURA 29. Material móvil Metro Ligero Citadis.



FIGURA 30. Interior de unidad de Metro Ligero.

De las 12 puertas de acceso de cada vehículo, 4 están diseñadas para facilitar el acceso de personas con movilidad reducida. Su estructura es de acero (bastidor) y aluminio, lo que favorece la reducción del consumo energético, el aumento del espacio útil para viajeros y también la posibilidad de mejorar la velocidad y aceleración sin afectar a la seguridad. Cuenta además con climatización que incorpora ventilación, aire acondicionado y calefacción. La velocidad máxima que pueden alcanzar las unidades es de 70 km/h, con una aceleración de 1,2 metros por segundo al cuadrado, entre 0 y 35 km/h y de 0,63 metros por segundo al cuadrado entre 35 y 70 km/h. La velocidad comercial se sitúa en el entorno de los 20-25 km/h, dependiendo de las líneas.

La capacidad del Citadis es de 186 pasajeros (con una ocupación de 3,5 pasajeros por metro cuadrado) pudiendo transportar 226 pasajeros si la ocupación alcanza los 6 pasajeros/m<sup>2</sup>. Cuenta con asientos para 54 pasajeros y dos zonas para sillas de ruedas, carritos de bebé o bicicletas.

Los nuevos trenes cuentan con un aspecto exterior moderno y aerodinámico, son luminosos y espaciosos e invitan a relajarse y a disfrutar del paisaje. El interior diáfano destaca por su amplitud, a lo que contribuye la disposición de los asientos y la gran superficie acristalada. La circulación a lo largo de la unidad se realiza fluidamente y sin obstáculos; los pasos entre vehículos son abiertos y funcionan también como zonas de estancia para los viajeros.

## 11. COCHERAS

Se denominan cocheras o depósitos a las instalaciones para el estacionamiento y mantenimiento del material móvil. Estos recintos quedan fuera de la percepción del usuario, pero resultan esenciales para la explotación de la línea. En ellos, el personal y los técnicos especialistas inspeccionan el material móvil con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento, con complejos y específicos equipos e instalaciones.

Teniendo en cuenta su disposición geográfica, se han construido dos depósitos, uno que da servicio a la línea ML1 y otro compartido para ML2 y ML3.

Todos los recintos siguen un esquema funcional similar constituido por:

- Nave de estacionamiento, destinada a albergar el material móvil durante las horas en las que la línea no se encuentra en funcionamiento o lo hace con menos intensidad.
- Nave de mantenimiento, donde se procede a la inspección y reparación de las unidades. Para llevar a cabo esta tarea, las vías se disponen sobre pilarrillos, de modo que los operarios pueden acceder fácilmente a las partes bajas de la unidad móvil. Asimismo, y con objeto de acceder a su parte superior, también se disponen unas pasarelas metálicas.
- Naves de apoyo a mantenimiento, en las que se realizan tareas que por su naturaleza precisan de un espacio independiente, como son el lavado automático de trenes y la nave de servicios para inspección.
- Edificios auxiliares de personal e instalaciones, normalmente con acceso desde las naves de mantenimiento y estacionamiento, que varían en su descripción en función de cada proyecto, pero que con carácter general albergan el Puesto de Control, las oficinas, despachos y salas de formación; vestuarios y aseos de personal; cuartos de instalaciones (comunicaciones, cuartos eléctricos, dispensación de grasas y aceites, baterías, sala de calderas, etc.), que garantizan el buen funcionamiento de las Cocheras en su conjunto.



FIGURA 31. Cocheras de ML2 y ML3.

## 12. ACCESIBILIDAD UNIVERSAL

Como se dijo en el apartado 5 al establecer el “concepto de Metro Ligero” aplicado a las nuevas líneas ejecutadas por la Comunidad de Madrid, la accesibilidad universal es una de las principales mejoras de este medio de transporte, en relación con su antecesor el tranvía. La accesibilidad ha estado presente en todo momento, desde la concepción al desarrollado de todo el sistema.

Para garantizar la aplicación de las medidas de Accesibilidad Universal en las nuevas líneas de Metro Ligero, se ha aplicado el marco jurídico regulador en materia de accesibilidad. En el momento de redactar los proyectos estaba en vigor la Ley 8/1993, de 22 de junio, de Promoción de la Accesibilidad y Supresión de Barreras Arquitectónicas, dado que el Reglamento de desarrollo de la misma no sería aprobado hasta el 15 de marzo de 2007. No obstante, las Administraciones no sólo se han ocupado de aplicar lo establecido en el marco jurídico vigente sino que, además, han propuesto medidas adicionales en línea con las buenas prácticas, basadas en experiencias nacionales e internacionales.

A modo de relación no exhaustiva, se mencionan a continuación los principales **elementos incorporados a la accesibilidad de las paradas y estaciones:**

- Construcción de pasos de peatones de 5 m de anchura, contiguos a las estaciones y su respectiva señalización de tráfico, tanto visual como auditiva.
- Rebajes de bordillo de las aceras en los pasos peatonales e integración de baldosas normalizadas de botones para indicar la presencia del paso a personas con discapacidad visual.
- Integración de bolardos y barandillas de protección en las zonas de espera de peatones.
- Acceso fácil a los andenes de las paradas mediante la construcción de rampas de suave pendiente, dotadas de doble pasamanos.
- Todas las estaciones se han concebido de manera que exista al menos un itinerario absolutamente accesible hasta los andenes y dos, siempre que ha sido posible.
- Ascensores que disponen de tarjetas de voz, que anuncian al usuario el sentido de desplazamiento del ascensor y el nivel al que se accede. Cabina con dimensiones suficientes para un viajero en silla de ruedas y varias personas de pie. Botoneras con caracteres en relieve y en braille.
- Escaleras mecánicas con indicador de desplazamiento de la escalera al inicio y final mediante una luz verde o roja. Botón rojo situado en ambos extremos para interrumpir su desplazamiento en caso de emergencia. Los primeros tres escalones del inicio y final de la escalera se enrasan en sentido horizontal para facilitar el embarque y desembarque a las personas con movilidad reducida.
- Escaleras fijas con pasamanos a doble altura y a ambos lados, prolongados en sus extremos, que sirven como elemento de apoyo a personas con movilidad reducida, así como elemento de orientación y guiado a personas con discapacidad visual. Borde de cada huella señalizado en toda su longitud mediante una tira antideslizante de color «amarillo seguridad», para facilitar la localización de cada uno de los escalones a las personas con discapacidad visual y evitar que la escalera se perciba como un plano continuo.
- Máquinas expendedoras de billetes dotadas de una aplicación de «uso fácil», pensada para personas invidentes, y de gran utilidad para personas mayores o poco habitadas a la utilización de sistemas informáticos. Todos los dispositivos de la máquina se han señalizado en braille.
- Paso de control con torniquete de paso más ancho en estaciones subterráneas, para facilitar el acceso a personas en silla de ruedas, con muletas, carritos de bebé, bultos o maletas, bicicletas, etc, señalizados verticalmente.



FIGURA 32. Rampas de acceso a andenes.



FIGURA 33. Apoyos isquiáticos en andenes de Metro Ligero.

- Pantallas electrónicas en andenes, libres de obstáculos visuales, en las que se indica el tiempo de llegada del próximo tren, la dirección del mismo y la entrada del tren a la estación, de especial utilidad para personas sordas.
- Barandillas, bancos y apoyos isquiáticos para descanso, durante el tiempo de espera del tren, de las personas de movilidad reducida.
- Señalización visual con aumento de tamaño de los paneles y de sus caracteres, creando un mayor contraste cromático entre textos y símbolos utilizados y el fondo.
- Señalización táctil: instalación en el arranque y final de pasamanos de escaleras fijas y en el panel de señalización de los ascensores, de una pegatina de poliéster con escritura braille, que indica hacia dónde conduce la escalera, indicando los niveles a los que accede.
- Pavimentos delimitadores de Zona de Seguridad en andenes.
- Pavimentos con acanaladuras situados en zona de embarque y desembarque de escaleras y rampas fijas, en rellano de ascensores, así como delante de las máquinas expendedoras de billetes.
- Pavimento diferenciado de señalización de borde de andén, de textura fácilmente perceptible y color amarillo, que contrasta con el resto del pavimento.

Se relacionan a continuación las **características en materia de accesibilidad del material móvil de Metro Ligero**:

- Rampa escamoteable en la segunda y quinta puerta en el sentido de la marcha, para salvar la holgura entre el andén y el vehículo, a fin de facilitar el acceso a personas en silla de ruedas.
- Primera y segunda puertas del convoy de apertura automática, con el fin de facilitar el acceso a personas con discapacidad visual, o con dificultades de manipulación de los pulsadores de apertura.
- Contraste cromático de las puertas respecto a su entorno, facilitando así su identificación a personas con discapacidad visual.
- Área reservada para usuarios en silla de ruedas en el segundo y cuarto módulo, señalizada con el Símbolo Internacional de Accesibilidad (SIA).
- Apoyo isquiático en la zona de acompañante de persona en silla de ruedas.
- Asientos y barras de sujeción con color contrastado para su fácil identificación por personas con discapacidad visual.
- Paneles de información al viajero a bordo, que indican el destino de la unidad móvil y la próxima parada, especialmente útiles para personas sordas.
- Dispositivos acústicos que permiten al usuario ubicar las puertas de acceso, alertar del cierre de las mismas, así como informar acerca de la próxima parada, de gran utilidad para personas con discapacidad visual.
- Avisos luminosos en la parte superior de las puertas, que facilitan la localización de las mismas a personas con discapacidad auditiva.
- Botones con señal luminosa de apertura de puerta, señalizados también en braille.
- Señal en braille sobre las barras de sujeción más próximas a las puertas de acceso, para indicar la situación de la puerta.
- Pictogramas con recomendaciones de prioridad y seguridad.



FIGURA 34. Área reservada para usuarios de silla de ruedas.



FIGURA 35. Rampa escamoteable en el vehículo.



**FIGURA 36.** ML1. Las Tablas.  
Terminal de la línea.

### 13. CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS Y DATOS DE EXPLOTACIÓN

En el período 2003-2007, la Comunidad de Madrid ha trabajado para planificar, proyectar, construir y poner en servicio 3 nuevas líneas de Metro Ligero con una funcionalidad muy diferente:

#### 13.1. LA LÍNEA ML1

Con una longitud total de 5,4 km, en los que se distribuyen 9 paradas (4 en superficie y 5 subterráneas), sus extremos son las estaciones de Pinar de Chamartín (donde conecta con las líneas 1 y 4 de Metro) y Las Tablas (donde conecta con la línea



**FIGURA 37.** Vista de Madrid con la estación de Aravaca delante.



FIGURA 38. ML3. Tramo Ciudad del Cine - Cocheras. Salida de la Ciudad de la Imagen.

10), situadas en diferentes distritos de la zona norte de Madrid. En su recorrido, comunica el barrio de Pinar de Chamartín, la urbanización de Virgen del Cortijo y los nuevos barrios de Sanchinarro y Las Tablas. Discurre por completo dentro del municipio de Madrid. Las nueve estaciones de que consta esta línea son: Pinar de Chamartín, Fuente de la Mora, Virgen del Cortijo, Antonio Saura, Álvarez de Villaamil, Blasco Ibañez, María Tudor, Palas de Rey y Las Tablas. Opera desde el 24 de mayo de 2007, con circulaciones cada 6 minutos en hora punta y con una velocidad comercial de 21 km/h.

### 13.2. LA LÍNEA ML2

Con un trazado de 8,7 km de longitud, cuenta con 13 paradas (3 de ellas subterráneas y una en trinchera). Su recorrido comienza en Madrid en Colonia Jardín, donde conecta con la red de Metro y Metro Ligero (líneas 10 y ML3). La mayor parte del trayecto lo realiza dentro del municipio de Pozuelo de Alarcón para finalizar de nuevo en Madrid, en la estación de Aravaca, donde tiene intercambio con la red de Cercanías (líneas C-7 y C-10). Sirve a barrios residenciales del municipio de Pozuelo de Alarcón, oficinas y el Campus de Somosaguas de la Universidad Complutense de Madrid. Las estaciones de que consta son: Colonia Jardín, Prado de la Vega, Colonia de los Ángeles, Prado del Rey, Somosaguas Sur, Somosaguas Centro, Pozuelo Oeste, Bélgica, Dos Castillas, Campus de Somosaguas, Avenida de Europa, Berna y Estación de Aravaca. La frecuencia de paso, desde que se pusiera en servicio el 27 de julio de 2007, es de 6 minutos en hora punta con una velocidad comercial de 24 km/h.

### 13.3. LA LÍNEA ML3

Con 13,7 km y 16 estaciones (una de ellas subterránea, otra en trinchera y 14 en superficie) tiene sus extremos en las estaciones de Colonia Jardín, donde enlaza con la línea 10 de Metro y ML2, y Puerta de Boadilla, donde termina en un intercambiador con autobuses interurbanos y un aparcamiento de disuasión de 500 plazas para vehículo privado. Comunica cuatro términos municipales, comenzando en el de Madrid para poco después adentrarse en el de Pozuelo de Alarcón, después pasar por Alcorcón y acabar en el de Boadilla del Monte. Da cobertura a zonas de oficinas, ocio, Universidad, polígonos industriales y áreas residenciales de estos municipios.

Los trenes paran en cada una de las siguientes estaciones: Colonia Jardín, Ciudad de la Imagen, José Isbert, Ciudad del Cine, Cocheras, Retamares, Montepríncipe, Ventorro del Cano, Prado del Espino, Cantabria, Ferial de Boadilla, Boadilla Centro, Nuevo Mundo, Siglo XXI, Infante Don Luis y Puerta de Boadilla. Esta línea presta servicio desde el 27 de julio de 2007 con una velocidad comercial de 25 km/h y una frecuencia en hora punta de 6 minutos. El trayecto se realiza en un tiempo aproximado de 30 minutos.

En los tres proyectos se ha considerado la coordinación e integración de los diferentes modos de transporte público y privado existentes o futuros, potenciando la intermodalidad, asegurando una óptima cobertura de servicios de transporte público (Metro Ligero, Metro, servicios urbanos de autobús, servicios interurbanos de autobús y ferrocarril de Cercanías). Además, desde las primeras fases de diseño, todos los componentes del sistema (encaje geométrico, infraestructura, superestructura, instalaciones fijas, método constructivo, material



FIGURA 39. Evolución mensual de la demanda de las líneas de Metro Ligero.

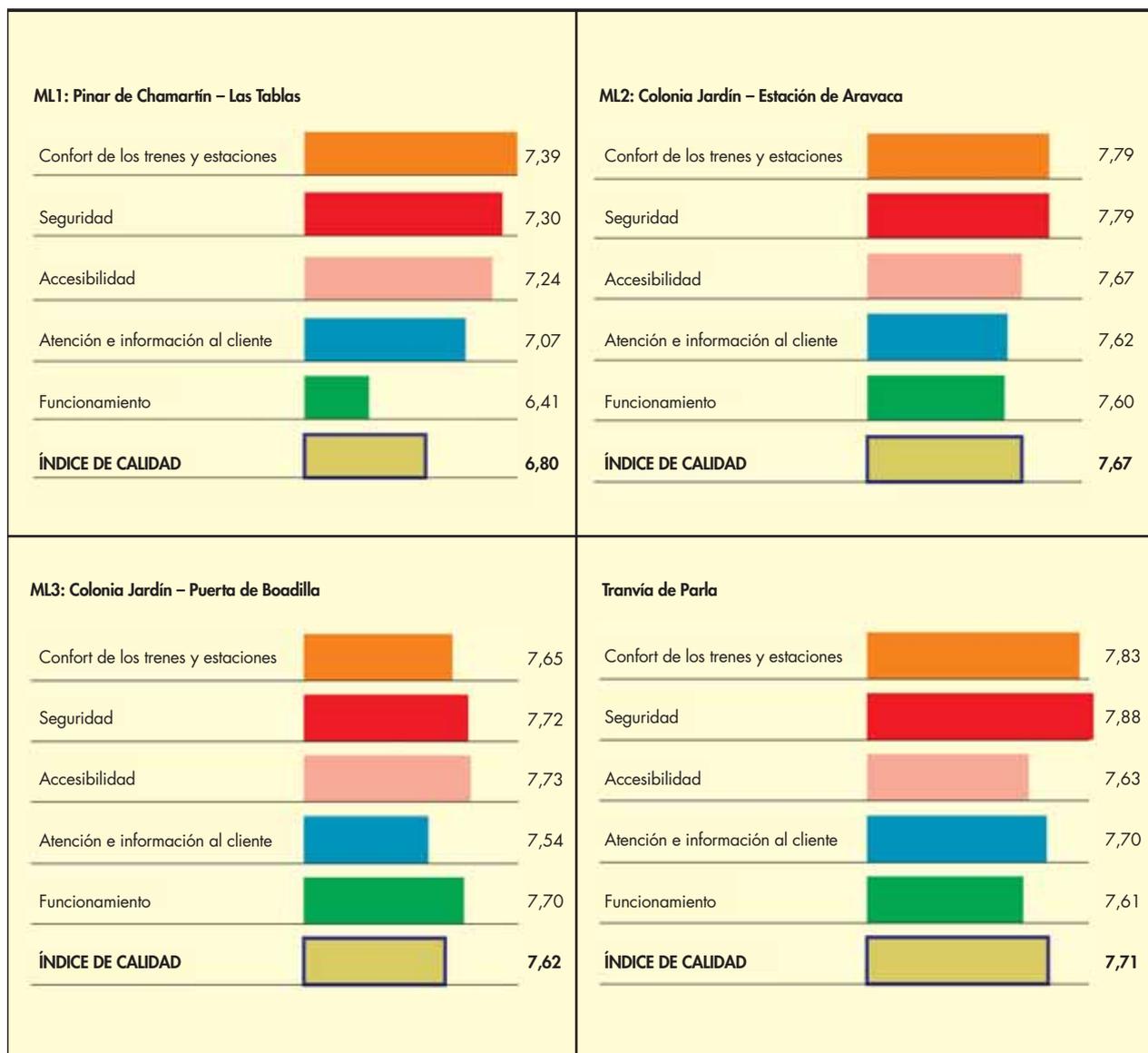


FIGURA 40. Resultados de la encuesta de calidad del servicio de los Metros Ligeros (Mayo – 2008).

móvil, etc.), incorporaron los avances técnicos que garantizan una óptima integración, acometiendo verdaderos proyectos de transformación urbana.

En la figura 39 se presenta la **evolución mensual de la demanda** de cada una de las 3 líneas.

**Resultados de la encuesta de calidad del servicio de los Metros Ligeros realizada por el Consorcio Regional de Transportes de Madrid (Mayo 2008).**

La entrada en servicio de las nuevas líneas ha recibido una muy buena acogida por parte de los usuarios, de modo que en 2008, el Metro Ligero ha recibido la mayor valoración

de todos los modos del sistema de transporte público de la Comunidad de Madrid en las encuestas de satisfacción que anualmente realiza el Consorcio Regional de Transportes de Madrid.

La figura 40 muestra, para cada línea, la valoración media de los usuarios consultados, del confort de los trenes y estaciones, seguridad, accesibilidad, atención e información al cliente y funcionamiento. Se presenta, también, el Índice de Calidad, calculado como el promedio de las valoraciones de las diferentes dimensiones del servicio, ponderado por la importancia declarada por el usuario para cada una de ellas.

**NOTA:** MINTRA (Madrid Infraestructuras del Transporte) agradece a través de los autores de este artículo, la participación conjunta del Consorcio Regional de Transportes de Madrid en la elaboración de la información recogida, así como la colaboración prestada por Metro de Madrid, S.A.