

## Tranvía de Medellín, primer sistema de tranvía moderno de Latinoamérica

### Javier Bueno Estévez

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

Obrascón Huarte Lain

#### Resumen

El proyecto del tranvía de Medellín, con una longitud de 4,2 km y pendientes de hasta el 12,5 %, la mayor del sistema tranviario mundial, discurre en su mayoría por zona urbana. La plataforma tranviaria está formada por una base granular sobre la que se colocan dos losas de hormigón de 45 cm de espesor, en las que se sitúa un carril RG28 central de guiado del sistema tranviario Translohr. El proyecto incluye nueve paradas en superficie, dos de las cuales tienen conexión con nuevas líneas de Metrocable.

#### Palabras clave

Tranvía Ayacucho, Medellín, Translor, RG-28, movilidad, transporte

#### Abstract

*The Medellín tram Project, 4,2 km long and 12,5 % maximum slope, the biggest of World tramway system, it's mostly in urban area. The tram platform has two 45 cm concrete slabs over a granular base. Over those slabs it has a Translohr tramway system with RG28 central guided track. The project includes nine ungrounded stop. Two of them have connection with news Metrocable lines.*

#### Keywords

*Ayacucho Tram, Medellín, Translor, RG-28, Mobility, Transport*

La ciudad de Medellín se constituye en el mayor centro urbano de la cordillera central de los Andes y en el segundo más grande de Colombia, con más de 2 millones de habitantes. Con el fin de adaptarse a la evolución demográfica, topográfica y económica desde la década de los noventa, la ciudad ha implementado, progresivamente, sistemas de transporte públicos colectivos de calidad como metro, metrocable y metropólus, así como rutas alimentadoras que mejoran la movilidad, reducen la tasa de accidentalidad y el impacto de la contaminación atmosférica.

En este contexto, surge el proyecto para la movilidad urbana Tranvía de Medellín, una solución tecnológica guiada, eléctrica y sobre neumáticos de tipo tranviario que recorren pendientes de hasta 12,5 % –la mayor del sistema tranviario mundial– y discurre, en su mayor parte, por la zona urbana del tradicional eje vial de la calle Ayacucho. Con una longitud de 4,2 km, moviliza a 90.000 pasajeros diariamente, desde la estación San Antonio de la Línea A del Metro, situada en la zona centro de la ciudad, hasta el barrio Alejandro Echavarría, ubicado en la Comuna 9 de la zona centro oriental de la misma. Su recorrido es de 12 minutos, con una frecuencia regular de cuatro, y beneficia a cerca de 350 mil personas de las comunas 8 Villa Hermosa, 9 Buenos Aires y 10 La Candelaria de la zona centro oriental de la ciudad de Medellín. Tiene una velocidad promedio de 30 km/h y se

distribuye en seis paradas y tres estaciones de transferencia. Se complementa con dos cables en su extremo oriental: uno entre Las Estancias y el 13 de Noviembre; otro que recorre el tramo Villa Liliam-La Sierra.

#### Consideraciones generales de obra

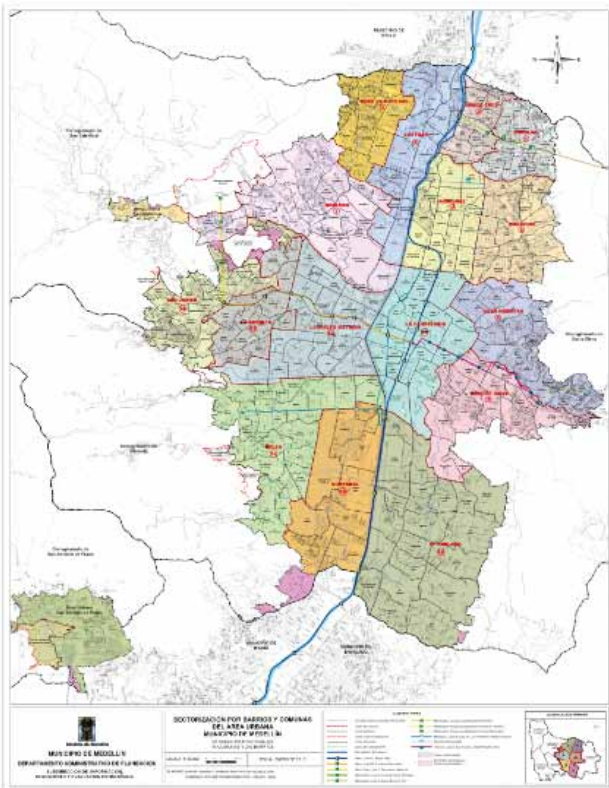
El proyecto Tranvía de Medellín cuenta con un tramo de 1 km que discurre en paralelo a una quebrada con fuertes pendientes transversales estabilizados con pilotes de diámetros entre 1,20 y 2,00 de profundidad, que superan los 10.000 metros de longitud acumulada, ejecutados manualmente. Para la construcción de una gran proporción de las mismas tuvo que utilizarse la técnica de roca volada. El resto del trayecto se desarrolla en zona urbana principalmente comercial, y en un menor porcentaje residencial.

El proyecto contempla, también, el edificio de talleres y cocheras que, por sus grandes desniveles, deja pantallas descubiertas de hasta 13 metros que exigen anclar los pilotes al terreno en una longitud mayor de 10.000 metros.

La plataforma tranviaria está formada por una base granular sobre la que se han colocado dos losas de hormigón de 45 cm de espesor, en las que se sitúa un carril RG28 central de guiado del sistema tranviario Translohr. Este sistema se mueve sobre ruedas neumáticas y se guía por un raíl cen-



Fuente: Google Earth, 2010 Digital Globe. Europa Technologies 2010



Comunas de Medellín. [www.mdeinteligente.co/estrategia/descubre-medellin-15-mapas-y-mas](http://www.mdeinteligente.co/estrategia/descubre-medellin-15-mapas-y-mas). En línea morada trazado de tranvía

tral en el que apoyan dos ruedas metálicas. Las parejas de ruedas de guiado, en número de cuatro a seis a lo largo del tranvía, se sitúan entre los módulos.

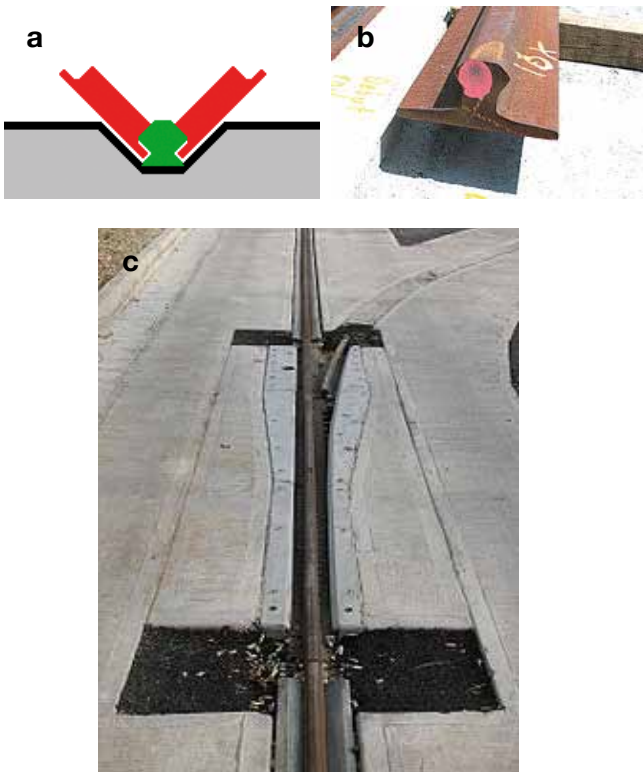
La tracción del Translohr es eléctrica. Se alimenta por línea aérea, aunque puede incorporar un sistema de baterías para poder circular en zonas en las que no se desea colocar cable de alimentación. Mediante el uso de baterías, la velocidad se limita a 30 km/h.

### Cambio de agujas del Translohr

El vehículo consiste en un conjunto articulado de tres a seis módulos, con una cabina de conducción en cada extremo. Se fabrica con las siguientes configuraciones:

- STE3 (3 módulos, 25 metros, 127 pasajeros).
- STE4 (4 módulos, 32 metros, 170 pasajeros).
- STE5 (5 módulos, 39 metros, 213 pasajeros).
- STE6 (6 módulos, 46 metros, 255 pasajeros).
- Doble de STE3 acoplados (51 metros, 254 pasajeros).

Los módulos de pasajeros del Translohr están construidos en aluminio y materiales compuestos, lo que permite una reducción del peso de conjunto. Los extremos están cons-



a) Sistema de guiado; b) sección del raíl de sistema de guiado; y c) sistema guiado

truidos en acero para poder recibir impactos. La vía puede construirse en zona pública, incluso compartiendo la circulación con otros vehículos.

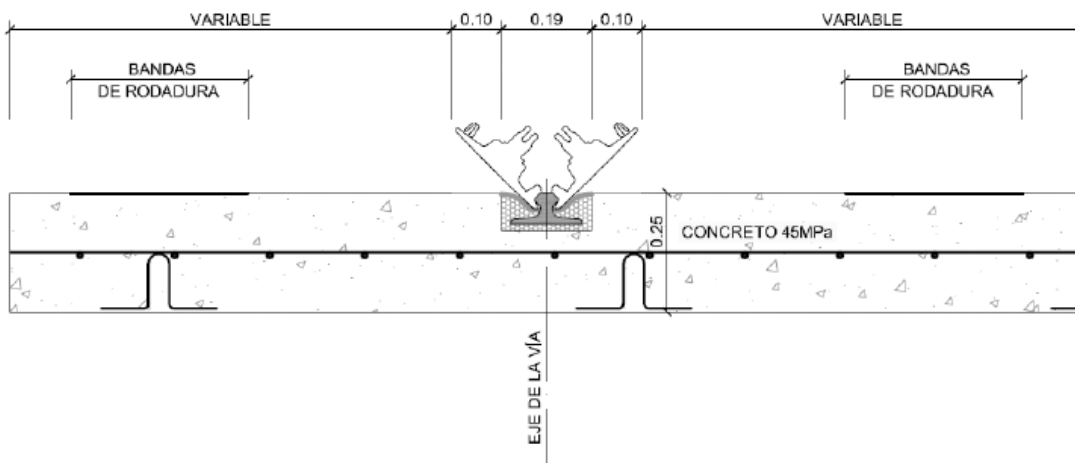
**Superestructura de vía: plataforma y guiado**

La longitud total del tranvía de Medellín es de 4,2 km aproximados, en vía doble y con alimentación eléctrica por medio de línea aérea de contacto (catenaria). La orografía y el carácter consolidado de las zonas atravesadas obligan al trazado a condicionantes considerables, combinándose a lo largo del recorrido:

- Planta: formada por alineaciones rectas conectadas por curvas circulares, cuyo radio mínimo es de 20 m.
- Alzado: constituido por rasantes uniformes de pendientes variables que alcanzan valores del 12 %, conectados por radios parabólicos de empalme de valores mínimos de 120 m en convexidad y 200 m en concavidad.

**Carril de guiado central y sistema de rodillos**

Las dimensiones de la plataforma en cuanto a su sección transversal pueden ser obtenidas como el gálibo resultante de la circulación guiada de los vehículos y sus consideraciones dinámicas, que variarán en función del trazado. La envolvente de dichas consideraciones dinámicas y un espacio adicional conforman el límite de la plataforma, venido a denominar como Gálibo Libre de Obstáculos (GLO).



Carril guiado central y sistema de rodillos



Carril guiado central y sistema de rodillos

### Gálibo Libre de Obstáculos

El GLO se materializa con hormigón con gravado artístico y en relieve para advertir a los usuarios del espacio definido para el tranvía, de 30 cm de espesor, como parte integrante de la plataforma. El GLO varía ligeramente a lo largo del trazado y puede tomarse como valor de partida para el ancho de plataforma, con una longitud de 6,30 m.

La conjunción del carril de guiado y el rodaje sobre neumáticos exige que la plataforma disponga de una uniformidad cuidada, que debe provenir de una ejecución adecuada desde sus capas inferiores y de acuerdo a las características geotécnicas del terreno base. Para el acabado superficial se ha optado por una plataforma plana. La obra civil considera este punto con especial atención, siguiendo las exigencias requeridas para este tipo de plataformas, entre las que destaca el control UNI longitudinal de la vía rodante, de procedencia francesa.

Otros elementos indisolublemente ligados a la plataforma que deben tenerse en cuenta a la hora de su ejecución son:

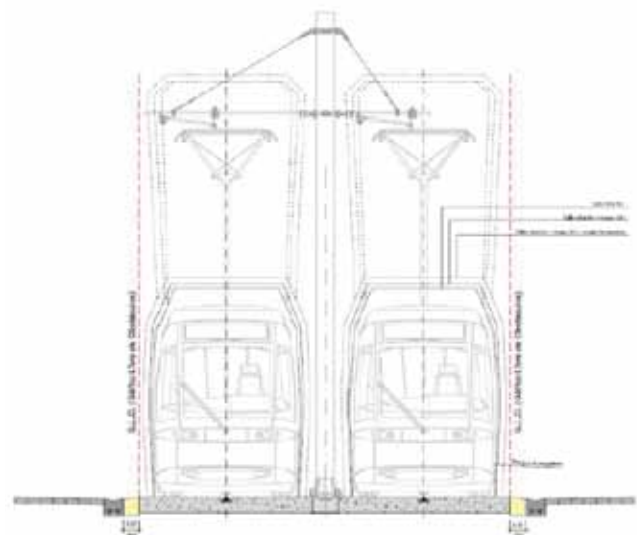
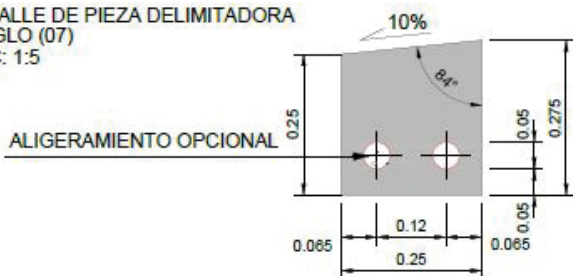
- *Canalización multitubular y catenaria:* permiten instalar todos los elementos que se requieren para proveer de energía y otros servicios a la línea tranviaria.

- *Drenaje de la plataforma:* debe asegurarse el drenaje para evitar cortes en el servicio por presencia de agua. En este sentido, aun cuando el agua circula hasta la red general de drenaje existente, la plataforma cuenta con una red independiente de drenaje por motivos de seguridad. Debe considerarse que los elementos de drenaje no son solo longitudinales sino que pueden complementarse con otros transversales que por diversas razones sean requeridos para el funcionamiento correcto del drenaje.

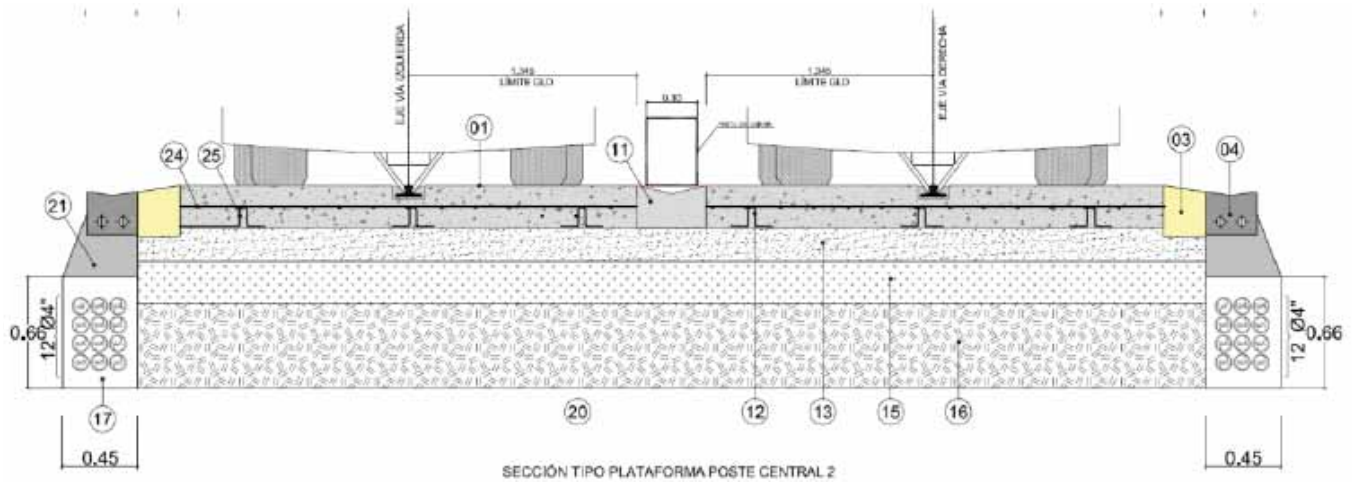
- *Aparatos de vía:* para el correcto funcionamiento y explotación de la línea es necesario disponer de aparatos de vía que permitan realizar las maniobras necesarias a los vehículos. Dichos aparatos, de diversa naturaleza, se sitúan en diversos puntos de la línea tal y como indica el esquema adjunto.

Existen cuatro cambiavías doble (bretelles) y un desvío para la entrada a talleres y cocheras. Cabe destacar la presencia adicional de cuatro cruzamientos en el encuentro con el fu-

DETALLE DE PIEZA DELIMITADORA DE GLO (07)  
ESC: 1:5



Gálibo libre de obstáculos



longitudinales adicionales a cada lado del andén, formados por una rampa de acceso de 5,30 m de longitud y vestíbulos de 3,25 m de extensión. En estos espacios se sitúan los equipos de billeteaje y acceso.

*Paradas terminales:* rectas, de longitud 46 m y disposición central de andén. En la estación de San Antonio, el andén central adquiere un ancho de 11 m, a lo que se añade un vestíbulo para favorecer el intercambio de modo. En el caso de la estación de Alejandro Echeverría, el andén dispone de 4,5 m de anchura.

En las estaciones de transferencia, la obra civil adecúa el entorno de la parada de metro de San Antonio para cumplir con los objetivos de intermodalidad deseados.

turo sistema de transporte, que vienen dados por el eventual de sistemas de guiado en esta futura línea.

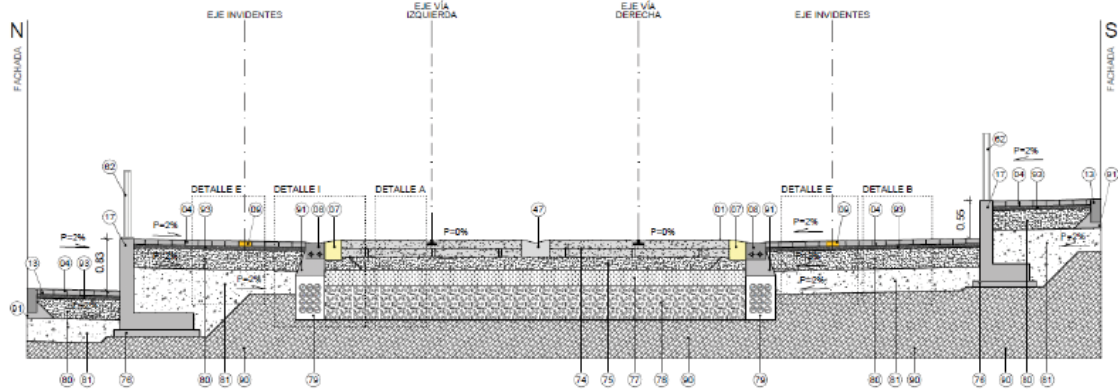
### Paradas y estaciones

Existen un total de seis paradas y tres estaciones, lo que arroja un valor de distancia entre parada de 468 m. Las paradas están preparadas para acoger unidades de material móvil de 39 m de longitud.

El acceso al tranvía desde al andén se realiza mediante puertas de andén. En las paradas se conciben como cerradas mediante el uso de estructuras metálicas y pantallas acristaladas, para facilitar el control de acceso al tranvía.

*Paradas en línea:* rectas, de longitud 42 m y disposición lateral de andenes de 3 m de anchura. Se prevén espacios





Respecto a las estaciones de Miraflores y Echavarría, la obra civil de estas se ha realizado de acuerdo a los diseños validados por el adjudicatario del contrato de suministro de cabinas y cables.

El adjudicatario del contrato Obra Civil Cables es el encargado del suministro e instalación del equipamiento mecánico relativo al sistema cables (poleas, motores, soportes y cables conductores de las cabinas al garaje, entre otros) y a la explotación del mismo (tornos de acceso, sistemas...).

**Urbanismo**

La introducción de un tranvía en un entorno urbano consolidado deviene en una oportunidad para la regeneración de los entornos que recorre debido a su carácter superficial. Es habitual devolver al entorno una cara más amable con el peatón y, por ello, unos acabados superficiales cuidados y

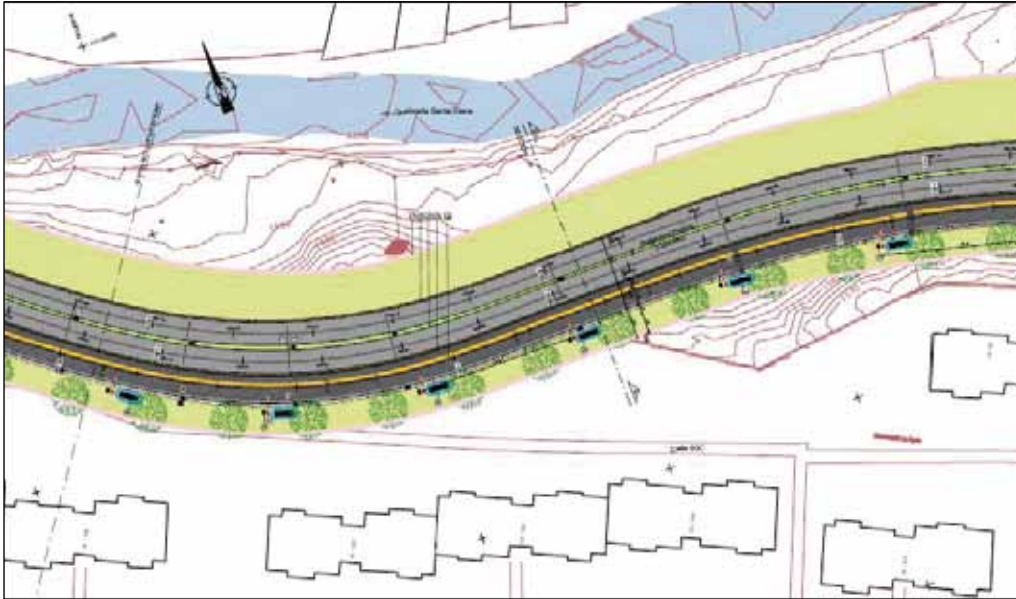
de calidad. Incluso en los casos en los que se sigue dejando protagonismo al vehículo privado.

En el caso de Medellín, la introducción del Corredor Verde se corresponde con esta voluntad de transformación de la ciudad y, por tanto, este será reconvertido con una actuación de fachada a fachada que ofrezca un nuevo corredor adaptado a las necesidades y que dote de seguridad la circulación de los usuarios.

En determinados lugares, el tranvía de Medellín abre una nueva vía de conexión donde antes no existían viales, como ocurre en el entorno de la quebrada de Santa Elena, donde la actuación implica la introducción de nuevas zonas verdes.

- *Resolución de accesos*: por la orografía cambiante, ha sido necesario ejecutar escaleras y muros en diversas zonas, que mantienen el mismo nivel de acabados que el resto y están





Actuación prevista en el margen de la Quebrada de Santa Elena



acompañadas de barandillas adecuadas para la seguridad de los usuarios. El drenaje de estos elementos también se ha resuelto.

- *Alumbrado Público*: todo el alumbrado, tanto de la plataforma como del resto de espacios públicos, se considera dentro de los trabajos de obra civil, incluyendo las excavaciones y reposiciones necesarias, el aporte de todos los materiales, también la parte eléctrica y las conexiones a la red.

#### **Redes de servicios domiciliarios**

El carácter incisivo de la actuación en el entorno urbano hace necesaria la reposición de las redes de servicio externas a lo largo de la traza. Estas redes son las siguientes:

- *Redes eléctricas*: han sido retiradas las redes aéreas primarias y secundarias, las del sistema parrilla y se han suministrado e instalado redes áreas y subterráneas primarias.

- *Redes de telecomunicaciones*: se han instalado las canalizaciones telefónicas subterráneas necesarias.

- *Redes de acueducto*: se han demolido las estructuras de concreto y se ha procedido al movimiento de tierras necesario para recolocar de forma satisfactoria las acometidas y conducciones del acueducto con todos sus elementos (tuberías, accesorios, válvulas hidrantes y otros).

- *Redes de alcantarillado*: se han realizado los movimientos de tierra y actividades necesarias para el suministro e instalación de la red subterránea de alcantarillado con todos sus elementos (tuberías de distinto diámetro, acometidas, cámaras de inspección, cámaras de caída, aliviaderos, botadores, tapas y anillos, sumideros, etc.), así como los cambios que requieran los elementos existentes recuperables para ser adecuados.

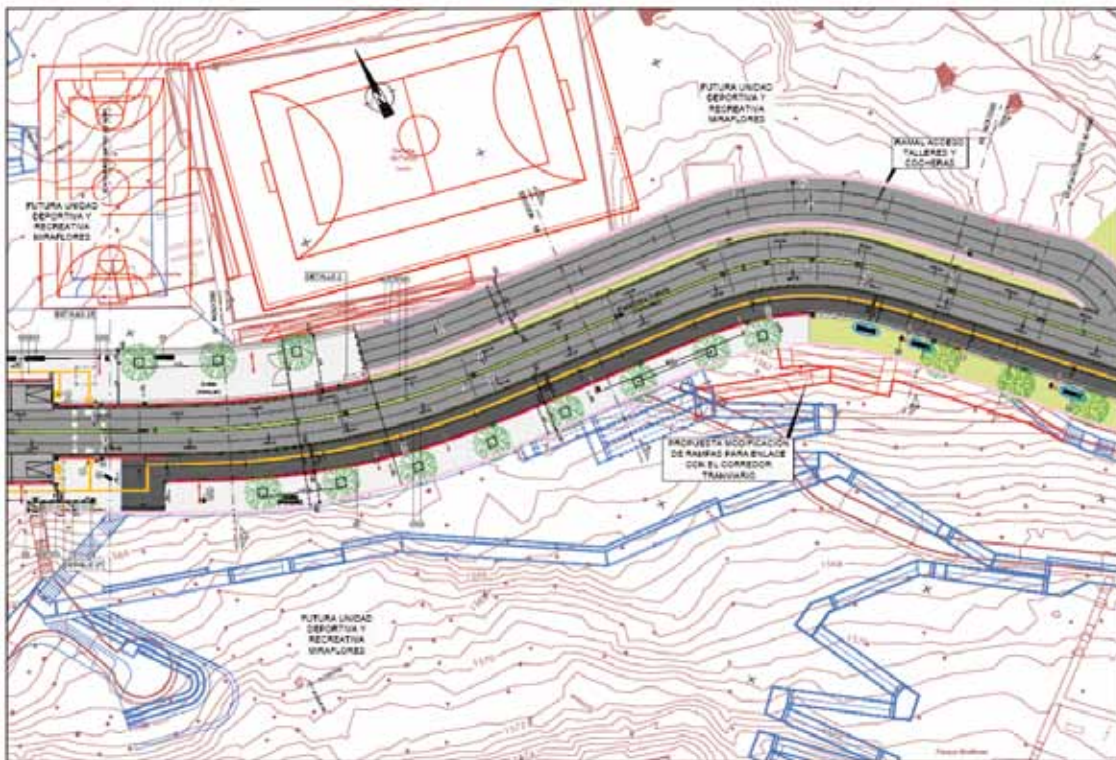
- *Redes de gas*: se han demolido las estructuras de concreto existentes y se han suministrado e instalarán las nuevas tuberías con todos sus elementos (válvulas, centros de medición, acometidas, etc.) y trabajos auxiliares.

- *Drenaje de la plataforma del tranvía*: como ya se citó en un apartado anterior, debe realizarse de forma independiente al resto de superficies aun cuando vierta a la misma red general.

### Otras afecciones externas

Además de las actuaciones descritas y pertenecientes al entorno más próximo de la plataforma y el sistema tranviario, se han ejecutado una serie de actuaciones denominadas externas:

- *Compensación de unidades deportivas*: terrenos actualmente destinados a usos recreativos y deportivos denominados Unidad Deportiva y Recreativa Miraflores. La incompatibilidad de las instalaciones y urbanización actualmente existentes con la inserción tranviaria, ha requerido de la retirada y demolición de algunos de estos elementos y la posterior reposición de los mismos. En la imagen siguiente se muestran estas.





La incorporación del Tranvía de Medellín al tráfico viario, ha requerido una reordenación a nivel global de la red viaria. Esta no se limita, exclusivamente, a los viales donde se inscribe la plataforma tranviaria, sino que requiere de un ámbito de actuación más amplio, que permite recomponer la red viaria urbana de forma coherente y eficiente.

Se ha acometido en los denominados pares viales (Calle 47 Bomboná y Calle 50 Colombia) una actuación, en términos de urbanismo, con un alcance similar al anteriormente descrito para el entorno de la plataforma, que incluye preliminares y demoliciones, pavimentación, jardinería, resolución de accesos, alumbrado público, señalización, mobiliario urbano, adecuación de fachadas a predios, redes de servicios externas (eléctricas, telecomunicaciones, acueducto y alcantarillado) y muros a predios.

Por otra parte, en la confluencia con la Quebrada de la India ha sido necesaria la construcción de una estructura de paso de pequeña entidad. De este modo, se incluye la construcción de dicho puente, conteniéndose los movimientos de tierra, estructuras de refuerzos, acabados superficiales y muros anexos. **ROP**

