

LA NUEVA LÍNEA L2 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BARCELONA

Lluís Moreno i Barceló.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Albert Chimenos i Vallverdú.

Ingeniero Industrial.

Manuel Sánchez Usero.

Arquitecto.

José Antonio Juncà Ubierna.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

RESUMEN

La L2 del FMB, se desarrolla a lo largo de 9'1 kms, entre las estaciones de Paral.lel y La Pau, en Barcelona. El primer tramo (Paral.lel-Sagrada Familia), se inauguró en 1.995, mientras que el segundo se pondrá en servicio a lo largo de 1.997.

Cuatro son las características a destacar en las obras de esta Línea que han merecido, además, el Accésit del Premio Construmat 1.997: a) La definición de espacios y la supresión de barreras arquitectónicas en las 12 estaciones nuevas. b) La utilización de vía en placa prefabricada en 7.300 m. de la Línea, lo cual permite mantener la rasante de la vía controlada. c) Adopción de la catenaria rígida, que requiere, entre otras ventajas, una menor exigencia de gálibo, mantenimiento reducido y renovación del hilo de contacto sin perder su geometría. d) Todos los sistemas instalados en la Línea 2 forman parte integrante del ATC que proporciona una automatización integral de la explotación ferroviaria.

ABSTRACT

Line 2 of the Barcelona railway runs for 9,1 km. between the stations of Parral·el and La Pau. The first stretch (Parallel - Sagrada Familia) was inaugurated in 1995, and the second is to come into service in 1997.

The line, which was awarded Second Prize in the Construmat contest in 1997, has four outstanding features: a) Spaces are well defined and architectural barriers are suppressed in the 12 new stations; b) Prefabricated plate rail is used in 7,300 m. of the line, providing sustained control of the grade; c) The use of a rigid catenary reduces the gabarit, requires less maintenance, and the contact line is renewed without loss of its geometry. d) All the systems installed in Line 2 form part of the ATC, giving complete automation of the railway system.

MARCO DE ACTUACIÓN

La Generalitat de Catalunya, una vez producidos los trasposos de competencias dedicó todos sus esfuerzos inversores en acabar las obras empezadas por la Administración Central. Esta línea la empezó a construir el MTTC en el año 1969, y las obras se paralizaron el 1973.

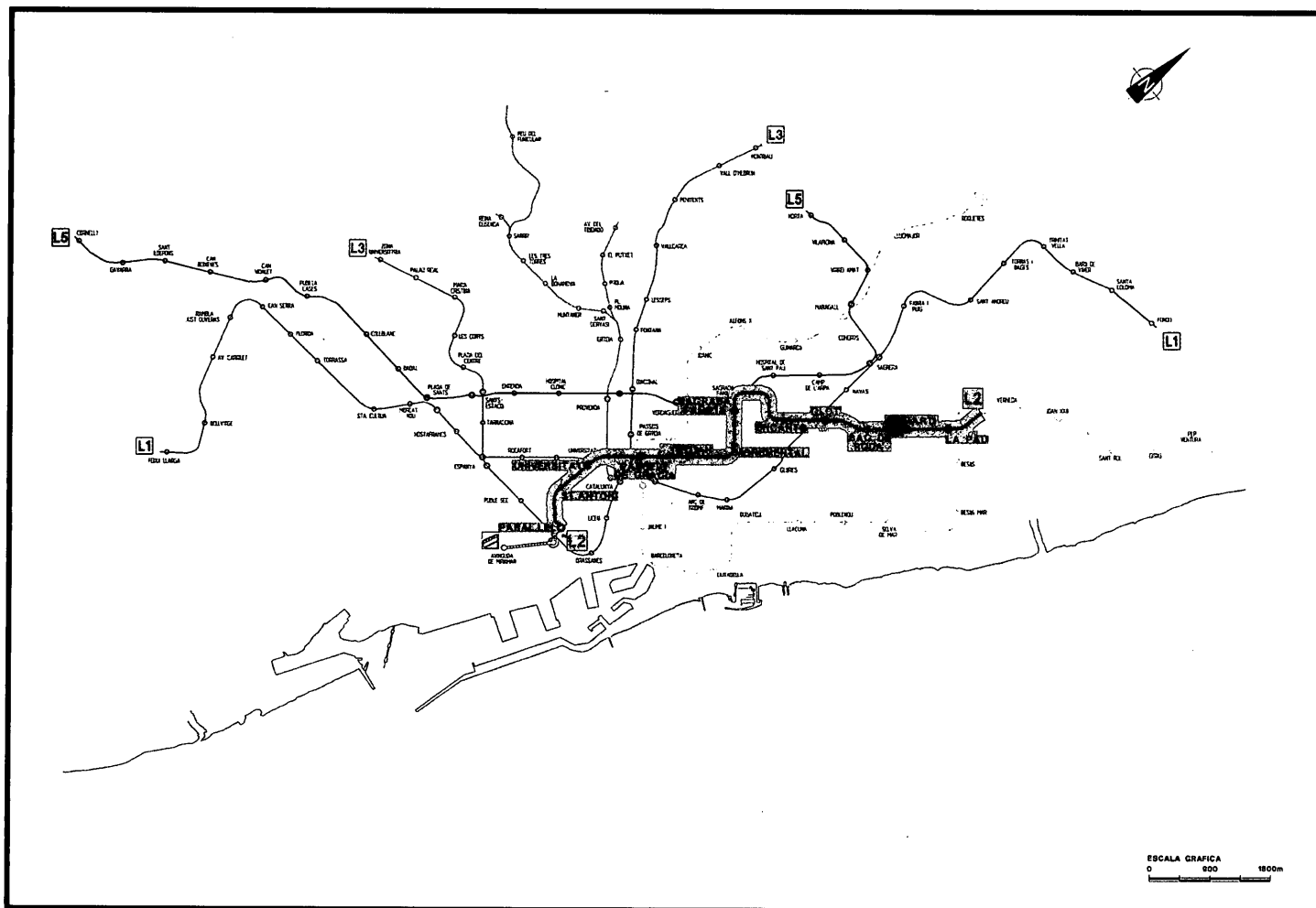
Siguiendo este programa, el año 1990 se firmó un convenio entre la Generalitat de Catalunya, el

Ministerio de Transportes, Turismo y comunicaciones y la Entidad Metropolitana del Transporte para proceder a la finalización de la línea 2 del Metro de Barcelona.

La línea completa tiene 12 estaciones nuevas y 8,1 km. de doble vía. El primer tramo inaugurado en 1995 es el de Paral.lel-Sagrada Família. Está compuesto por 7 estaciones (Paral.lel, Sant Antoni, Universitat, Passeig de Gràcia, Tetuan, Monumental y Sagrada Família). El segundo tramo pro-

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
septiembre de 1997.

Recibido en ROP:
junio de 1997



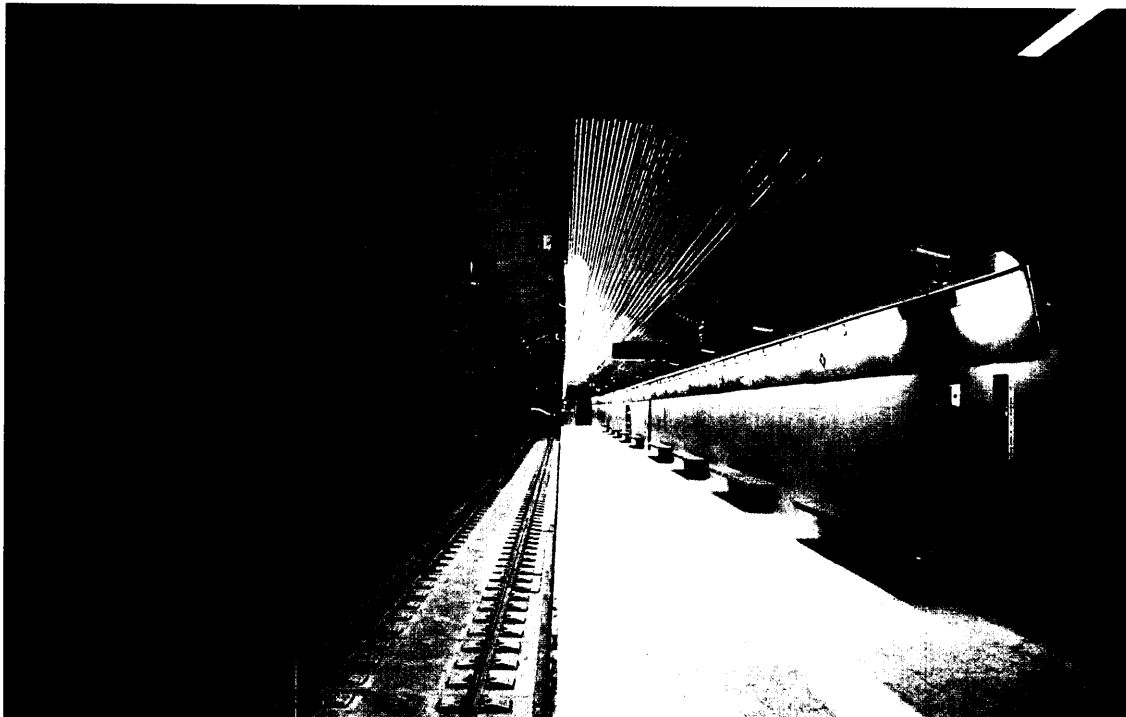
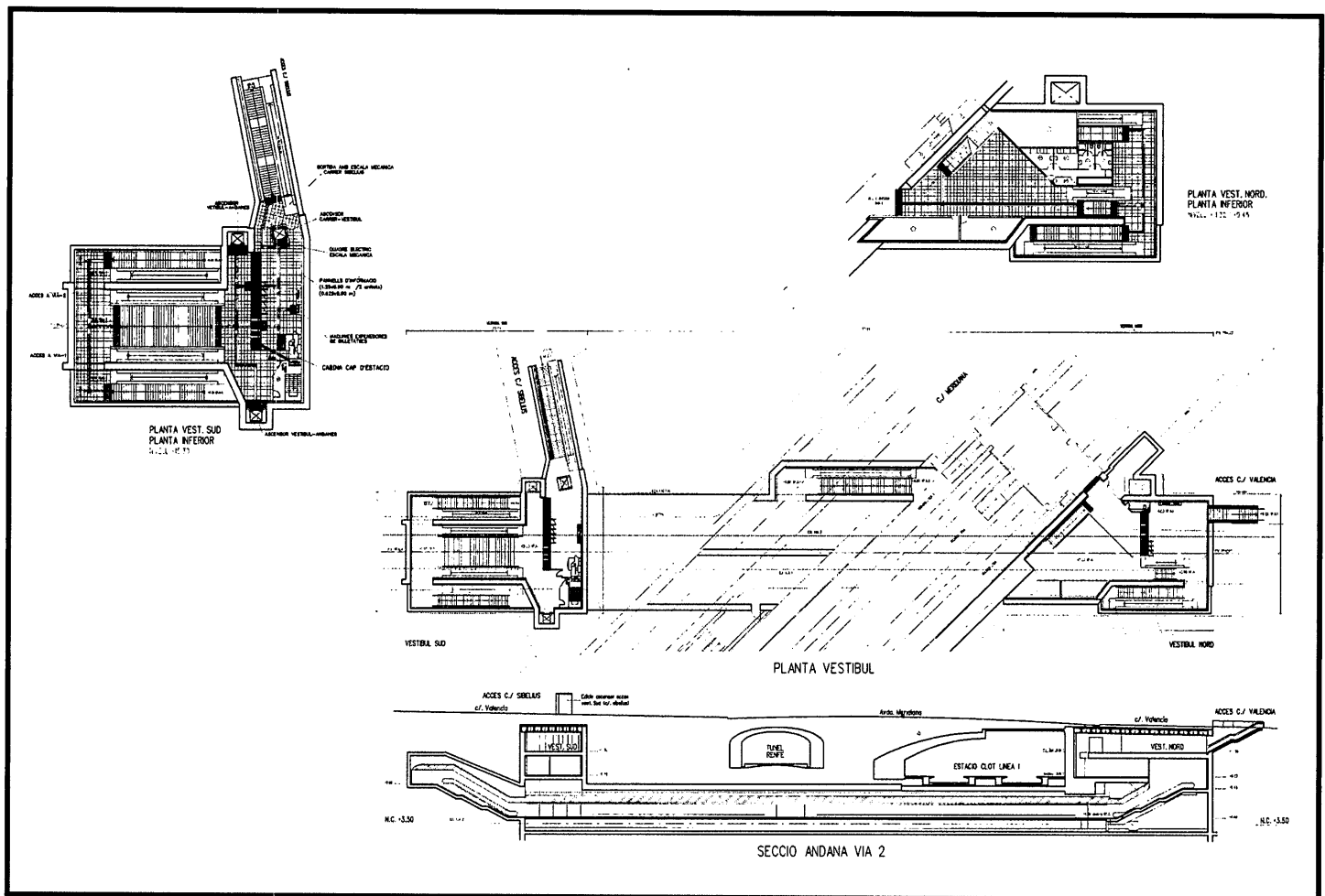
yectado es el Sagrada Familia-La Pau, ya terminado y prevista su inauguración para 1997. Tiene 5 estaciones nuevas (Encants, Clot, Bac de Roda, Sant Martí y La Pau).

LA LÍNEA 2 UN RETO PARA LA REHABILITACIÓN

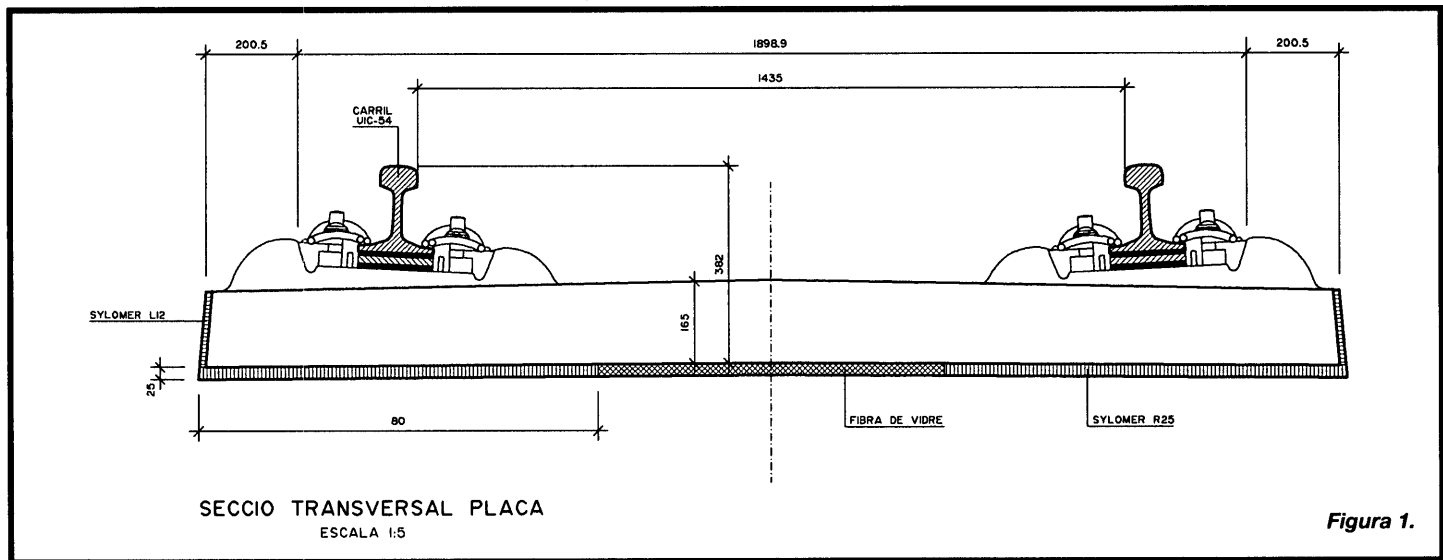
La construcción del primer tramo de la nueva L2, pasa por el estudio de la obra realizada hasta 1973. La decisión de admitir que los condicionantes actuales, poco tienen que ver con los criterios de construcción de un Transporte Público de Metro realizados en esta línea anteriormente, son básicos para un correcto enfoque de la solución a adoptar.

Se plantea un reto muy importante para discernir qué espacios e instalaciones no cumplen los requisitos de los criterios actuales: confort, seguridad, accesibilidad, etc.

Estamos frente a una rehabilitación que se enfoca ambiciosamente. Cualquier actuación de infraestructura (nuevos vestíbulos, pozos de ventilación, salidas de emergencia), comportará grandes alteraciones en el funcionamiento de la ciudad, ya que esta línea se perfila por el mismo centro del Eixample



Estación de Clot.



de Barcelona (desde Paral.lel, Ronda de Sant Antoni, Gran Via, Marina, Plaça de Sagrada Família).

Otros condicionantes a tener en cuenta en la decisión para adoptar los criterios de actuación, son las correspondencias con las líneas existentes. Estas han sido modificadas, rehabilitadas o creadas de nuevo, siempre con el criterio de máxima viabilidad y rapidez en el movimiento del pasaje. Es una línea con gran número de correspondencias: Paral.lel-L3, Universitat-L1, Passeig de Gràcia L4 y L3, Sagrada Família-L5, Clot-L1, La Pau-L4.

El segundo tramo, todo de nueva construcción, se ha diseñado ya con las características aplicadas al primero pero con mayor facilidad de ejecución al ser obra nueva. Ello ha permiti-

do algunas variaciones respecto al primero, que se describen más adelante.

OBJETIVOS DE LA NUEVA L2

1. DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Creación de nuevos espacios que aporten una nueva sensación de amplitud, luminosidad, con la intención de aportar a una obra subterránea cualidades de edificaciones aéreas, aumentando transparencias y relacionando visualmente distintas zonas, tanto de accesos como de vestíbulo y espera.

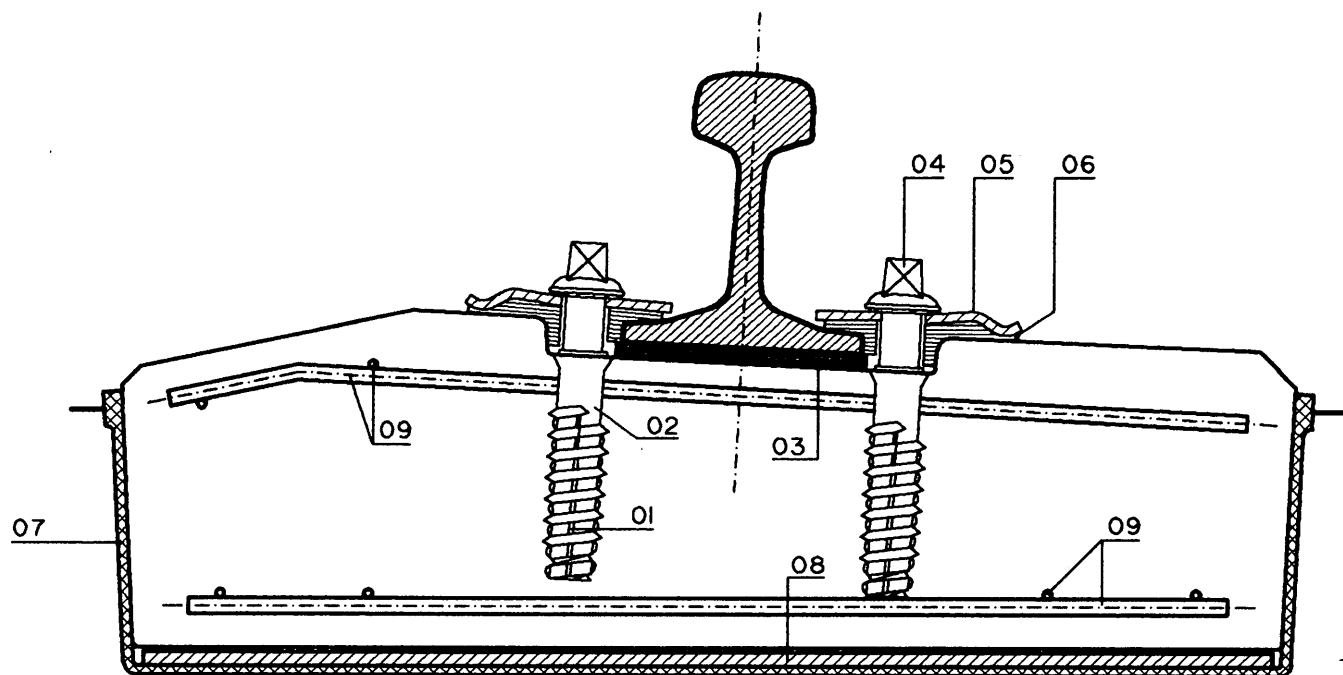
La dimensión y calidad de los vestíbulos interiores se consiguen a base del tratamiento de las paredes como si de fachadas se trataran, a base de aplacados prefabricados de piedra artificial, sustentados por anclajes de acero inoxidable. Se ha cuidado la elección del tipo de aplacado, tanto en su proporción, textura y color, para dicho efecto,

En el primer tramo la intervención en los andenes, se realiza a partir de estructuras ya existentes. Principalmente nos encontramos con una bóveda de hormigón, con diferentes puntos de clave, por andén. La principal preocupación era la limitada altura con que contaban dichas estructuras. Se han proyectado revestimientos curvos de aluminio lacado, que se utilizan como campanas reflectoras de luz, para aumentar la sensación de altura.

Aunque todas las estaciones de este tramo tienen distinta geometría, el criterio general ha sido el conseguir la máxima uniformidad tanto en las soluciones constructivas como en la utilización de los materiales. Esto permite un fácil mantenimiento.

En el segundo tramo se ha encargado el diseño de cada estación a un equipo diferente, con libertad de aplicar las soluciones arquitectónicas que consideren adecuadas, pero respe-

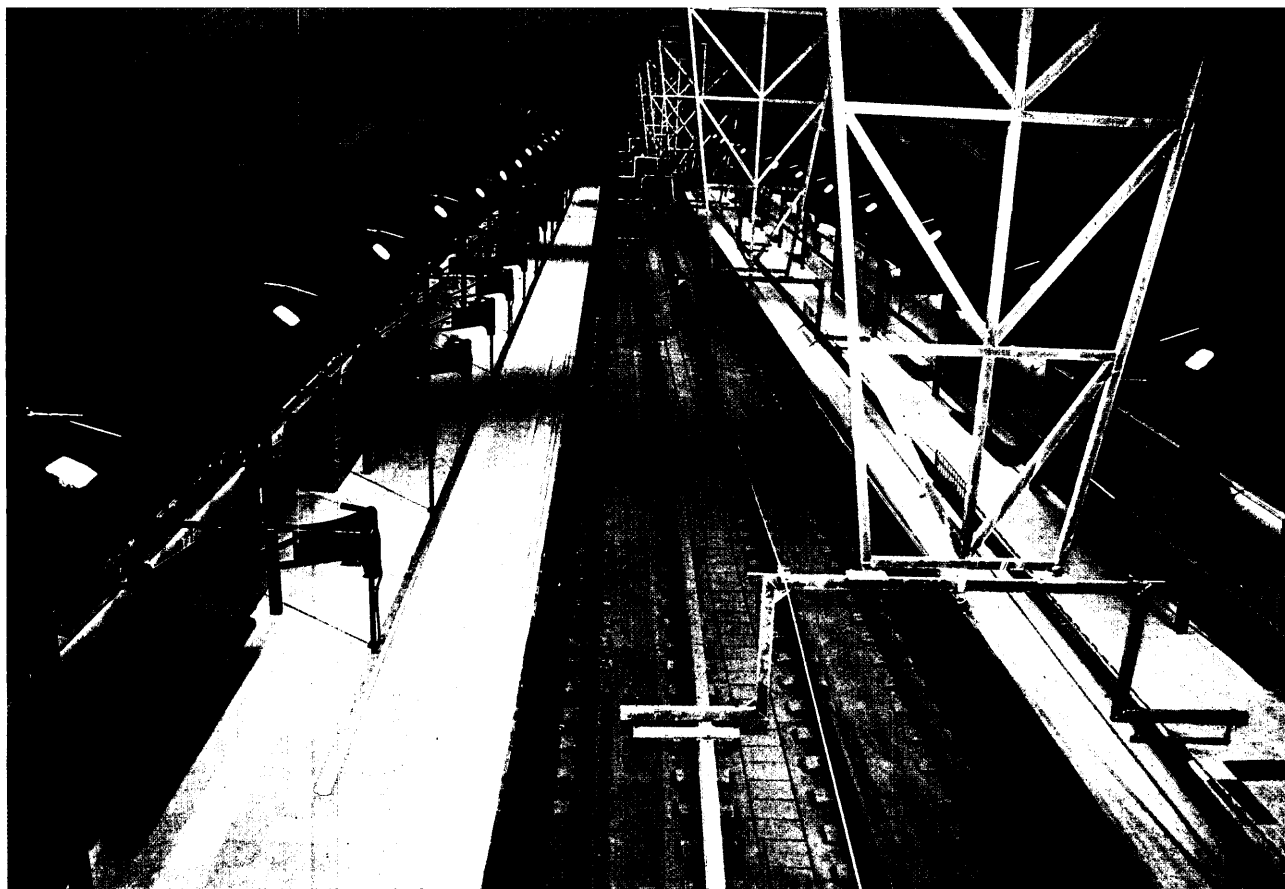
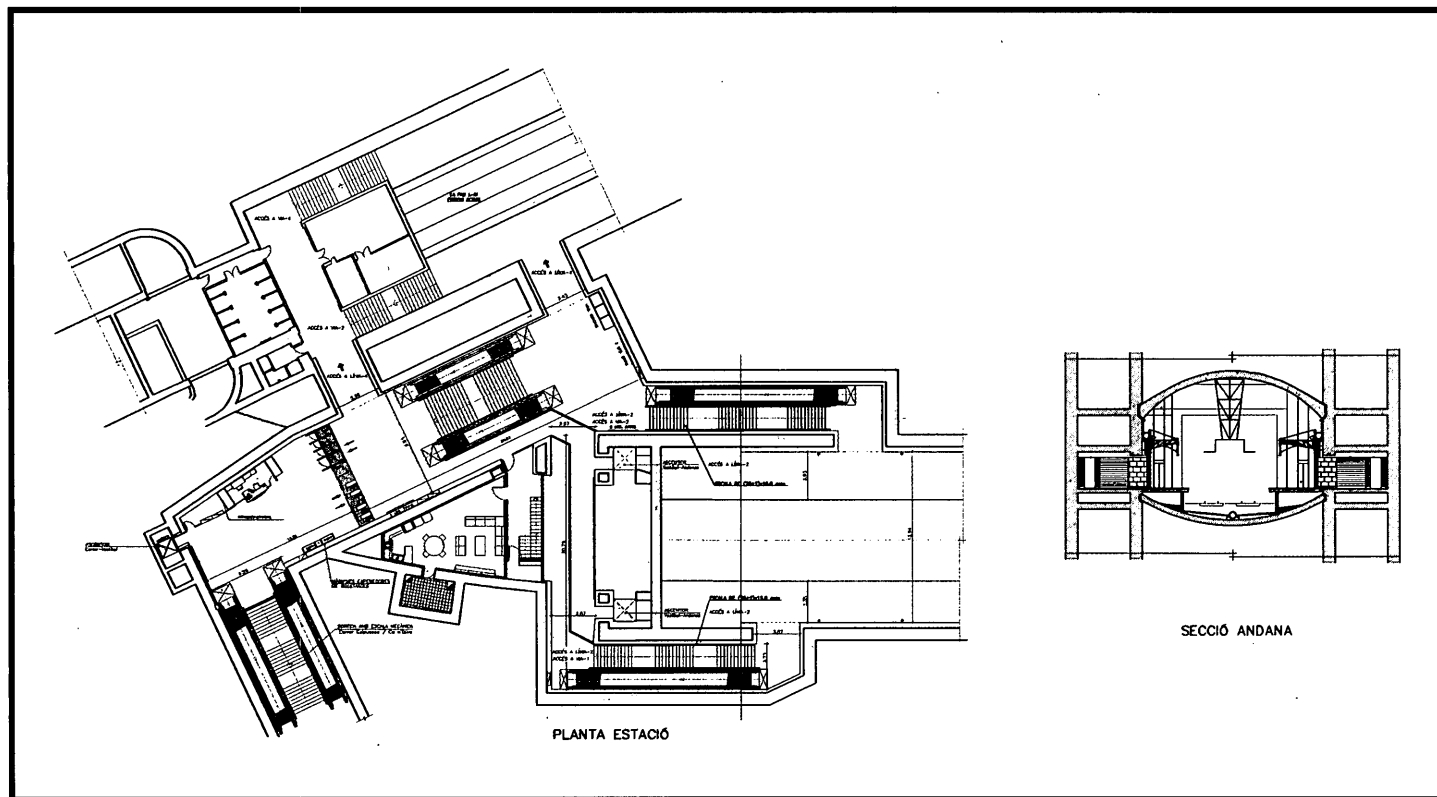




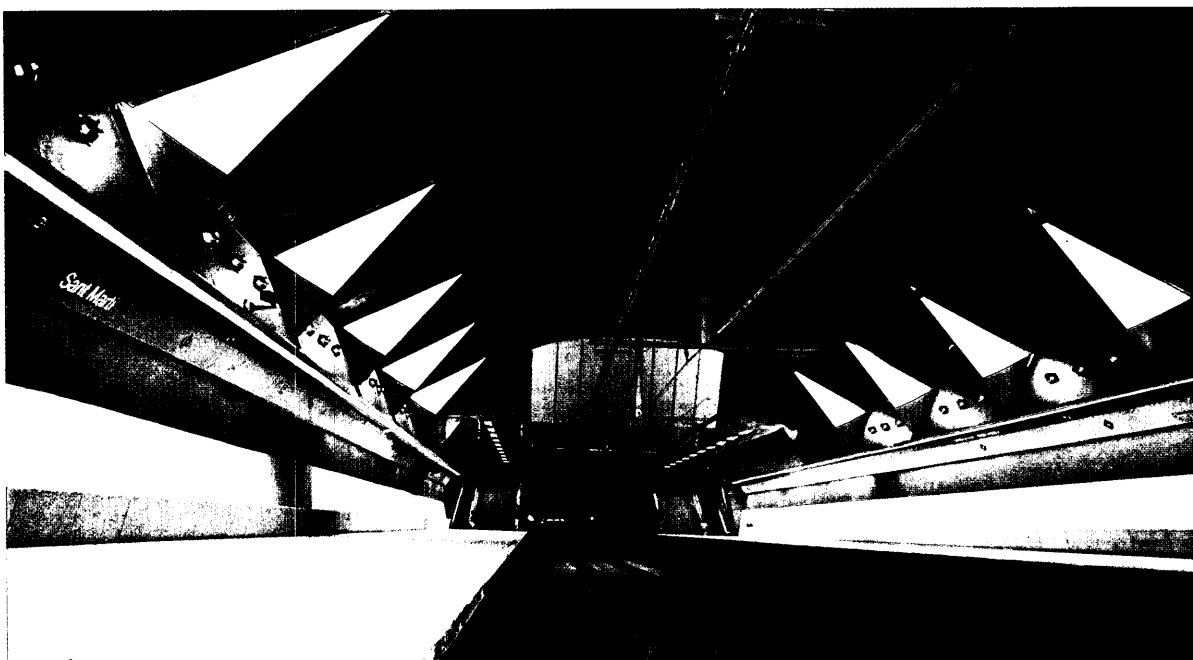
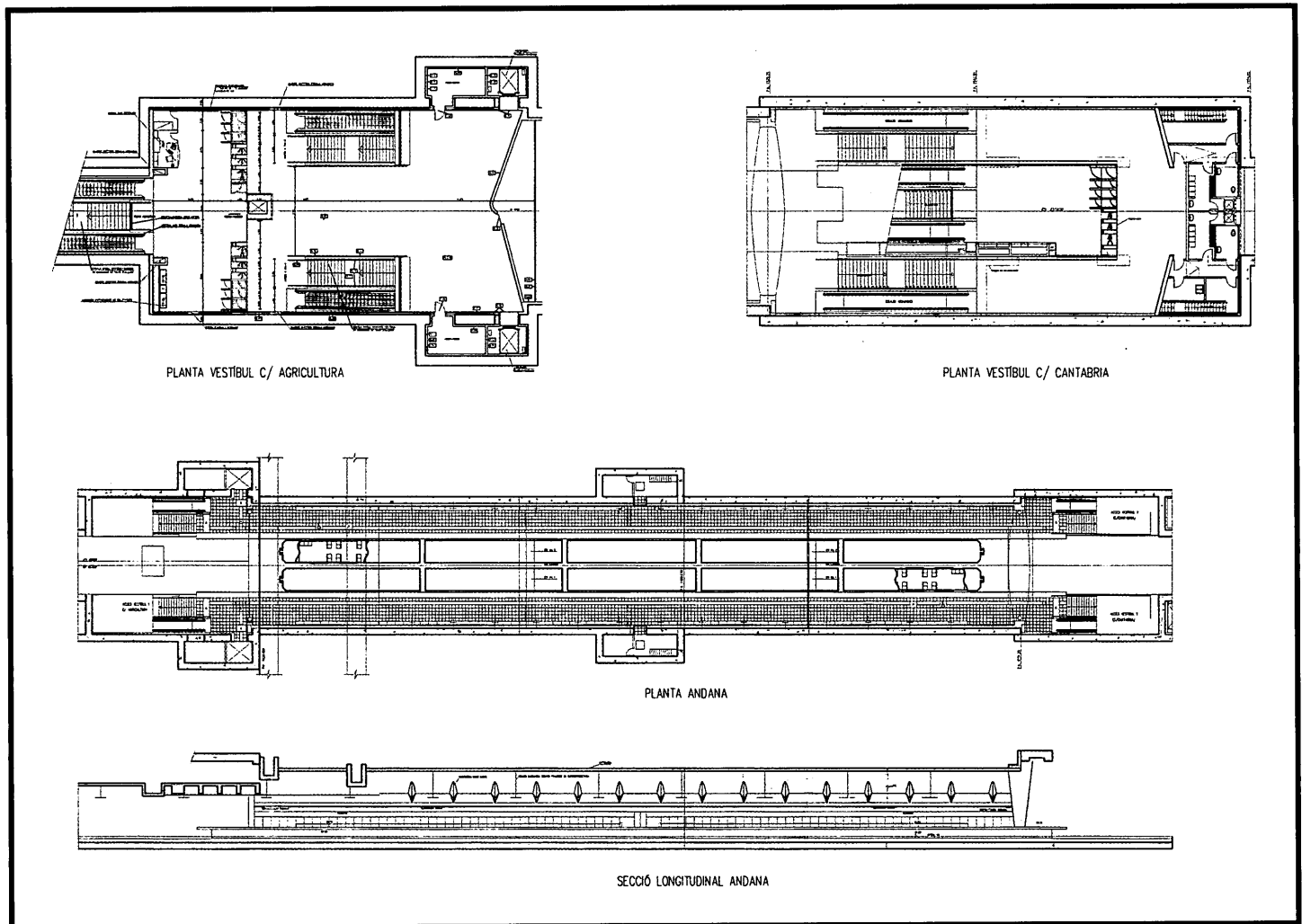
SECCIO LONGITUDINAL

POS.	DESIGNACIPO	CANT.	MATERIAL	NUM. DIBUIX	PES. UNITARI.
01	ARMADURA METL.LICA DE BLOC	1	LI04-00		
02	SUPORT ELASTOMETRIC	1	AI14-01		
03	CASSOLETA ACANALADA DE CAUTXU	1	AI13-01		
04	TOPE AILLANT NABLA RNTC/5-OBAL	2	AI04-00		
05	GRAPA NABLA RNTCI	2	FI01-01		
06	TIRAFONS GS	2	FI06-00/05		
07	SOLA ACANALADA 148x200x9	1	AI05-02		
08	FUNDA GS	2	FI07-01		
09	ESPIGA GS	2	FI09-01		

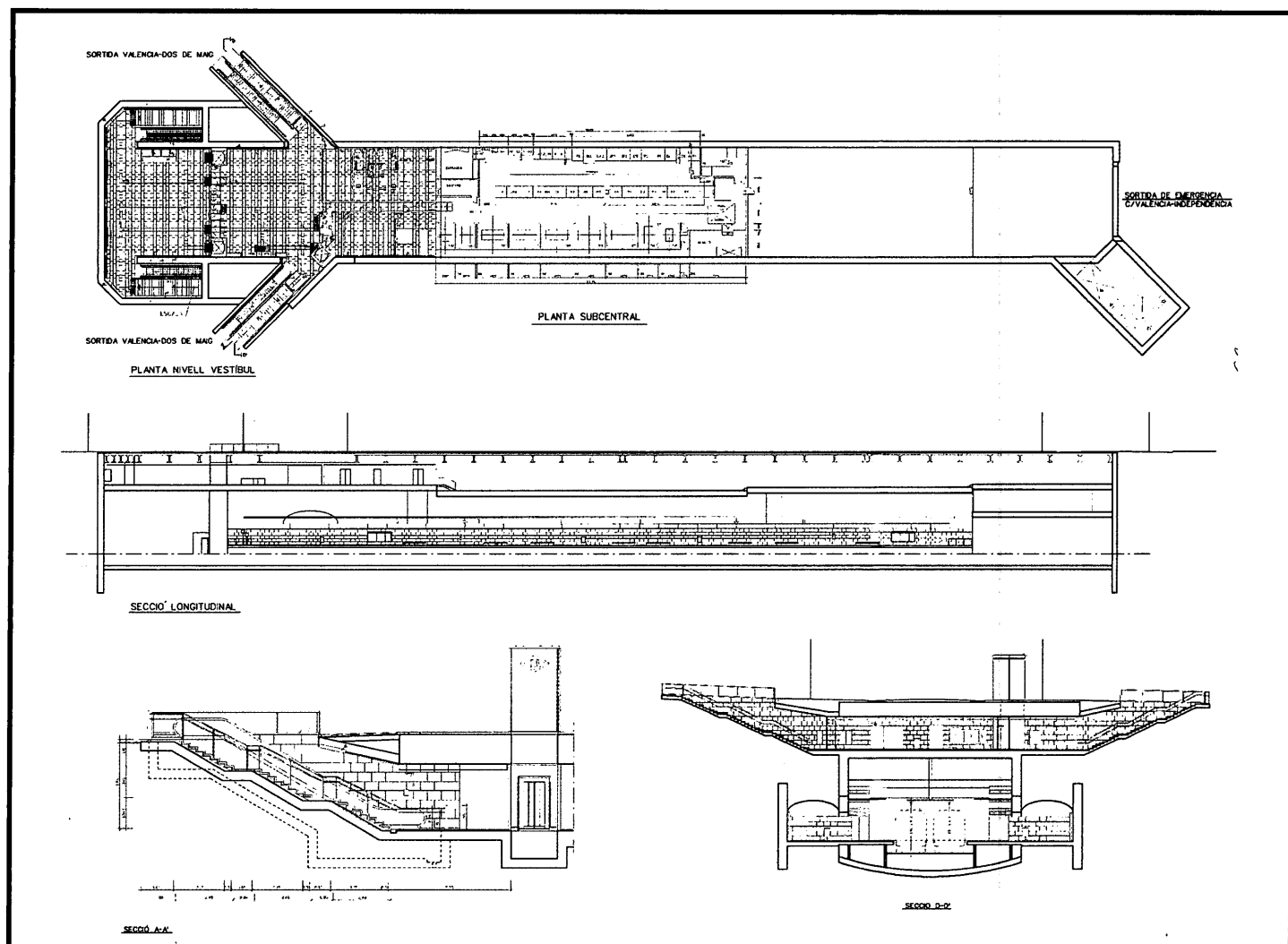
Figura 2.



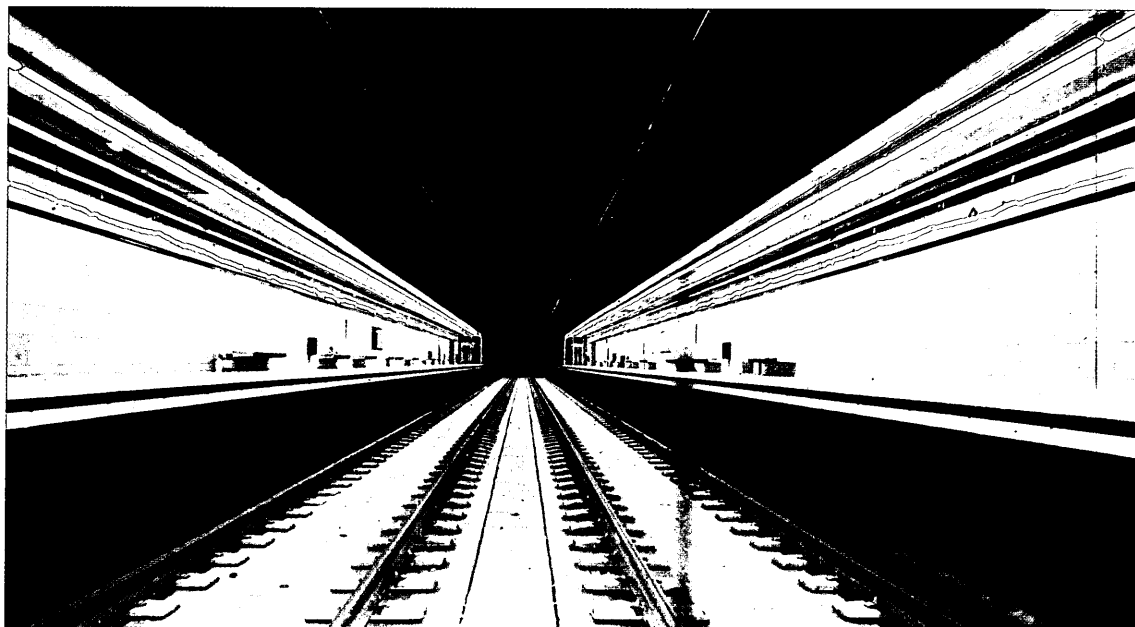
Estación
de La Pau.



Estación de
Sant Martí.



Estación de Encants.



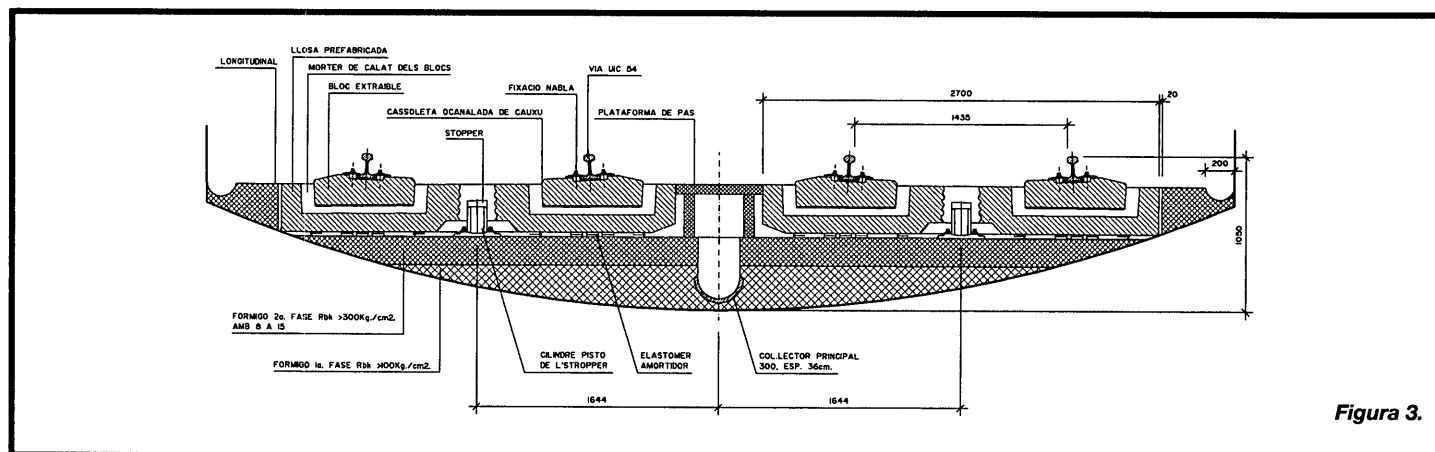


Figura 3.

tando las indicaciones funcionales que son de aplicación con carácter general, como son señalización, amplitud de andenes, escaleras fijas y mecánicas, zona de peaje, normas de accesibilidad, etc.

En base de las actuales tendencias sobre mobiliario urbano definidas por el Ayuntamiento de Barcelona, se han tratado los accesos a los vestíbulos de las estaciones con el diseño y los materiales que minimicen el impacto visual en la superficie. El tratamiento ha sido a base de barandillas de acero inoxidable y vidrio.

La amplitud de los accesos, vestíbulos, pasillos y andenes proporciona una mejor ventilación y ambientación, de tal forma que disminuye el rechazo al modo de transporte por parte de los usuarios que sufren de claustrofobia.

2.- SUPRESIÓN DE BARRERAS ARQUITECTÓNICAS

Cualquier nuevo proyecto y realización en la materia tiene en cuenta los parámetros de lo que se entiende por Diseño Universal, que consiste en planear, diseñar y construir de forma tal que se tenga en cuenta la envolvente de requerimientos de cualquier persona potencialmente usuaria.

Así, no solo basta con analizar el caso de quien es usuario de una silla de ruedas, de forma autónoma o dependiente de una tercera persona, sino que deben considerarse de forma sistemática y pormenorizada las necesidades de quienes tienen una discapacidad sensorial o psicológica, personas de edad avanzada, a los niños, personas obesas, baja talla, las mujeres en avanzado estado de gestación, etc.

mayor transparencia y aumentar la seguridad al viajero, así como la incorporación de sistema de braille en botoneras.

▼ Tratamiento de pavimentos, para la orientación de personas con bajo nivel visual. Incorporación de franjas-guía de encaminamiento, de textura y color contrastado. Además se han instalado franjas transversales de aviso, cuya finalidad es indicar la situación de elementos claves: arranque y final de tramos de escalera, expendedoras de billetes, taquillas, puerta de acceso, ascensores, etc. Asimismo se han instalado franjas de aviso y señalización del borde de andén.

▼ Aumento en el tamaño de los rótulos y pictogramas en un 20% respecto al resto de la red. Sustitución de la tradicional banderola exterior indicadora del acceso al metro por un elemento volumétrico iluminado.

▼ Mejora en el sistema de iluminación, con la elevación de los niveles lumínicos.

▼ Las instalaciones de alumbrado, se han diseñado de forma que un 25% de los receptores sean alimentados por la línea de sereno de forma que en caso de fallo del suministro normal, se pase por un estado transitorio con un alumbrado mínimo de 50 Lux, independiente del alumbrado de emergencia, para evitar el desconcierto de los usuarios.

▼ Por lo que se refiere a la evacuación del pasaje en túnel, en caso de emergencia, se ha construido una plataforma llamada de vía limpia, esto es sin traviesas, lo que permite transitar por la vía sin obstáculos hasta llegar a una estación y utilizar las salidas normales o de emergencia.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

VÍA EN PLACA

1.- TRAMO PARAL.LEL-SAGRADA FAMILIA

De los 9.100 m. lineales de vía montada en el tramo Paral.lel-Sagrada Familia de la línea 2 del FMB se ha utilizado

via en placa en 7.300 m. y los 1.800 m. restantes (correspondientes al tramo Sant Antoni-Paral·lel), se ha montado con via balastada convencional.

El tramo de via en placa se ha montado en un 88% en túnel de via única terminado de construir en el año 1973 con dovelas que dejaron un diámetro interior de 5,3 m. El hecho de haber utilizado una tuneladora de poca longitud, el túnel resultante presentaba importantes defectos de alineación, tanto en planta como en alzado, que hacían difícil encajar un trazado correcto, a la vez que resultaba imposible implantar una pasarela de evacuación longitudinal con solución de continuidad entre estaciones.

El planteamiento del problema a resolver consistía en construir una via limpia que permitiera la evacuación del pasaje por la plataforma de la via, libre de obstáculos. El hecho que la planta de trazado obligaba a cambiar el tercer carril conductor continuamente de lado, incluso en recta, por falta de gálibo, obligó adoptar la catenaria rígida como solución de via limpia.

La solución adoptada consistió en adoptar el sistema de via en placa prefabricada IPA (fig. 1), que consiste en:

- ▼ Solera de hormigón armado en forma de artesa
- ▼ Mortero de cemento asfáltico
- ▼ Losa de hormigón pretensado y postensado
- ▼ Conjunto de carril y sujeciones

A continuación pasamos a describir cada una de las partes:

▼ La solera de hormigón armado se forjó "in situ" en base al trazado resultante, replanteando por eje de via todos los puntos singulares a fin de obtener los laterales de la plataforma enrasados con las losas prefabricadas a situar dentro de la artesa.

▼ Para obtener un apoyo continuo de las losas, compensando las irregularidades de la ejecución de la solera, se inyecta por gravedad, entre la superficie de la solera y la losa, una emulsión en caliente de mortero y cemento asfáltico de unos 5 cm. de espesor. Esta capa de mortero de cemento asfáltico colabora conjuntamente con los elementos elásticos para amortiguar las vibraciones.

▼ Las losas prefabricadas elementales, de unas dimensiones de 515 x 230 x 15,5 cm., disponen de armaduras longitudinales pretensadas, y longitudinales postensadas con anclajes protegidos. Cerca de los vértices disponen de orificios dotados de tuercas que permiten nivelar las losas mediante pernos y distribuidos de forma uniforme, se dispone de 8 orificios libres para poder inyectar el mortero de cemento asfáltico.

La cara superior de la losa tiene el relieve de la forma de la cabeza de las traviesas cada 75 cm. y por la cara inferior se

puede incorporar el sylomer amortiguador de las vibraciones en función de la zona a tratar.

▼ El carril que se ha utilizado es el UIC 54 y la sujeción la IO ARV-300 que es una sujeción de tipo directa con un elastómero inferior, una placa metálica intermedia y una placa elástica debajo del patín del carril.

El conjunto de via en placa utilizada permite tres etapas de absorción de vibraciones, que son:

- ▼ a) Suela elastomérica situada debajo del carril (340 KN/mm)
- ▼ b) Placa de asentamiento inferior (20 y 30 KN/mm)
- ▼ c) Capa de mortero de cemento asfáltico con o sin sylomer (2 KN/mm)

La atenuación media total de las vibraciones verticales obtenidas en las bandas de tercios de octava centradas en las frecuencias:

10	Hz-316 Hz	de 64 de 49	a a	58,5 dB con sylomer 47,5 dB sin sylomer
31,5	Hz-126 Hz	de 65 de 40,5	a a	49 dB con sylomer 38 dB sin sylomer

2. TRAMO SAGRADA FAMILIA-LA PAU

La solución de via en placa utilizada en este tramo de 9.200 ml. de via se ha construido con bloques extraíbles sin riostra (fig. 2), ALLEVARD-STEDDEF, con sujeción NABLA-RNT-COI, forjada "in situ" en los tramos con poca sensibilidad esperada en la transmisión de vibraciones, y en los tramos con posibilidad de formación de desgaste ondulatorio o bien próximos a edificaciones se ha utilizado la losa flotante COPPSETTE y los mismos bloques extraíbles y sujeciones (fig. 3). Las transiciones entre ambos sistemas se han resuelto utilizando elastómeros de las mismas características mecánicas a los de las losas flotantes y una transición de espesores en 11,25 m. de 50 m/m a 0 m/m al pasar de losa flotante a via en placa hormigonada "in situ".

Esperamos conocer el resultado empírico de la amortiguación media total de las vibraciones verticales obtenidas.

CATENARIA RÍGIDA

Como consecuencia de haber adoptado una via en placa, lo cual representa mantener la rasante de via controlada, y el hecho de precisar una via limpia para poder evacuar el pasaje en caso de incidencias en la explotación, llevó a la adopción

de la catenaria rígida como la mejor solución para la línea 2 del FMB. Los motivos principales que condujeron a esta solución fueron:

- ▼ a) Menor exigencia del gálibo
- ▼ b) Ausencia de esfuerzos de tracción
- ▼ c) Sencillez de las soluciones por falta de colas y solapajes
- ▼ d) Mantenimiento reducido
- ▼ e) Stoks mínimos de recambios
- ▼ f) Gran sección conductora
- ▼ g) Gran seguridad al corto circuito
- ▼ h) Posibilidad de elección del hilo de contacto
- ▼ i) Renovación del hilo de contacto sin perder la geometría de la catenaria

La catenaria rígida adoptada (fig. 4) está construida por una barra longitudinal unificada de 60 cm. entre puntos de regulación vertical de la que cuelga el conjunto de suspensión mediante una pinza que permite el desplazamiento transversal de la catenaria con la finalidad de conseguir el descentramiento adoptado por el ente explotador. El conjunto de suspensión sito cada 12 m, aísla y suspende una barra de aluminio en forma de pi cerrada para hacer de tenaza y retener el hilo de contacto con una fuerza constante por unidad de longitud. En la línea 2 se han montado, con este sistema, 18.300 m. lineales de vías generales a más de los escapes, desvios y dos bretelles.

A continuación comentamos las ventajas de la catenaria rígida:

- ▼ a) La catenaria rígida precisa un gálibo adicional inferior a 300 m/m. por encima de la cota de montaje del hilo de contacto.
- ▼ b) Los seccionamientos, tanto si pertenecen a tramos aislados como puenteados, se montan sin tracción mecánica en una longitud máxima del orden de 400 m, con punto fijo de anclaje que permite la dilatación por los extremos.
- ▼ c) Al no disponer de tensión mecánica, la rigidez del sistema no precisa de colas de anclaje y los solapajes entre seccionamientos quedan reducidos a una distancia inferior a 10 m.
- ▼ d) El único elemento sometido a desgaste es el hilo de contacto que se puede sustituir, mediante un utillaje especial, a paso persona sin pérdida de la geometría previa y con interrupción por testa cuando se crea conveniente.
- ▼ e) Una vez adoptado el sistema de suspensión, el perfil de aluminio con las bridas de unión correspondientes, los

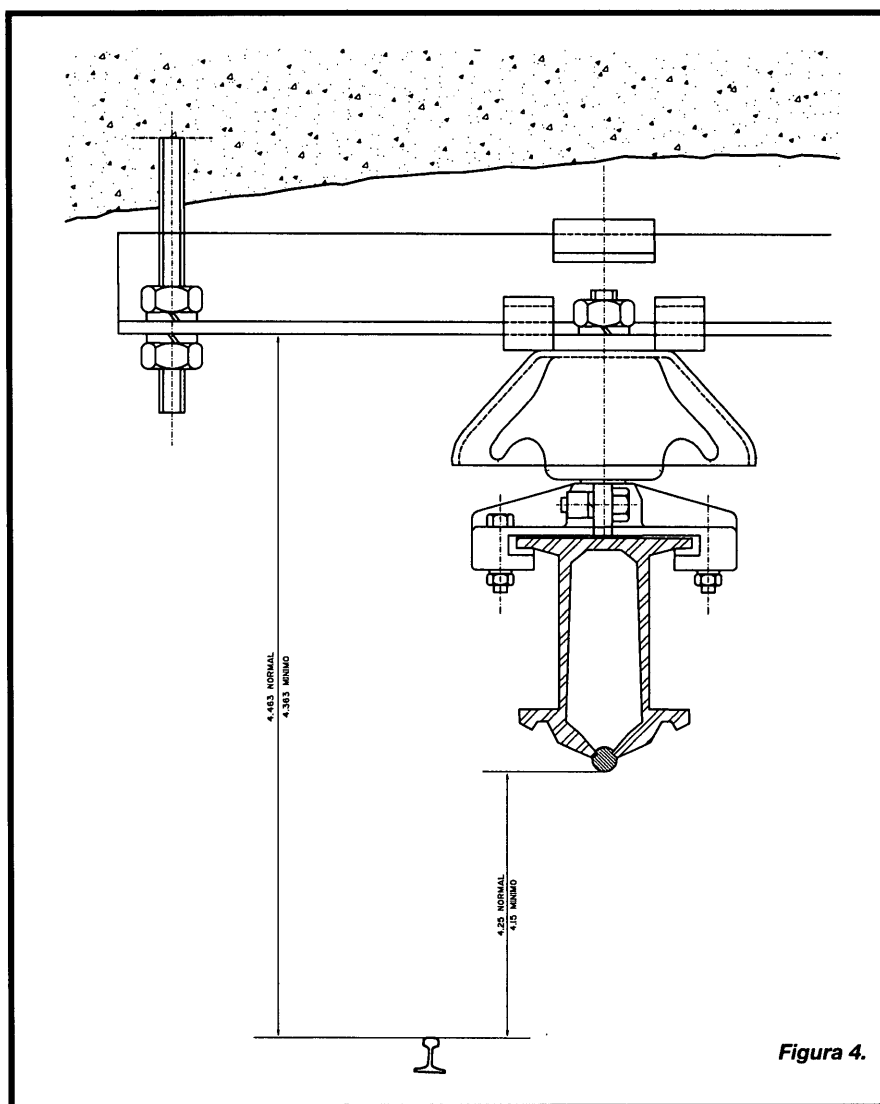


Figura 4.

puntos fijos, las grifas de conexión y antideslizantes, y las bridas de toma de tierra de los seccionadores solo quedan por definir los herrajes de anclaje a la infraestructura.

▼ f) El hecho que el perfil de aluminio tenga una sección útil de 2.214 mm², a la que se ha de sumar la sección del hilo de contacto, nos da una sección mínima equivalente de cobre de 1.500 mm², que en comparación con la sección normal de la catenaria flexible de 250 mm². Esto permite utilizar la propia catenaria rígida como feeder de alimentación prescindiendo de los llamados feeders de acompañamiento.

▼ g) Los ensayos efectuados en laboratorio permiten asegurar un gran comportamiento de la catenaria rígida, frente a los cortocircuitos, al mantener las propiedades hasta altas temperaturas.

▼ h) Con la catenaria rígida se puede utilizar cualquiera de los hilos de contacto ranurados que tenga adoptados la administración ferroviaria.

- ▼ i) Los descentramientos en planta (+/- 20 cm.), y la nivelación en alzado, se producen al situar el conjunto de suspensión en situación correcta al montar la catenaria y la renovación del hilo de contacto no produce ninguna alteración geométrica.

VALORES ELECTROMECAÑICOS

Área de la sección del perfil de aluminio	2.214 mm ²
Peso por metro lineal.....	5,8 Kg
Momento de inercia vertical.....	339 cm ⁴
Momento de inercia horizontal	113 cm ⁴
Momento resistente vertical.....	67,3 cm ³
Momento resistente horizontal	26,6 cm ³
Módulo de elasticidad	7.033 kg/mm ²
Coeficiente de dilatación	0,0238
Resistencia del aluminio	0,0285 x mm ² /m

CONTROL AUTOMÁTICO DE TRENES (ATC)

Todos los sistemas instalados en la línea 2 del FMB forman parte integrante del ATC que proporciona una automatización integral de la explotación ferroviaria.

Los equipos y sistemas que incorpora el ATC de la línea 2 son los que indicamos seguidamente:

- ▼ a) Sistema de enclavamientos, circuitos de vía y señalización lateral
- ▼ b) Equipos fijos del sistema de protección automática de trenes (ATP)
- ▼ c) Equipos fijos del sistema de conducción automática de trenes (ATO)
- ▼ d) Sistema de supervisión automática de trenes (ATS)
- ▼ e) Sistema de comunicaciones

a) Sistema de enclavamientos, circuitos de vía y señalización lateral.

La seguridad de la circulación de los trenes en las estaciones y el trayecto está cubierta por la lógica de los enclavamientos, que constituyen el sistema que permite establecer con seguridad los itinerarios a seguir para las circulaciones, actuando convenientemente sobre los aparatos de vía y señales, llevando las agujas a las posiciones convenientes y abriendo las señales para informar al maquinista que puede circular, después de comprobar que el itinerario a seguir es el correcto, que el itinerario por el que tiene que circular el tren está libre de circulaciones y que no se pueden establecer itinerarios incompatibles con el primero. Esta instalación incluye los enclavamientos de Paralel, Passeig de Gràcia, Sagrada Família, Clot y La Pau con sus cuadros de mando local, relés y equipos en cabina de ATP, ATO y comunicaciones con el puesto central de mando.

La detección de los trenes se realiza mediante circuitos de vía sin juntas, utilizando los carriles de rodadura como conductores, inyectando por un extremo una señal modulada en frecuencia (transmisores con una frecuencia portadora nominal de 4080 Hz a 6000 Hz), utilizando siempre unas frecuencias en la vía par y las otras en la vía impar con el fin de evitar acoplamientos.

A fin de mantener el servicio en el caso de explotación degradada se mantiene la señalización lateral que permite al maquinista circular con toda seguridad en estas circunstancias.

b) Equipos fijos del sistema de protección automática de trenes (ATP)

Los equipos fijos del sistema de ATP funcionan de manera asociada al circuito de vía al permitir la detección segura de la vía ocupada y poder transmitir la señal de códigos de velocidad por los propios carriles.

La seguridad de las circulaciones se consigue:

- ▼ Manteniendo una distancia de seguridad entre trenes
- ▼ Impidiendo la entrada de trenes en circuitos de vía ocupados o no autorizados
- ▼ Limitando la velocidad del tren a la máxima de seguridad del trayecto

Las velocidades establecidas en la línea 2 son las siguientes:

- ▼ Velocidad de ATP en línea70,50,45 y 35 km/h
- ▼ Velocidad de ATP en maniobras25 km/h
- ▼ Velocidad en cocheras25 km/h

Las formas de conducción son:

- ▼ Conducción manual restringida.....(M+25)
- ▼ Conducción con ATP(M+ATP)
- ▼ Conducción en marcha automática.....(ATO)

Funcionando normalmente el tren recibe en cabina la VMS y la VO al final del circuito de vía que está ocupando. Para transmitir al tren todas las posibilidades de velocidad, se inyecta en los circuitos de vía a través de los circuitos de selección de códigos, mediante 14 generadores de códigos, una señal modulada en amplitud (28 Hz-80 Hz), que se utilizaran dentro del transmisor de audiofrecuencia para generar una señal FSK que se transmite a los carriles.

c) Equipos fijos del sistema de conducción automática de trenes (ATO).

El sistema de ATO permite el arranque del tren, previa autorización del maquinista, la regulación de la velocidad supervisada por el sistema de ATP y la parada en un punto fijo de la estación.

El sistema dispone de 4 programas de marcha. Una vez se ha elegido el programa adecuado a las necesidades de la explotación, el ATO transmite la información al tren a través de dos balizas por interestación, una situada en el trayecto y la otra en las proximidades del andén que permiten la información de los datos fijos y las variables transmitidas por los ordenadores del CTC a los equipos de ATO situados en las estaciones.

d) Sistema de supervisión automática de trenes (ATS)

Todo el sistema de supervisión automática de trenes está integrado en CTC situado en Sagrada Familia donde se dispone de una red de área local tipo ETHERNET donde se conectan los ordenadores principales con los de supervisión, de operación, regularización de intervalos, servidores de red, servidor de regulación y frontal de comunicaciones.

Las características principales de este sistema son las siguientes:

- ▼ Arquitectura LAN-ETHERNET, abierta y flexible
- ▼ Alta disponibilidad con doble red y equipos duplicados
- ▼ Interface hombre/máquina basado en X-WINDOWS
- ▼ Software realizado en lenguaje C
- ▼ Sistema ampliable y conectable a otros sistemas con estándares comerciales
- ▼ Herramientas de usuario para configuración de gráficos y órdenes

Las funciones realizadas por el sistema son:

- ▼ 1.-Señalización y explotación (CTC)
- ▼ 2.-Regulación y simulación
- ▼ 3.-Comunicaciones con sistemas externos
- ▼ 4.-Generación de información de averías
- ▼ 5.-Gestión y tratamiento de la información de la explotación

▼ 6.-Mantenimiento

▼ e) Sistema de comunicaciones

El sistema de comunicaciones de la línea 2 está basado en una estructura de red digital formada por un anillo de fibra óptica y otro anillo con cable de pares de cobre que conectan las centrales digitales de cada una de las estaciones con la situada en el CTC. Para más seguridad los cables de cada tipo discurren por distintos hastiales. Además se dispone de un sistema de radiotelefonía mediante cable radiante, situado en la clave del túnel, que dispone de tres canales tren-tierra.

Los servicios que cuelgan del sistema son:

- ▼ Radiotelefonía tren-tierra con tres canales
- ▼ Telefonía ómnibus
- ▼ Telefonía automática
- ▼ Telefonía selectiva
- ▼ Megafonía
- ▼ Voz + datos
- ▼ Telecontrol

Para el tramo Sagrada Familia-La Pau se ha mantenido la misma tecnología que en el tramo anterior, si bien los enclavamientos de relés se han sustituido por enclavamientos electrónicos, situados en las estaciones de Clot y La Pau, y los generadores de códigos se han sustituido por tarjetas electrónicas.

CARACTERÍSTICAS:

Longitud	9.100 m.
Nº estaciones	12
Nº correspondencias	6
Trafico previsto	50.000.000 viajeros/año
Nº de trenes	10
Presupuesto total obra	32.000 MPTA.
Presupuesto total material móvil	8.000 MPTA.
Frecuencia en hora punta	5 minutos