

# VÍA EN PLACA EN LA AMPLIACIÓN DEL METRO DE MADRID. REDUCCIÓN DE LOS COSTES DE MANTENIMIENTO

Manuel Melis Maynar.

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

*Dir. Gral. Infraestructuras del Transporte, Consejería de Obras Públicas  
Vicepresidente, Metro de Madrid S.A.*

Ildefonso de Matías Jiménez.

Ingeniero Aeronáutico.

*Jefe de Servicio de Coordinación de la Ampliación de Metro.*

## RESUMEN

*La mejora de los rendimientos de las actividades de mantenimiento de la plataforma de vía y línea aérea es un objetivo primordial de las administraciones ferroviarias. Este objetivo cobra más importancia si cabe en los metros como consecuencia de que dicho mantenimiento hay que efectuarlo en túnel y en tan sólo unas horas por la noche. Los esfuerzos de mantenimiento dependen del tipo de vía instalada. En el presente artículo se hace una revisión de la situación actual de la red de Metro de Madrid así como de las soluciones que se están utilizando en Europa y su aplicación al Plan de Ampliación de Metro de Madrid actualmente en curso.*

## ABSTRACT

*To obtain better results from the maintenance work on rail tracks and cables is a primary consideration in railway management, particularly in subway systems where this work has to be done in tunnels and in limited periods during the night. The task depends of course on the type of track. This article deals with the present situation in the Madrid Metro, the methods in use in Europe, and their application to the plan of extension of the Madrid network that is now being carried out.*

Se admiten  
comentarios a este  
artículo, que deberán  
ser remitidos a la  
Redacción de la ROP  
antes del 30 de  
julio de 1998.

Recibido en ROP:  
marzo de 1998

## DISTRIBUCION DEL TIPO DE VIA PREVISTA EN 1999

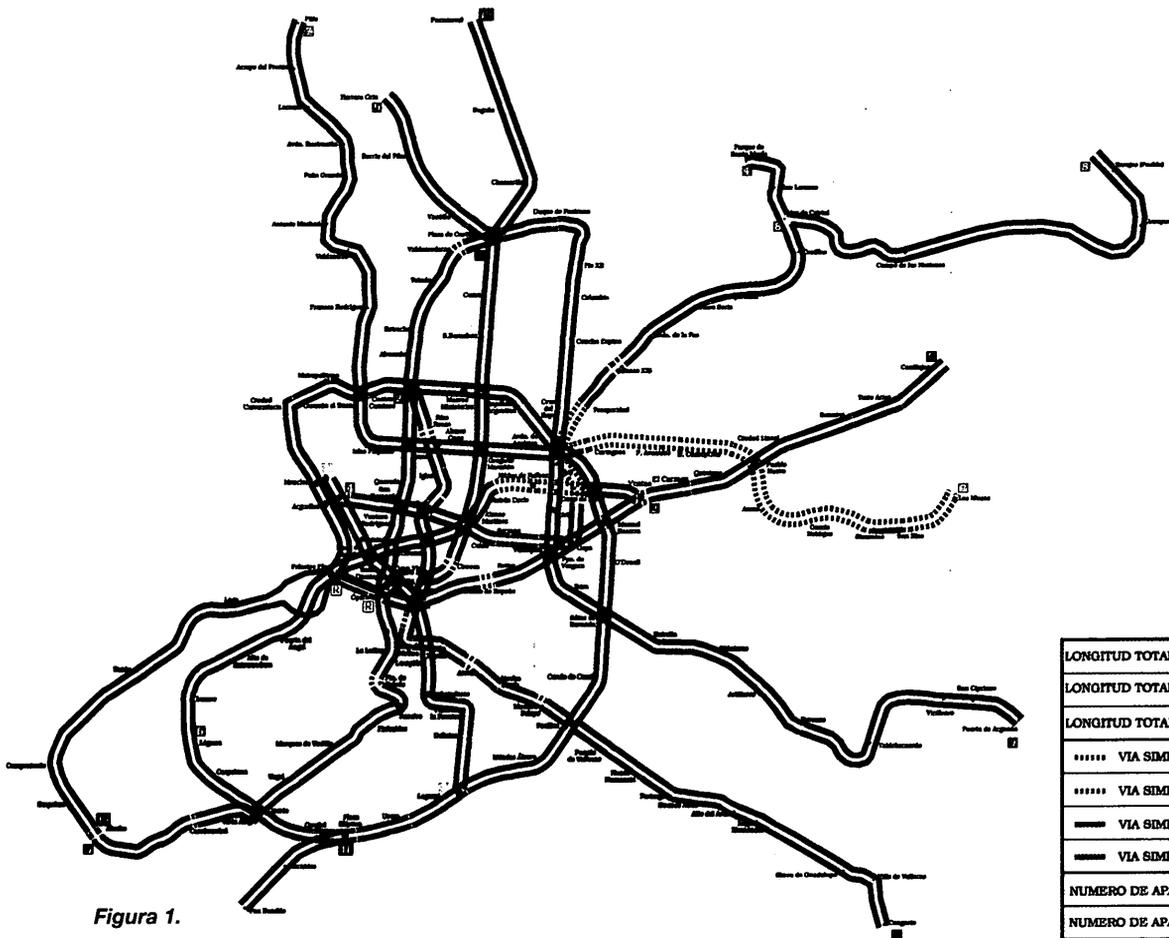


Figura 1.

LONGITUD TOTAL DE VIA DOBLE ANTES DE LA AMPLIACION	120 Km.
LONGITUD TOTAL DE VIA DOBLE DESPUES DE LA AMPLIACION	158 Km.
LONGITUD TOTAL DE VIA SIMPLE GENERAL	316 Km.
..... VIA SIMPLE SOBRE BALASTO CON CARRIL U.L.C. 45	10 Km.
..... VIA SIMPLE HORMIGONADA CON CARRIL U.L.C. 45	18 Km.
..... VIA SIMPLE SOBRE BALASTO CON CARRIL U.L.C. 54	149 Km.
..... VIA SIMPLE HORMIGONADA CON CARRIL U.L.C. 54	142 Km.
NUMERO DE APARATOS DE VIA HORMIGONADOS	12
NUMERO DE APARATOS DE VIA EN BALASTO	188

### ANTECEDENTES

Todos los trabajos de la Ampliación del Metro de Madrid, la construcción de casi 40 km de túneles en suelos blandos y en zonas urbanas con toda su problemática geotécnica, la construcción de 35 estaciones, la enorme inversión realizada por la Consejería de Obras Públicas del Gobierno de Madrid, todos los esfuerzos y las últimas tecnologías que se están aplicando para la construcción de la Infraestructura, tienen un sólo objeto a nivel de Ingeniería de Caminos: la preparación de una plataforma donde poder montar la vía con unas características que aseguren la rodadura óptima de los trenes. La vía es el objetivo último de la infraestructura que está en estos momentos terminando su construcción.

Y la vía consiste en definitiva en los carriles, la sujeción o fijación que une los carriles a los elementos intermedios que mantienen la posición relativa entre ellos, y la plataforma sobre la que descansa todo el conjunto. Para que la rodadura sea

cómoda y confortable para el usuario, así como adecuada para que el material móvil y la propia vía no sufran excesivos desgastes, ésta debe cumplir unas condiciones geométricas determinadas y tener otras características determinadas de elasticidad y amortiguamiento.

Desde hace siglo y medio estos condicionantes se han resuelto de forma adecuada con el sistema de la vía sobre balasto. Con esta solución el mantenimiento de la geometría de la vía, y por tanto de la plataforma de balasto, requiere una serie de operaciones bien conocidas cuyo grado de dificultad aumenta cuando deben realizarse en túneles y aun más cuando éstos pertenecen a metros o ferrocarriles suburbanos, sistemas de transporte con gran intensidad de tráfico donde las horas disponibles para realizar dichos trabajos son mínimas, lo que repercute de forma altamente desfavorable en los costes de mantenimiento.

Con la aparición de la alta velocidad, donde las exigencias en cuanto a tolerancias en geometría de vía han aumentado de

forma apreciable, se ha iniciado la búsqueda de nuevas soluciones que garanticen por sí mismas la estabilidad de los parámetros geométricos de la vía. Es por ello que desde los años 60 todas las administraciones ferroviarias del mundo están a la búsqueda de soluciones alternativas a la tradicional, y que se denominan genéricamente vía en placa.

Las infraestructuras construidas para Metro por la Consejería de Obras Públicas del Gobierno de Madrid han empleado la solución de vía en placa. A su vez, Metro S.A. está llevando a cabo desde hace años un programa para mejorar la calidad de la vía y entre las actuaciones que se realizan figura el cambio de los tramos de vía sobre balasto por vía hormigonada. El comportamiento de la solución adoptada está siendo bueno. El sistema utilizado es el de los bloques elásticos Edilón, bloques independientes sin riostra central y cuyas características elásticas se basan en un material denominado Corkelast, formado por una mezcla de corcho y resina sintética. El buen comportamiento de este sistema no debe sin embargo frenar el estudio de otros sistemas de vía en placa alternativos con el fin de evitar ser cautivos de una solución única, que redunde en una situación de práctico monopolio en cuanto al suministro del sistema de vía y en una situación no deseable desde el punto de vista de costes de inversión.

Con este fin la Consejería de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Infraestructuras (que es también Vicepresidencia de Metro de Madrid), ha puesto en marcha en paralelo a la construcción de los nuevos 37 km de red, una serie de actuaciones y estudios que pueden resumirse en:

▼ 1.- La búsqueda de soluciones alternativas de vía en placa para Metro de Madrid, que permita establecer una competencia en el mercado con el fin de controlar los costes y garantizar los suministros.

▼ 2.- Los trabajos de análisis e investigación encargados a los Prof. Rodríguez Bugarín (ETS Ing. Caminos Coruña) y al Prof.C.Esveld (Univ.de Delft) sobre la vía en placa recomendada.

▼ 3.- Los estudios sobre las especificaciones de tolerancias de montaje de vía en Metro de Madrid, que no existen en la actualidad.

▼ 4.- El diseño de un sistema de medida de tolerancias de geometría de vía en el montaje, sistema que permita también medir la geometría de vía existente. La Dirección General de Infraestructuras tiene ya construido un carro medidor en que los parámetros geométricos más importantes de la vía quedan registrados. Se miden los anchos de vía, inclinación del carril, peraltes, radios de cada hilo y los perfiles longitudinales de cada hilo. El perfil longitudinal real de cada hilo permite, por medio del adecuado tratamiento de la señal digital obtenida, analizar defectos de muy pequeña

longitud de onda, incluso posiblemente a nivel del desgaste ondulatorio.

▼ 5.- El diseño de un sistema de auscultación de vía para Metro de Madrid S.A. En un coche de cada una de las nuevas series 2000 y 6000 está siendo instalado un sencillo sistema de acelerómetros transversales y longitudinales, en ejes, cajas de grasa y cajas de pasajeros (muy similar al utilizado por RENFE en el AVE) que permitirán la rápida y frecuente medición del estado de la vía, así como la producción de los mapas de estado correspondientes. La auscultación geométrica a velocidad comercial y basada en medidores láser, así como los análisis de desgaste de cabeza de rodadura del carril, está siendo estudiada por el Prof. Esveld, pero por ser más compleja y costosa que la acelerométrica sólo se instalará si es necesaria tras un período de trabajo con ésta.

▼ 6.- El diseño de aparatos de vía sobre hormigón. La Dirección General de Infraestructuras tiene ya terminada la solución de aparatos de vía en traviesa de madera sobre placa de hormigón con elemento elástico intermedio (Corkelast), que está siendo aplicada hasta que se termine el diseño de la fijación sobre bloque o traviesa elástica en que está trabajando desde hace varios años Metro de Madrid. Este punto es fundamental a efectos de coste de mantenimiento, ya que gran parte del mismo se consume en los aparatos de vía.

▼ 7.- La instalación de soluciones alternativas al actual bloque Edilón y su análisis y estudio durante períodos de tiempo adecuados. Para ello se han instalado en tramos de reciente construcción zonas con diferentes alternativas de fijaciones y otros componentes, que han sido adecuadamente instrumentados y cuyo comportamiento será objeto de un detallado estudio por parte de la Dirección General de Infraestructuras antes de su instalación en la vía de Metro.

En el presente artículo se tratan los puntos 1 y 2. Por tanto, una parte importante de las conclusiones que aquí se recogen sobre el comportamiento de las diversas soluciones están basadas en los trabajos realizados para la Comunidad de Madrid por C. Esveld y Rodríguez Bugarín.

## 1. LA VÍA EN EL METRO DE MADRID EN 1995

Al comienzo de la Ampliación, a finales de 1995, Metro de Madrid tenía una longitud total de vía general de cerca de 121.000 metros de vía doble, medida que incluye los fondos de sacos de las diversas líneas. En las cocheras o depósitos hay además 51.000 metros de vía simple. De este total de lon-

gitud de vía doble, 78.000 metros son de vía sobre balasto (64%), y 43.000 de vía sobre hormigón, denominación empleada como sinónimo de vía en placa (36%). Más exactamente, del total de 240.763 metros de vía sencilla que tiene actualmente el Metro de Madrid sin contar las cocheras, 154.857 son de vía sobre balasto, y sólo 85.907 son de vía sobre hormigón. Toda la vía colocada en los últimos años es vía sobre hormigón construyéndose en general sobre bloques elásticos. En la actual ampliación de 37.5 Km se está montando en su totalidad vía en placa, sobre bloques elásticos o traviesas de hormigón con la adecuada fijación elástica.

Al comienzo de la Ampliación de la red en 1995, el resumen por líneas de los distintos tipos de vía en Metro era el que se recoge en la Tabla 1

Cuando termine dentro de pocos meses la ampliación 1995-1999, la situación será la que se refleja en la figura 1. Todo el carril que se monta actualmente es del tipo UIC 54, de 54 kg/m, pero aún quedan en la red 13.433 metros de carril de menor peso, 45 kg/m, que fue colocado inicialmente no sólo en las líneas más antiguas de Metro sino incluso en la totalidad de algunas más recientes de gálibo ancho. El tramo de la línea 7, Av. de América - Las Musas fue el último en que se montó

**TABLA 1. TIPOS DE VÍA Y CARRIL EN METRO EN 1995  
LONGITUD DE VÍA SENCILLA**

	BALASTO	HORMIGÓN	TOTAL	% HORMIGÓN
LINEA 1	16.559	11.383	27.942	40,7%
LINEA 2	12.572	3.152	15.724	20,0%
LINEA 3	9.526	3.198	12.724	25,1%
LINEA 4	10.507	7.884	18.390	42,9%
LINEA 5	25.189	11.268	36.456	30,9%
LINEA 6	19.782	27.162	46.945	57,9%
LINEA 7	8.806	6.846	15.652	43,7%
LINEA 8	13.427	2.234	15.661	14,3%
LINEA 9	24.624	5.851	30.474	19,2%
LINEA 10	12.800	5.810	18.610	31,2%
RAMAL OPERA-P. PIO	1.066	1.118	2.184	51,2%
<b>TOTAL</b>	<b>154.857</b>	<b>85.907</b>	<b>240.763</b>	<b>35,7%</b>

carril de 45 kg/m, y estos tramos están sometidos a una renovación de carril según un programa establecido por la Compañía Metro de Madrid. En los 32 años transcurridos entre 1964 y 1996 se han renovado 82.078 metros de carril de 45 kg/m, que equivalen a unos 650 metros de vía doble al año como media. En los dos últimos años, empero, se está renovando a menos de 80 metros/año.

No sólo existen diferentes tipos de carril. También las sujeciones de éste a las traviesas o a los tacos son diversas tal y como se refleja en la Tabla 2.

Como puede verse, en la actual red de Metro de Madrid hay 8 sistemas de vía y fijación principales, de los que la mayor longitud, el 60% de la red, corresponde a traviesas de madera con fijación Pandrol. La Tabla 3 resume los distintos tipos de fijación que se emplearon en las ampliaciones llevadas a cabo entre 1975 y 1995. En general en todas las estaciones se montó vía sobre hormigón. Es importante observar que incluso en las líneas y tramos nuevos construidos hasta 1987 se estaba colocando aún vía sobre balasto con traviesas de madera y fijación Pandrol, pero que a partir del momento en que la construcción de las infraestructuras de Metro pasó a ser responsabilidad de la Comunidad de Madrid toda la vía montada,

**TABLA 2. DISTRIBUCION DE LAS FIJACIONES EXISTENTES EN LA VIA DE METRO**

Tipo de fijación	ml de vía	%
Balasto. Traviesa madera. Fijación RENFE	1.803	1,5%
Balasto. Traviesa madera. Fijación PANDROL	71.953	59,5%
Balasto. Traviesa hormigón. Fijación VOSSLOH	4.260	3,5%
Hormigón. Carril antiguo 45 kg/m	5.943	4,9%
Hormigón. Taco rígido	1.758	1,5%
Hormigón. Taco elástico. Fijación STEDEF	3.939	3,3%
Hormigón. Taco elástico. Fijación ENR	21.254	17,6%
Hormigón. Taco elástico. Fijación PANDROL	10.047	8,3%
<b>SUMA</b>	<b>120.956 metros vía doble</b>	

**TABLA 3**  
**TIPO DE FIJACION EN LAS AMPLIACIONES ENTRE 1975 Y 1995**

RAMAL. Opera - Príncipe Pío	23-dic-95	Trav.madera Pandrol + Taco STEDEF
LINEA 6. C.Universitaria - Laguna	10-may-95	Taco elástico PANDROL
LINEA 1. Portazgo - Miguel Hernández	09-abr-94	Taco elástico PANDROL
LINEA 6. Cuatro Caminos - C.Universitaria	13-ene-87	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 8. Nuevos Ministerios - Avda. América	23-dic-86	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 9. Sáinz de Baranda - Avda. América	25-feb-86	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 9. Plaza Castilla - Avda. América	30-dic-83	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 9. Plaza Castilla - Herrera Oria	04-jun-83	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 6. Oporto - Laguna	03-jun-83	Trav.madera Pandrol + Taco ENR
LINEA 8. Fuencarral - Nuevos Ministerios	10-jun-82	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 10. Plaza España - Alonso Martínez	18-dic-81	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 5. Ciudad Lineal - Canillejas	18-ene-81	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 9. Sáinz de Baranda - Pavones	31-ene-80	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 6. Pacífico - Cuatro Caminos	11-oct-79	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 6. Oporto - Pacífico	07-may-79	Trav.madera Fij. PANDROL
LINEA 4. Alfonso XIII - Esperanza	05-ene-79	Trav.madera PANDROL + Taco ENR
LINEA 7. Pueblo Nuevo - Av. América	18-mar-75	Carril 45 Trav.madera PANDROL

con excepción de los aparatos de vía, lo ha sido sobre hormigón. Se espera que la mayoría de los aparatos de vía situados en los tramos actualmente en construcción, también esté sobre plataforma de hormigón, sistema que en la Consejería de Obras Públicas estamos poniendo a punto en estos momentos.

La plantilla de Metro dedicada al mantenimiento de vía y línea aérea era en Diciembre de 1996 de 255 personas. Este personal ha consumido cerca de 200.000 horas en trabajos de mantenimiento de vía en dicho año, con el desglose siguiente:

	Horas 1996
Trabajos generales, engrases, carril	95.624
Renovación de vía	44.015
Mantenimiento vía balasto	36.221
Mantenimiento vía hormigón	5.195

Aunque, como se ha dicho antes, la longitud de vía sobre balasto es 1,8 veces mayor que la de hormigón, las horas necesarias para mantenimiento tienen en 1996 una relación de 6,97 a 1, aunque en otros años estos ratios no son tan acusados. En este resumen no se han detallado las horas dedicadas a los aparatos de vía, que son muy importantes. Se deduce por lo tanto que el mantenimiento de la vía sobre balasto precisa del orden de 4 veces más horas de mano de obra, en la

hipótesis de que el mantenimiento de ambos tipos de vía se haga para el mismo nivel de calidad de vía. Estas cifras vienen a ratificar en la práctica lo que es un hecho bien conocido por los técnicos de vía y que justifica la tendencia cada vez mayor a utilizar la vía en placa en los ferrocarriles de todo el mundo.

## **2. LA VÍA EN LA AMPLIACIÓN 1995-1999.** **ALTERNATIVAS ESTUDIADAS**

La vía sin balasto, o vía hormigonada, que nació con el impulso de la Alta Velocidad, ha tenido sin embargo una de sus primeras aplicaciones en los túneles de los ferrocarriles suburbanos. Ello se debe fundamentalmente al elevado coste del mantenimiento de la vía en balasto en los Metros por los condicionantes que la propia explotación impone. En efecto, para que los trabajos de mantenimiento de vía y línea aérea puedan realizarse cumpliendo las normas de seguridad en los Metros, deben hacerse fuera del horario de servicio a los usuarios. Es impensable hoy en día realizar estas actividades con la red en servicio cuando los intervalos entre trenes en cada uno de los sentidos puede estar en algunos casos alrededor de los 2 minutos.

En el caso del Metro de Madrid, el servicio diario termina a las 1,30 de la madrugada y se reanuda 4 horas y media después, a las 6 de la mañana, pero ni siquiera estas 4 horas y media son en su totalidad hábiles para los trabajos de mante-

nimiento. Si se descuenta el tiempo que se necesita para encerrar los trenes en las cocheras, el tiempo necesario para asegurar que la vía queda expedita con las condiciones de seguridad requeridas para ser ocupadas por las distintas brigadas (verificación de si hay corriente en el hilo de contacto etc.), y el tiempo para sacar de nuevo los trenes a las diferentes líneas para reanudar el servicio, el número máximo de horas útiles ronda las 2 horas y media. Este corto espacio de tiempo hace que alguna de las actividades estén al límite en cuanto al tiempo mínimo requerido para su realización para poder ser iniciadas, ejecutadas y retirar de la vía los equipos humanos, maquinaria y materiales. En cualquier caso la pérdida de rendimiento con períodos de trabajo tan cortos es enorme y las actividades se dilatan en el tiempo de forma extraordinaria. A todo lo anterior hay que sumar la restricción que la propia geometría del túnel impone a la utilización de maquinaria.

La vía sobre balasto presenta una serie de ventajas que la han llevado a ser la más utilizada desde los comienzos del ferrocarril. Es más barata de construir que cualquier otra alternativa sin balasto, presenta unas buenas características en cuanto a amortiguación de ruidos y vibraciones y permite de forma rápida y sencilla la corrección en planta o alzado de cualquier defecto del trazado, en general con un simple pase del equipo de bateo. Sin embargo el balasto tiene una deformabilidad permanente y creciente bajo las cargas del tráfico, se desgasta, se vuelve impermeable y llega a ser inoperante en los túneles, por lo que es necesario realizar las labores de mantenimiento adecuadas si se quiere evitar una degradación acelerada de todos los elementos que conforman la vía y que a fin de cuentas garantizan la seguridad de la marcha.

Frente a la solución de balasto, la vía sobre hormigón o vía en placa presenta ventajas muy importantes en lo que respecta los trabajos de conservación y mantenimiento. Estos se ven reducidos de una forma importante, lo que la hace que esta solución sea casi insustituible en los túneles con gran tráfico de trenes. Además la propia superestructura puede servir como camino de evacuación y como vía de acceso de vehículos de socorro en caso de incidente en el interior del túnel. No suele sufrir daños importantes en caso de descarrilamientos, proporciona a los trenes una rodadura relativamente suave y uniforme, reduce los asientos diferenciales o puntuales que se pueden producir en la vía sobre balasto, reduce las presiones transmitidas a la explanada o plataforma, y mantiene la geometría de la vía mucho más estable a lo largo del tiempo, lo que en muchos casos permite reducir el gálibo cinemático de los trenes.

Este mejor control de geometría reduce las aceleraciones laterales y verticales en los coches, lo que limita las sobrecargas dinámicas sobre la vía y mejora la conservación de los carriles y la estabilidad de la propia vía. Además, como la capa de la solución con balasto debajo de carriles es de mayor espesor que la correspondiente a vía sobre losa de hormigón, las secciones de los túneles pueden reducirse.

Las soluciones que se han desarrollado en los últimos años permiten además un control eficaz de los ruidos y vibraciones transmitidos por la interacción rueda-carril a la plataforma de vía, al túnel, al terreno y a las estructuras del entorno. Los inconvenientes son su mayor coste de construcción (pero que sin embargo, teniendo en cuenta el mantenimiento y la conservación a 20, 50 u 80 años resulta en un menor coste total), una reparación de daños más difícil que en la vía sobre balasto, una emisión de ruidos mayor que la vía en balasto si no se disponen los elementos aislantes adecuados y una mayor dificultad para mantener el tráfico durante su construcción en aquellos tramos en que, estando ya en servicio con vía en balasto, se está realizando el cambio a vía hormigonada. Los errores en el montaje traen como consecuencia operaciones difíciles y costosas para corregir los mismos, por lo que hay que extremar las medidas que aseguren una correcta ejecución.

A la luz de todo lo anterior parecía evidente que los nuevos 37.5 Km de la Ampliación del Metro de Madrid debían construirse contemplando una solución de vía en placa. El comportamiento de la vía construida en las últimas actuaciones (Cierre de la Línea 6 y ampliación de la Línea 1), con bloques elásticos de hormigón, ha sido bueno, y el mantenimiento necesario mínimo. Por lo tanto la primera opción que se presentaba era seguir utilizando el mismo sistema. Sin embargo, la vía sobre bloques elásticos tenía un coste elevado. Cada uno de los bloques utilizados, conocidos como tacos holandeses, con fijación Pandrol, tenía un coste inicial al comenzar la vía de Línea 10 (Octubre de 1995) de 13.500 pta., 27.000 ptas. los dos necesarios para fijar los dos carriles. Para toda la ampliación, unos 78.000 metros de vía simple, eran necesarios unas 97.500 parejas de bloques, lo que llevaba a un coste total del orden de los 2.600 Millones de pta.

Por otra parte, al ser los bloques independientes uno de otro, el montaje de la vía es más complicado que aquellos que emplean traviesa o un elemento rígido de unión entre cada pareja de tacos, pues en estos casos la propia configuración de los elementos garantizan la posición relativa de ambos carriles. No ocurre así con los tacos elásticos. Para garantizar la geometría de vía en el montaje es necesario utilizar una estructura auxiliar con suficiente rigidez como para mantener en la posición adecuada los tacos durante la fase de hormigonado. La falta de experiencia en la puesta en obra de este tipo de sustentación de vía ha dado lugar en alguna ocasión a errores graves en el montaje. Tanto las razones de tipo económico anteriormente apuntadas, como las dificultades de puesta en obra empujaron la búsqueda de soluciones alternativas que resolvieran ambos problemas.

Dado que cualquier solución alternativa era potencialmente aplicable a toda la ampliación de Metro en curso y por tanto a un elevado número de kilómetros, era necesario establecer los análisis de validación con un rigor científico suficiente para que cualquier solución no comprometiera la exploración de Metro de Madrid. Cada día se realizan mediante este sistema de

transporte 1.1 millones de viajes (1.6 millones si se tiene en cuenta que cada persona hace como media 1.4 transbordos con el mismo billete), de forma que cualquier incidencia en la explotación podría causar gravísimos problemas al transporte en Madrid. Por ello la Dirección General de Infraestructuras encargó al comenzar la ampliación en 1995 un estudio detallado de las posibles alternativas de vía en placa a dos grupos de expertos, uno nacional, el equipo del Prof. Miguel Rodríguez Bugarín, Profesor Titular de Ferrocarriles de la Escuela de Ingenieros de Caminos de La Coruña, y otro internacional, el equipo del Prof. Coenraad Esveld, Profesor de la Universidad de Delft, Holanda, uno de los expertos más prestigiosos a nivel mundial. En el siguiente apartado se resumen algunas de las consideraciones recogidas en el documento "Alternativas de la vía en placa para el Metro de Madrid" de los Prof. Bugarín y F. Martínez.

### 3- SISTEMAS ANALIZADOS

Se han estudiado las alternativas siguientes:

- a.- Sistemas de placas prefabricadas
  - a.1.- Sistema IPA
- b.- Sistemas de placa continua construida in situ
  - b.1.- Solución CRAILSHEIM
  - b.2.- Sistema PACT
- c.- Vía en placa mixta con traviesas
  - c.1.- Sistema RHEDA
  - c.2.- Solución GETRAC y ATD (Capa asfáltica)
  - c.3.- Solución STEDEF
  - c.4.- Solución RETHWISCH
  - c.5.- Solución con traviesas sintéticas
  - c.6.- Solución de vía en placa TIFLEX
- d.- Vía en placa con bloques prefabricados aislados
  - d.1.- Solución COOPSETTE
  - d.2.- Solución de bloques prefabricados Edilón
  - d.3.- Solución LVT (low vibration track)

#### 4.A.- SISTEMAS DE PLACAS PREFABRICADAS

##### A.1.- SISTEMA IPA. (FIGURA 2)

Hace 25 años, los Ferrocarriles Italianos (FS) deseaban desarrollar un tipo de vía en placa específico para sus líneas. Se eligió la solución japonesa, que respondía al esquema de vía en placa prefabricada. Sin embargo, debido a que se adaptaban mal a la realidad de la explotación ferroviaria italiana, se volvió a proyectar el sistema, renovándolo completamente, llegando a la vía en placa IPA (Industria Prefabbricati e Affini). En 1988 se construyó un tramo de ensayo, en doble vía de 7 Km. Posteriormente se decidió prolongar la aplicación del sistema con lo que la longitud total de doble vía así construida fue de



Figura 2. Vía en placa sistema Ipa.

56 Km. El sistema de vía en placa de IPA está formado por una plataforma de placas rectangulares de hormigón, pretensadas longitudinal y transversalmente, de 4.75 x 2.50 x 0.15 m aproximadamente, apoyadas sobre un lecho de hormigón mediante la interposición de un mortero de cemento-asfalto inyectado a pie de obra, que realiza un apoyo regular y continuo a la losa de hormigón pretensado, compensando las irregularidades de ejecución del lecho de cimentación y asegura, junto al sistema de sujeción de carril, un adecuado grado de elasticidad comparable a la tradicionalmente dada por el balasto. La cimentación está constituida por una losa de hormigón armado de 25 cm de espesor, con doble armadura simétrica. La plataforma descansa sobre la cimentación por medio de una capa de mortero bituminoso (cemento, agua, betún, aditivos fluidificantes y arena). Su misión básica es la de absorber las oscilaciones, vibraciones y el ruido.

Esta solución ha sido aplicada en la línea II del Metro de Barcelona.

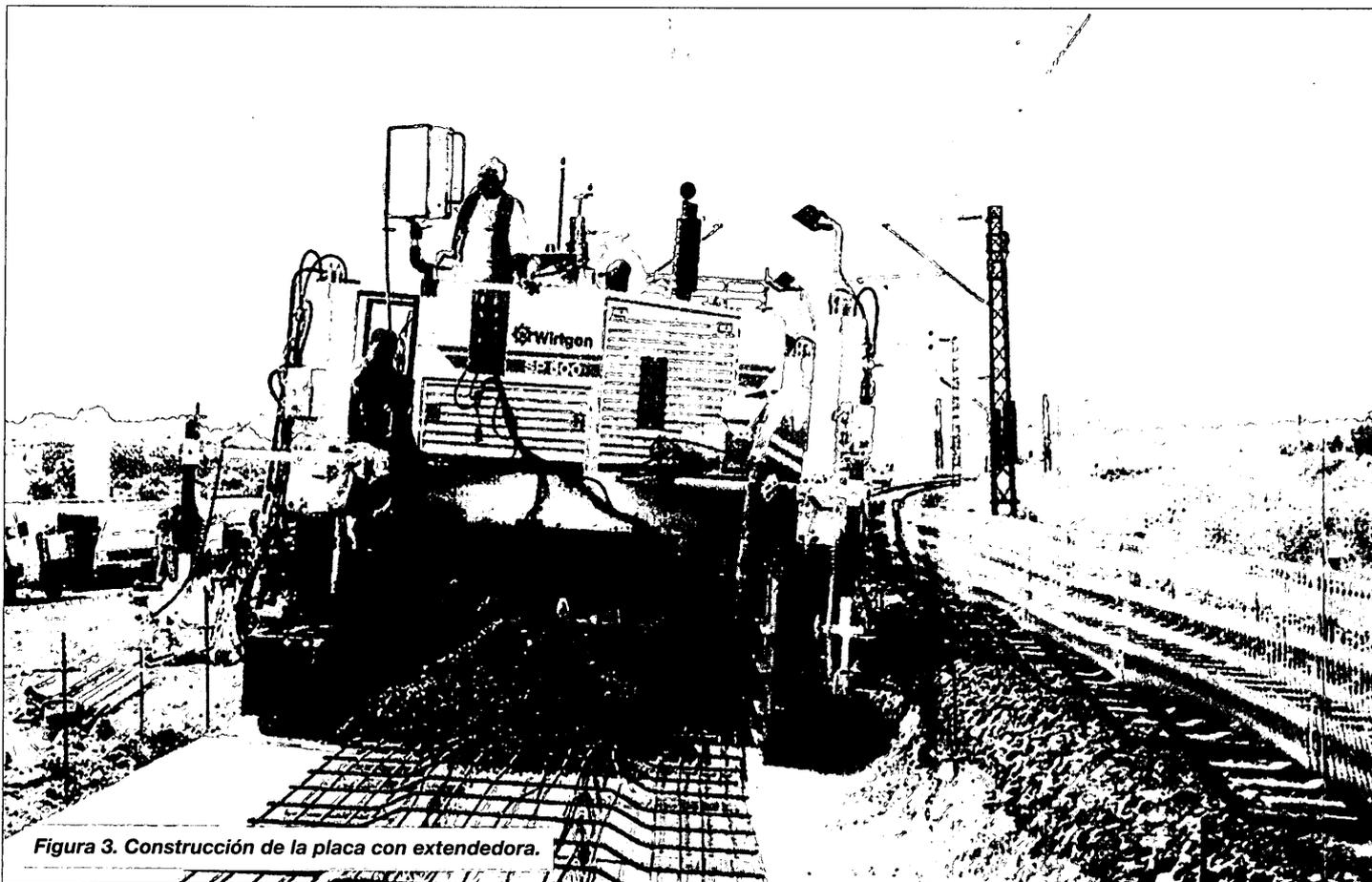


Figura 3. Construcción de la placa con extendedora.

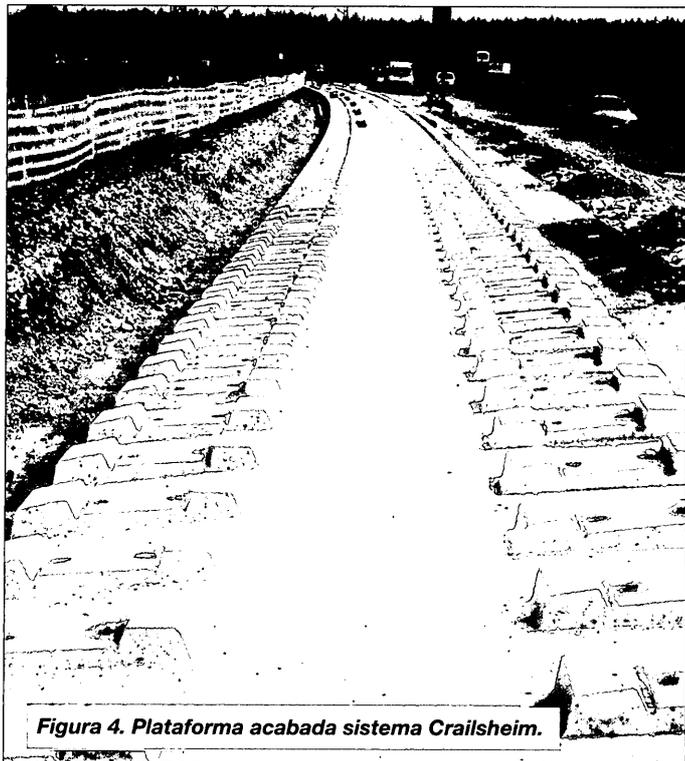


Figura 4. Plataforma acabada sistema Crailsheim.

## B.- SISTEMAS DE PLACA CONTINUA CONSTRUIDA IN SITU B.1.- SOLUCIÓN CRAILSHEIM. (FIGURAS 3 Y 4)

El propósito del proyecto "Crailsheim", desarrollado por la empresa alemana Leonhard Weiss Bauunternehmung, es encontrar un sistema de producción económico de vía en placa continua, cumpliendo al mismo tiempo las estrictas premisas de los Ferrocarriles Alemanes (DB) en cuanto a los estándares de calidad de vía. Sólo se ha construido una vía de ensayos, que se finalizó en agosto de 1996. El sistema de vía en placa continua Crailsheim comprende una capa anticongelación, una base tratada con cemento y una placa de hormigón que hace innecesario el uso de traviesas. La placa de hormigón tiene 2,40 m de ancho, y está armada de modo continuo con una cuantía de acero del 0,9 % de la sección transversal de hormigón, lo que permite la libre formación de fisuras.

El pavimento se realiza mecánicamente. La sección transversal en forma de traviesa se consigue mediante un perfil especial. La alineación y nivelación correcta de la vía se consigue mediante hilos de referencia a ambos lados de la vía a construir. Una vez que se ha realizado la placa, se realizan los asientos que acogerán la sujeción del carril, con la altura y posición lateral requerida, así como la correspondiente inclina-

ción del carril. Estos asientos se realizan sobre el hormigón fresco con una segunda máquina que sigue inmediatamente a la extendidora.

La práctica inexistencia de datos acerca del comportamiento de esta solución, no ha permitido a los autores del estudio realizar ningún tipo de conclusión con una mínima base argumental.

## B.2.- SISTEMA PACT (PAVED CONCRETE TRACKBED). (FIGURA 5)

La consideración sería por parte de los Ferrocarriles Británicos (BR) de las ventajas de un diseño específico de vía sin balasto no se produce hasta el año 1967. En ese momento, el Comité D87 de la Office de Recherches et d'Essais (ORE) de la UIC estaba desarrollando un estudio acerca de las vías sin balasto para ferrocarriles subterráneos al objeto de reducir los niveles de propagación acústica y vibratoria de cierto tipo de sujeciones incorporados a prototipos de vía sin balasto. La División de Investigación de BR fue invitada a construir un tramo de pruebas, seleccionando la localidad de Radcliffe on Trent, sobre la línea Grantham-Nottingham. De las dos secciones propuestas por BR, una consistía en una losa construida in situ sobre la que se apoyaban de modo continuo los carriles, sujetos directamente a la referida losa mediante sujeciones Pandrol. La segunda solución puesta en práctica se basaba en vigas prefabricadas que soportaban los apoyos longitudinales de los carriles realizados en hormigón pretensado. Instrumentando cada una de las secciones (4 del ORE, 2 de BR y la de control) se trataba de averiguar cuál resultaba más apropiada desde el punto de vista sonoro y vibratorio.

La experiencia obtenida de este ensayo acerca del tendido de vías sin balasto impulsó a BR a desarrollar una maquinaria que permitiera la construcción de pavimentos continuos de hormigón como soporte de la vía férrea. Con ello se pensaba conseguir significativos ahorros económicos y tiempos más reducidos de ejecución de nuevas vías. Además, se pensaba incorporar la sujeción directa elástica Pandrol al nuevo diseño, lo que permitía simplificar el mantenimiento del sistema. En 1971 la dirección de BR autorizó dos importantes proyectos de investigación para el desarrollo de una máquina que permitiera tender una losa continua de hormigón. El primero trataba de desarrollar la tecnología para que una máquina guiada mediante un cable pudiera trabajar dentro del limitado gálibo que corresponde a una vía férrea, sin interferir en las vías adyacen-

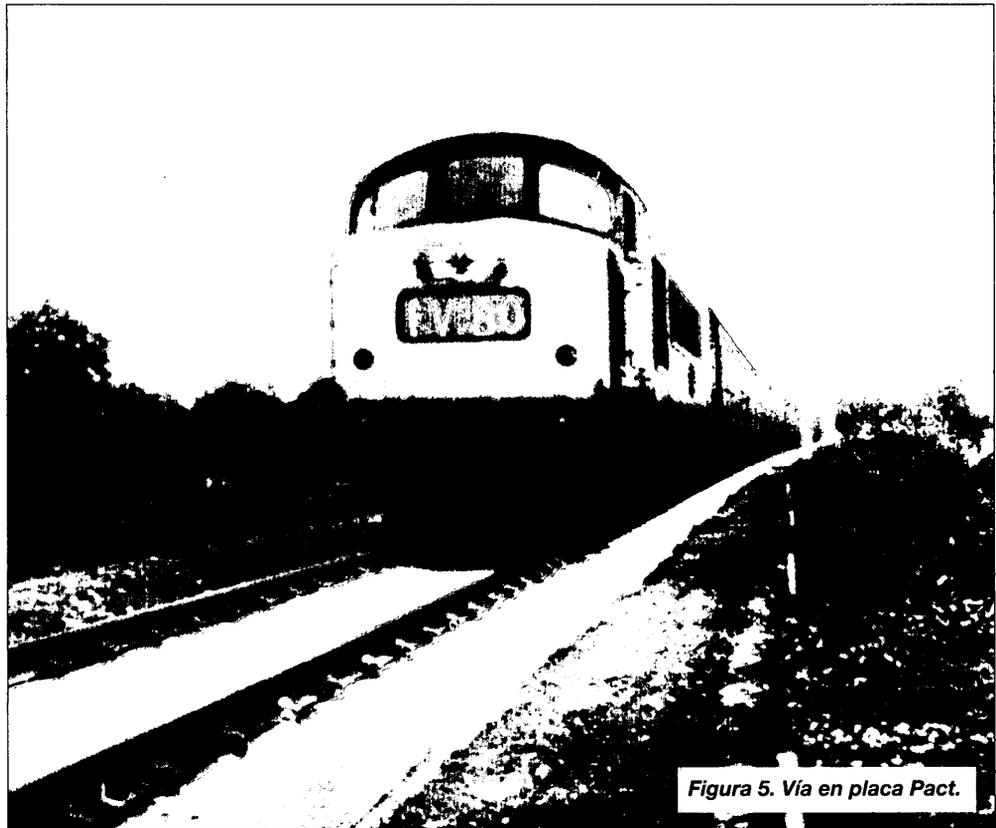


Figura 5. Vía en placa Pact.

tes. En el segundo se trataba de construir dos nuevas secciones de ensayo usando la nueva maquinaria desarrollada. En una de las secciones, se introducían en el trazado curvas de radio reducido y aparatos de vía; en la otra sección, se trataba de estudiar el comportamiento de la losa sobre una vía con fuertes sollicitaciones de tráfico. De los resultados de ambos proyectos de investigación surge la que se conoce como vía PACT (Paved Concrete Trackbed). La máquina finalmente desarrollada por la División de Investigación de BR permite la realización de la vía PACT, constituida por una losa continua de hormigón armado sin juntas.

Hasta la realización de la obra del Paso Rogers, en Canadá (1988), el sistema PACT había sido aplicado en 61 Km de vía, de los que el tramo más largo correspondía a 10 Km construidos en 1978 en Australia. El tramo de ensayo de vía en placa que se construyó para RENFE entre las estaciones de Ricla y Calatorao (4,5 Km) era un sistema PACT que en la actualidad ya no existe, al haber sido levantado y, en su lugar, se ha vuelto a restablecer una vía con balasto. El sistema PACT se aplicó en los túneles del Monte McDonald (14,6 Km) y del Monte Shaughnessy (1,8 Km) del nuevo trazado de la línea del Paso Rogers, de la Canadian Pacific Railroad, una de las obras ferroviarias de mayor envergadura realizadas en los últimos años en Norteamérica. El tramo de vía PACT construida en el túnel del Monte McDonald (mayor túnel ferroviario en Norteamérica) es el de mayor longitud instalada en el mundo. Así mismo se

instaló en el túnel de 1 km de la línea de la BR que accede al aeropuerto de Stansted en Londres.

### C.- VÍA EN PLACA MIXTA CON TRAVIESAS

#### C.1.- SISTEMA RHEDA. (FIGURA 6)

Los Ferrocarriles Alemanes (DB) son los que han desarrollado un mayor número de soluciones de vía en placa. Desde hace más de treinta años han ido construyendo diferentes tramos experimentales con soluciones diferentes. De todos los prototipos ensayados en la década de los setenta, la solución técnicamente más madura resultó ser el emparrillado de traviesas de hormigón asentado en hormigón, denominado modelo Rheda, aplicado por primera vez en un tramo de 640 m en la estación de Rheda-Westfalia, de la línea Hannover-Hamm, por la empresa Dywidag. Posteriormente, se construyó un tramo de prueba de mayor longitud (Dachau-KarlsFeld), tratándose de una vía de tráfico pesado, con una carga diaria de 57.000 t brutas y autorización para desarrollar una velocidad de 160 Km/h. Asimismo, entre 1972 y 1978 se instalaron unos 2.800 m de este modelo de superestructura en varios túneles de la red alemana.

La vía en placa Rheda se compone de una placa de hormigón construida in situ, en la cual quedan integradas, como elementos de apoyo de la vía, las traviesas de hormigón pretensado. Básicamente, la superestructura de la vía en placa de la solución Rheda está formada por un drenaje profundo longitudinal de la vía, una plataforma mejorada con suelo-cemento, una capa protectora contra las heladas de 20 cm de espesor, una placa de nivelación de hormigón armado de 14 cm de espesor, con armadura longitudinal y transversal y finalmente las traviesas monobloque pretensadas separadas 60 cm y monolitizadas con hormigón. Se colocan tornillos verticales de regulación y, a través de orificios horizontales especiales, vástagos longitudinales que se monolitizan junto con las traviesas.

Inicialmente las placas elásticas intermedias fueron de poliuretano, pero debido a su deterioro por reacciones químicas (básicamente hidrólisis), se sustituyeron por otras de poliéster-poliálcohol de 7 mm de espesor, cubiertas con una placa de base de acero de 300 mm de anchura y 170 mm de longitud. La fijación del carril actualmente utilizada por los Ferrocarriles Alemanes es la IOARV 300, que es la que se suele considerar como más adecuada para este tipo de soluciones, ya que permite introducir suplementos para corregir posibles defectos en la construcción de la vía en placa, además de proporcionar la adecuada transmisión y reparto de tensiones y la atenuación de ruidos y vibraciones.

Dada la amplia experiencia que se había obtenido de este modelo, basada en el conocimiento de su comportamiento a largo plazo y su menor coste con relación a los armazones o placas prefabricadas, en 1985 DB adoptó la decisión de equipar los túneles de Einmalberg y Mühlberg de la nueva línea de Alta Velocidad Hannover-Würzburg, y de una longitud total de



Figura 6. Vía en placa Rheda con sujeción ioarv 300.

9.386 m, con la superestructura de vía en placa tipo Rheda. Desde su construcción, este tramo experimental del trayecto Fulda-Würzburg ha sido sometido a los recorridos de prueba con el ICE, llegándose a alcanzar los 406 Km/h, sin sufrir daños y ofreciendo un funcionamiento normal. En 1989 DB ha equipado de nuevo dos túneles de sus líneas de nueva construcción con vía sin balasto tipo Rheda. Uno de ellos, el túnel de Sengeberg, presenta una longitud de 5.554 m de vía en placa, con una solución más avanzada en comparación con la del túnel de Mühlberg. Se ha empleado la sujeción IOARV 300 ensayada por primera vez en 1988 en el tramo experimental Kutzhausen (línea Augsburg-Ulm). En este túnel se ha pretendido aplicar una concepción de vía en placa que permita la futura mecanización de todo el proceso de su construcción. Las mediciones realizadas en los tramos de ensayo montados sobre explanación de tierra han puesto de manifiesto que los asentamientos que han tenido lugar bajo la explotación son de poca consideración y, por el contrario, la buena calidad alcanzada durante la ejecución en la colocación de la vía se conserva de modo duradero, y que además las oscilaciones de los esfuerzos dinámicos sobre la rueda, en zonas por las que se circula de 200 a 250 km/h, se mantienen claramente por debajo del nivel alcanzado en una superestructura de balasto.

Gracias a su sistema de construcción, la vía en placa Rheda posee de forma sistemática capacidad de adaptación a distintos radios y peraltes en vías en curvas sin necesidad de elementos especiales. La traviesa de hormigón pretensado empleada está dotada en sus extremos de roscas empotradas para alojar en su interior pivotes, que permiten efectuar la regulación de la vía, en alzado, durante el montaje. Dispone de cinco orificios horizontales para pasar a través de ellos las barras de la armadura longitudinal de la placa. La idea de que la traviesa de hormigón pretensado forme parte integrante de la placa pretende que los elementos de fijación del carril, empotrados en la traviesa, no se vean afectados por las fisuras de retracción de la placa. Por el contrario, se permite la libre formación de fisuras en la placa, finamente distribuidas, así como fisuras longitudinales a lo largo de los costados de la traviesa, inofensivas.

Quando el sistema Rheda se emplea en túnel se dispone como subbase resistente la solera del túnel con relleno de hormigón pobre. Por ello, el espesor del hormigón in situ colocado bajo la traviesa puede reducirse a unos 5 cm, lo necesario como recalce. Como armadura longitudinal bastan las 5 barras longitudinales pasantes a través de los orificios de las traviesas. Todo ello lleva a una reducción del espesor de la superestructura de unos 25 cm respecto al necesario cuando se utiliza una superestructura de balasto. Ello permite bajar la cota de la superficie de rodadura del carril aumentando el espacio libre del túnel o también ser utilizado para construir, desde un principio, túneles de sección transversal más pequeña. En túneles es posible además formar una junta de separación perfectamente marcada entre la subbase y la placa-soporte. Con ello, se facilita y agiliza, en caso necesario, el levante de la placa en caso de reparación o de renovación.

En el soterramiento de la estación de Tarrasa se aplicó la solución Rheda de vía en placa.

Para su aplicación en el Metro de Madrid es necesario modificar ligeramente el actual diseño de la traviesa, reduciendo su altura en la zona central para que no sobresalga de la losa y permita una evacuación cómoda y rápida en caso necesario. Por otra parte la elasticidad y amortiguamiento quedan reservados únicamente al elemento elástico bajo el carril, por la propia tipología de la solución, y por ello debe irse a la fijación IOARV 300, que es cara. Las armaduras longitudinales pueden reducirse mucho o tal vez eliminarse en su totalidad, por las menores cargas por eje y menores velocidades



Figura 7. Sistema Getrac.

des que los ferrocarriles para los que se ha diseñado. En estas condiciones, que la Dirección General de Infraestructuras está estudiando actualmente, la solución Rheda modificada sería una excelente solución para Metro de Madrid.

## C.2.- SOLUCIÓN GETRAC Y ATD (CAPA ASFÁLTICA) (FIGURA 7)

La solución de vía sin balasto Getrac es el último diseño de este tipo de vía realizado por la empresa alemana Wayss & Freitag. El sistema se basa en colocar traviesas de hormigón pretensado sobre una capa de asfalto. Para transmitir los esfuerzos horizontales de la traviesa a la capa de asfalto, debidos a la circulación de los trenes y a las variaciones térmicas en el carril continuo soldado, se emplean pequeñas dovelas circulares de hormigón, fijadas en su sitio en vía mediante el vertido de un mortero. Entre la traviesa y la capa de asfalto se coloca un geotextil que tiene la misión de elevar las fuerzas de fricción y eliminar cualquier ligero desequilibrio.

No se tienen datos más concretos sobre el sistema Getrac. La información técnica es escasa, al tratarse de una solución en desarrollo.

La solución ATD patentada por la empresa alemana Deutsche Asphalt y que en España representa Vías y Construcciones S.A. es similar a la Getrac, ya que se basa en una capa de hormigón asfáltico. En estos momentos la Dirección General de Infraestructuras está estudiando su aplicabilidad a Metro de Madrid, sin que por el momento pueda avanzarse ninguna conclusión.

### C.3.- SOLUCIÓN STEDEF. (FIGURA 8)

Este sistema de colocación directa preconizado por Roger Sonnevile desde los estudios realizados en 1964 presenta como características fundamentales la supresión del balasto y el de una práctica ausencia de mantenimiento de la vía, particularmente costoso y difícil en túnel y en régimen de tráfico intenso como es el caso de la explotación tipo metro. Se trata de una vía en placa con capacidad para amortiguar vibraciones, lo que la hace especialmente adecuada para entornos urbanos.

El sistema Stedef clásico emplea traviesas bibrilque mixtas tipo RS, con fijaciones doblemente elásticas (clip o lámina elástica y placa elástica de asiento). La fijación, además de tener la misión de mantener el carril firmemente sujeto a la traviesa, realiza un efecto de filtrado de las vibraciones de alta frecuencia que se transmiten por el propio carril. La absorción de las frecuencias bajas se realiza en el nivel inferior de las traviesas, por un colchón neumático realizado con un elastómero de estructura celular cerrada, con burbujas microscópicas llenas de nitrógeno. El interés de esta solución reside en una captación selectiva de los dos tipos de frecuencias nocivas, en los niveles donde se manifiestan y con los medios elásticos apropiados a cada uno de ellos. El colchón neumático está concebido para formar una funda que envuelve, elásticamente, cada uno de los bloques unidos por la riostra metálica de la traviesa, hasta su media altura. Se coloca manualmente, sin encolado. Es la cazoleta elástica de la solución Stedef.

La primera aplicación de la vía en placa tipo Stedef la realizaron los Ferrocarriles Federales Suizos (CFF), en agosto de 1966, en el túnel de Bozberg. La circulación diaria sobre esa vía es de más de 10.000 t con velocidades de 125 km/h. Con posterioridad, esta solución ha sido aplicada en numerosas ocasiones, SNCF (Ferrocarriles Franceses), RATP, tanto sobre líneas de metro clásico como ferroviarias de la Réseau Express Régional (RER), Metros de Lyon, Marsella, Barcelona, Río de Janeiro y los CFF (Ferrocarriles Federales Suizos).

### C.4.- SOLUCIÓN RETHWISCH

En 1993, la empresa alemana Betonwerk Rethwisch GmbH comenzó el desarrollo de un sistema de vía en placa conocido como "sistema Rethwisch". Para ello, se diseñó y puso en práctica un completo conjunto de ensayos, a desarrollar en las instalaciones de la Technische Universität de Berlín, dirigidos por el Prof. Hoffmann, y en los laboratorios que los Ferrocarriles Alemanes (DB) tienen en Magdeburg. Dichos ensayos pu-



Figura 8. Vía sobre traviesa Stedef.

sieron de relieve las favorables características de este nuevo sistema de vía en placa. En 1995, el Departamento de Vía de DB, en Munich dio permiso para que el sistema Rethwisch fuera sometido a pruebas bajo circulación real. De todas formas, hasta la fecha no se ha realizado ningún tipo de ensayo del sistema Rethwisch en condiciones reales de circulación. Tan sólo se ha construido una pequeña sección de 15 m que está instalada en la zona de talleres de la empresa Betonwerk Rethwisch GmbH.

El sistema Rethwisch es una variante de la solución Rheda. Los componentes son prácticamente los mismos: la placa base de hormigón se asienta sobre una capa de gravas ligadas hidráulicamente. Dicha capa de gravas se extiende sobre una capa de regularización de la explanada, con propiedades anti-congelación. Sobre la losa se sitúan las traviesas de hormigón pretensado, que apoyan sobre la placa por medio de dos tornillos de regulación, situados en los extremos, y acabados en una base que se introduce en unos orificios realizados previamente en la placa. Estos tornillos mantienen la traviesa alzada del orden de 15 mm con respecto a la placa de hormigón. Asimismo, permiten realizar de forma muy precisa la nivelación de la vía. Una vez que la traviesa está perfectamente situada y el carril en consecuencia tiene la alineación y nivelación requeridas, se inyecta un material (que no ha sido posible determinar a partir de la escasa documentación entregada por el fabricante), cuyo objetivo parece ser solidarizar la traviesa a la placa. La sujeción empleada es la IOARV 300.

### C.5. SOLUCIÓN CON TRAVIESAS SINTÉTICAS

Los Ferrocarriles Japoneses (JNR), desde 1980, han sido los primeros en tratar de desarrollar una traviesa sintética a

partir de espuma de poliuretano reforzado con fibra de vidrio. Este tipo de material presenta una gran durabilidad en ambientes corrosivos y frente a esquemas de carga repetitivos, como es el caso de los Metros. Además, permiten ser fabricadas con la sección y longitud que se desee, de forma muy precisa, por lo que su incorporación a la vía en placa, aún en aquellos casos que presenten geometrías complejas (desvíos, travesías, etc.). De hecho, la traviesa de poliuretano está siendo empleada en ciertas secciones del Ibhoku y Yamagata Shinhansen, parece ser que a plena satisfacción.

### SOLUCIÓN VOEST ALPINE DE TRAVIESAS DE POLIURETANO

Las traviesas de poliuretano de la solución que plantea la empresa austríaca VoestAlpine Eisenbahnsysteme (VAE) son la pieza central de un sistema de vía en placa que fué empleado por primera vez en el metro de Viena. La traviesa de poliuretano se emplea básicamente en dos sistemas de vía sin balasto:

- ▼ Superestructura sin balasto con las traviesas embutidas directamente en la placa de hormigón, para vías en túnel de la red de ferrocarriles y metro.
- ▼ Superestructura sin balasto con las traviesas introducidas y fijadas a cubetas de chapa de acero, que es utilizada en vías tendidas sobre puentes o viaductos.

La traviesa tiene una sección de 260 x 100 mm y un peso aproximado de 15,4 kg/m. En su sección central hay una pieza de material sintético especial, donde se anclan los tornillos de la sujeción del carril. Este tipo de traviesa está especialmente indicada para cargas relativamente bajas (12 t). En tal caso, se fija la placa de rígida de asiento directamente sobre la traviesa. Si las cargas son mayores (19 t en Bucarest; 25 t en Milán), entre otras medidas es necesario colocar una placa adicional entre la placa rígida de asiento y la traviesa, para reducir las tensiones en el contacto. Las traviesas se colocan en su alojamiento en la placa revestidas con unas cazoletas de goma (similares a la solución Stedef), colocadas en sus extremos. La placa de hormigón armado sobre la que se asienta a su vez se dispone sobre una capa de elastómero, al objeto de aumentar la capacidad de absorber vibraciones. Los desvíos en este tipo de solución se siguen colocando sobre traviesas de madera, con las mismas cazoletas elásticas que llevan las traviesas de poliuretano (caso del Metro de Buenos Aires).

El sistema se ha aplicado en los Metros de Viena, Bucarest, Milán y Buenos Aires. Otros fabricantes han suministrado traviesas de este tipo para zonas especiales (viaductos, travesías, etc.) de la red de Alta Velocidad japonesa Shinkansen.

### C.6.- SOLUCIÓN DE VÍA EN PLACA TIFLEX

La compañía inglesa Tiflex Ltd ha desarrollado varias soluciones de vía, una de las cuales es la vía PACT ya vista, y otras

para ser aplicadas a la vía de un metro. Esta última es funcionalmente muy similar a la de los bloques elásticos Edilón actualmente utilizados en el Metro de Madrid.

La idea más innovadora es la vía desarrollada por este constructor y aplicada en el ferrocarril ligero de los Docklands (Londres). Este tipo de construcción es muy similar a la que se emplea en los bloques prefabricados aislados de este mismo fabricante, sólo que en este caso en vez de utilizar dos bloques aislados, se emplea una traviesa, ya sea monobloque o bibloque, de hormigón. En torno a la parte de la traviesa embebida en la placa de hormigón se coloca un material elástico conocido como Trackelast. Planchas de este material deben adherirse (mediante el producto sellador TICO A/SU/I & Primer) a la base y los lados de las traviesas de hormigón. Estas bandas tienen un exterior conformado de tal manera que se ajusten al hueco en la placa de hormigón. Las propiedades de las planchas de Trackelast se estudian para cada aplicación específica. Finalmente, la traviesa se aloja en una cavidad realizada al efecto en la propia placa, bien libre dentro de esa cuna o encerrada mediante un mortero de cemento sin retracción.

En el caso del ferrocarril ligero de los Docklands se emplearon traviesas bibloque de hormigón armado. Los dos bloques permanecían unidos mediante una riostra metálica, lo que permite garantizar la estabilidad del ancho de vía y quedan envueltos y asentados sobre una capa de Trackelast muy blanda, al objeto de reducir la transmisión de vibraciones a los edificios adyacentes. Según el fabricante, cuando se emplean traviesas monobloque embebidas en la placa de hormigón, es posible admitir mayores deflexiones de la vía (de hasta de 6 mm). Ello permite a cambio mayores reducciones de transmisión de vibraciones en túnel.

Tiflex Limited ha aplicado el producto Trackelast para la reducción del ruido y vibraciones en numerosas Administraciones Ferroviarias, entre las que se encuentra Renfe y el propio Metro de Madrid. Esta aplicación normalmente se hace como una plancha fijada bajo traviesas en vía sobre balasto. Salvo la aplicación concreta del ferrocarril ligero de los Docklands, se desconoce otra aplicación de este tipo de vía en placa con traviesa embebida.

### D.- VÍA EN PLACA EMPLEANDO BLOQUES PREFABRICADOS AISLADOS

#### D.1.- SOLUCIÓN COOPSETTE. (FIGURAS 9 Y 10)

El sistema de bloques prefabricados CoopSette deriva directamente de la vía Stedef, utilizada en la línea B del Metro de Roma. En dicha aplicación se había puesto de manifiesto la posibilidad de eliminar la riostra metálica que une los bloques de la traviesa RS, dejándolos aislados. Esta posibilidad se hizo realidad en la línea 3 del metro de Milán (1985), logrando mantener las características fundamentales y los niveles de fiabilidad del sistema Stedef, y permitiendo superar los problemas



ligados a las exigencias de transitabilidad de la vía con medios sobre neumáticos en caso de incidencia. Los principales aspectos que caracterizan la superestructura de bloques extraíbles para metro, con trenes de carga máxima entre 12,5 y 13 toneladas por eje son la sujeción elástica, tipo Ski-1, la placa elástica de asiento de elastómero, de 189 x 139 x 6 mm, el bloque de hormigón armado, de 660 x 290 x 182 mm con un peso de unos 95 kp y una almohadilla bajo el bloque de elastómero vibro-absorbente, de dimensiones 660 x 285 x 8 mm.



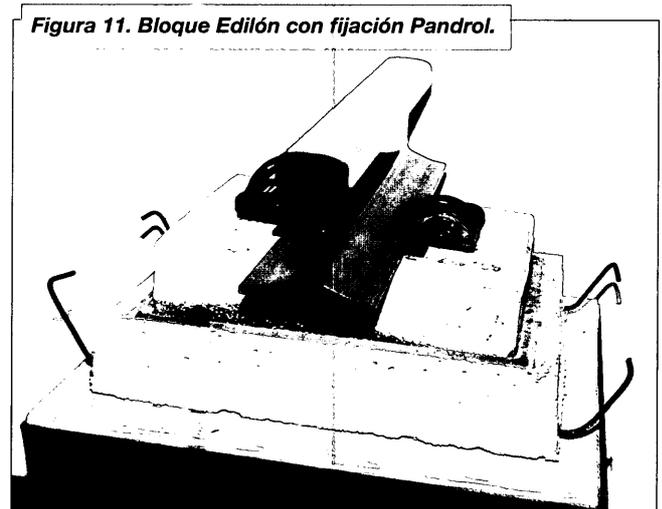
La cazoleta de goma es un polímero que envuelve la parte inferior del bloque.

Esta solución ha sido aplicada en el Metro de Milán (líneas 1 y 2), Ferrovie Nord de Milán (túnel San Pedrino) y el Metro de Barcelona (línea II).

## D.2.- SOLUCIÓN DE BLOQUES EDILON. (FIGURA 11)

Como se ha visto, la búsqueda de una superestructura con bajo o nulo mantenimiento ha impulsado la investigación de nuevas soluciones de vía en placa. Este hecho, unido a la necesidad de reducir las vibraciones procedentes de la circulación de las composiciones que, por encima de un determinado nivel, afectan a las personas y edificios, ha conducido al empleo de polímeros mezclados con corcho, con favorables cualidades de resistencia y gran adherencia.

Esta solución se basa también en la utilización del sistema de bloques independientes para soporte y fijación de la vía en placa, sea una vía general de túnel o en estaciones, pero sin necesidad de riostra central. Cada hilo es soportado por un bloque de hormigón independiente introducido en una cazoleta del mismo material y embebido en un elastómero conocido como Corkelast (un polímero mezclado con corcho). Éste hace de eslabón elástico entre el bloque y la cazoleta, actuando a la



vez de sistema antivibratorio. Los bloques elásticos se hormigonan posteriormente al realizar la placa, sumergiendo la cazoleta de hormigón, con sus correspondientes armaduras de espera. Para realizar la sujeción del carril al bloque se puede emplear el sistema que se desee (D.E., Pandrol, Nabla, Vossloh, etc.).

El proceso de montaje, esquemáticamente, es el siguiente:

- ▼ 1) Se montan los carriles sobre los bloques distanciados 1 m, con las sujeciones completas colocadas. Los bloques están apoyados sobre la presolera.
- ▼ 2) Se levanta la pareja de carriles y bloques al nivel indicado en el proyecto, nivelando primeramente uno de los carriles mediante apoyos o pequeños pórticos metálicos situados entre los bloques y apoyados en la presolera.
- ▼ 3) Se apuntala lateralmente la vía.
- ▼ 4) Se alinea un carril y el segundo respecto del primero.
- ▼ 5) Se recubren con tubos de PVC o un material similar todos los elementos auxiliares de montaje, como pernos de alimentación, puntales, etc., a fin de recuperarlos posteriormente.
- ▼ 6) Se hormigona la solera definitiva con un hormigón H 250, hasta un nivel de 5mm bajo el de la cazoleta de los bloques

La limpieza de la vía para su entrega es muy simple.

El Metro de Madrid lleva empleando bloques elásticos Edilón desde hace 25 años aproximadamente, primero con sujeción D.E., para pasar posteriormente a emplear el clip Pandrol (1992-93, en la línea 1). Aproximadamente hay 180.000 bloques instalados en vía de ancho 1.435 mm. Las averías que se producen en este tipo de vía son mínimas. Prueba de ello es que, en el año 1996, Metro de Madrid debió sustituir tan sólo 2 bloques.

### D.3.- SOLUCIÓN LVT (LOW VIBRATION TRACK). (FIGURA 12)

La vía LVT (Low Vibration Track) es el último desarrollo del sistema de vía sin balasto Sonneville (también conocido como sistema Botzberg o Stedef), el cual ha sido instalado en numerosas líneas de metro y ferrocarriles a lo largo del mundo desde su primera aplicación en el túnel de Botzberg (SBB) en 1966. El sistema LVT combina la experiencia obtenida a lo largo de más de 25 años de mediciones sobre vía con las innovaciones desarrolladas para conseguir las características que demandan casos tan especiales como el Túnel del Canal de la

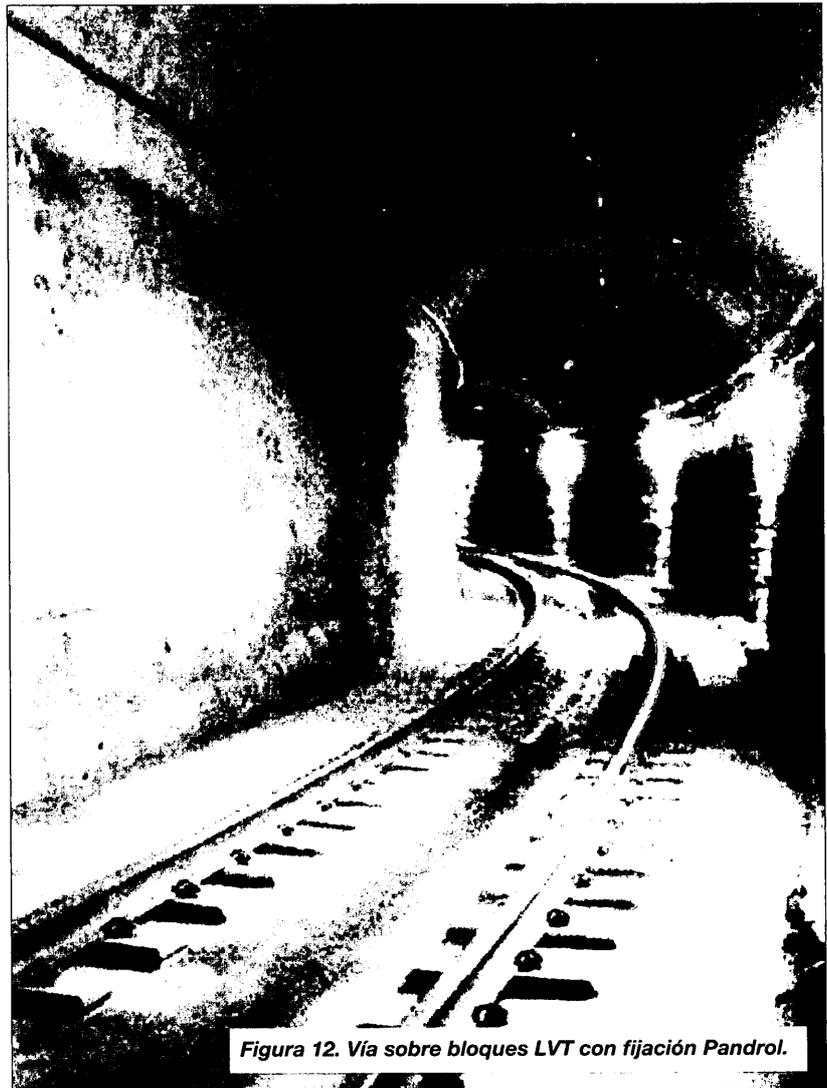


Figura 12. Vía sobre bloques LVT con fijación Pandrol.

Mancha. El sistema LVT es una vía sin balasto integrada por soportes de carril independientes, encajados en una placa de hormigón en masa. Cada soporte está constituido por dos niveles elásticos separados por una masa intermedia. El sistema de vía sin balasto LVT está constituido por tres componentes básicos:

- ▼ 1.- Los bloques usados en la vía LVT son de hormigón fuertemente armado, de resistencia y durabilidad elevadas, con tolerancias estrictas en la geometría.
- ▼ 2.- La cazoleta de goma que rodea al bloque está realizada a base de un elastómero compuesto de larga vida, con nervaduras laterales que permiten a los bloques de hormigón el movimiento vertical correspondiente a la carrera de deflexión calculada sin producir fricción entre la cazoleta y las paredes laterales del hueco de la placa y que, en segundo lugar, poseen una capacidad de flexión suficiente para seguir los movimientos del bloque sin rotura.

▼ 3.- La almohadilla microcelular contiene millones de células que encierran gas (nitrógeno) en una matriz elastomérica. Debido a su gran área, las cargas unitarias permanecen bajas, lo que permite prever una larga vida y unas características mecánicas duraderas. La modificación de la densidad de células permite diseñar adecuadamente las almohadillas según las características del tráfico que deban soportar.

La vía LVT es una evolución de la vía Stedef, a la que se le ha eliminado la riostra metálica de unión entre los bloques. Para garantizar la estabilidad del ancho de vía, el bloque se sumerge 136 mm bajo la superficie de la placa, en vez de los 83 mm de la vía Stedef, garantizando así un mayor empotramiento del taco. Esta profundidad de empotramiento en la segunda fase de la placa de hormigón asegura la estabilidad lateral de la vía, hecho que el fabricante demuestra no sólo mediante cálculos teóricos y ensayos de laboratorio, sino por realizaciones sobre curvas de hasta 119 m de radio, sin que por el momento hayan aparecido problemas. Además de las mejoras en la geometría del bloque, en el diseño de la armadura de acero y en los materiales plásticos empleados, la principal innovación de la vía LVT comparada con los primeros diseños de vía sin balasto de Sonnevile es la ausencia de la riostra metálica conectando los bloques. Desde Diciembre de 1995, el sistema LVT se ha implantado en la Autoridad Portuaria Trans Hudson, New York-New Jersey, rehabilitación de una sección de vía, en servicio desde 1991. En el Túnel del Canal de la Mancha, vía del túnel, en el Metro de St. Louis, Missouri, en el Túnel de Grauholz (SBB), Suiza, el BART de San Francisco, California, el MARTA de Atlanta, Georgia, el DART de Dallas, Texas, el Tri-Met de Portland, Oregon y el Lantau y el ferrocarril del aeropuerto en Hong Kong.

## 5. CONCLUSIONES DEL PROF. MIGUEL R. BUGARIN

▼ 1.- Debido a las deformaciones que están apareciendo en las placas prefabricada IPA y su difícil incorporación a trazados sinuosos en alzado y planta, como es el caso de las líneas de un metro, se considera que la solución de vía en placa prefabricada IPA no debería ser contemplada para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid.

▼ 2.- Debido a la insuficiente experiencia que sobre su comportamiento en vía se tiene y, en particular, acerca de su aplicabilidad a vías de metro y su deficiente diseño orientado hacia la seguridad en el túnel (evacuación de personas y pista para los vehículos de emergencias impedido por la existencia de traviesas en la placa), se considera que las soluciones Getrac y Rethwisch no deberían ser contempladas como sistemas de vía en placa para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid.

▼ 3.- Debido a los muy importantes problemas que ha tenido el Metro de Milán con el sistema de vía en placa que emplea traviesas de poliuretano, se considera que dicha solución con traviesas de poliuretano Voest Alpine Eisenbahnsysteme no debería ser contemplada para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid.

▼ 4.- Debido al deficiente diseño del anclaje de la sujeción, unido a otros factores de importancia menor comparado con el antedicho, como la existencia de una cazoleta no adherente que permite la entrada de agua entre el bloque y la placa, se considera que la solución Low Vibration Track no debería ser contemplada para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid.

▼ 5.- Debido a la negativa experiencia que se tiene en vías del Metro de Madrid, corroborada por otras Administraciones Ferroviarias, y a que su diseño no facilita la evacuación del túnel o la construcción de un hueco central en las vías de las estaciones, para alojar a una persona que haya caído de modo fortuito a la vía, se considera que el sistema de vía Stedef no debería ser contemplado para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid.

▼ 6.- Debido a la dificultad de conseguir una correcta geometría de la vía debido al peso del emparrillado (hecho que se complica en el trabajo en túnel), a la exigencia de una sujeción especial para que realice la amortiguación de vibraciones, lo que encarece la vía, y a la dificultad de realizar en ella el hueco central de salvaguarda, se considera que la solución de vía en placa Rheda en su diseño actual no debería ser contemplada para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid, debiendo modificarse partes del diseño para su aceptación.

▼ 7.- Debido a la dificultad de realizar correcciones o reparaciones en la propia vía, la dificultad de realizar en ella el hueco central de salvaguarda en las estaciones y que en el desarrollo del sistema no se han considerado elementos amortiguadores del ruido y vibraciones (lo que impone la adopción de una sujeción del tipo IOARV 300), se considera que la solución PACT no debería ser contemplada para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid.

▼ 8.- Debido a que no se tiene todavía suficiente información, no se está en condiciones de recomendar la aceptación o rechazo de la solución Tiflex. No obstante, la dificultad para realizar el hueco de salvaguarda en el centro de la vía de las estaciones y la posibilidad de bombeo de agua y ataque al Trackelast, inducen a considerar que esta solución no debería ser contemplada para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid, comparada con otras.

▼ 9.- Por las mismas razones que las que se indican en el punto 7, unido al hecho de que su construcción requiere maquinaria específica aún en fase de desarrollo (la finalizadora), se considera que la solución Crailsheim no debería ser contemplada para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid.

De todo ello se concluye que las soluciones de bloque elástico Edilón, bloque hormigonado CoopSette y una más adecuada solución de traviesa de hormigón sobre placa, similar al tipo Rheda, son las que se consideran más apropiadas para su incorporación en las nuevas líneas del Metro de Madrid.

## 6.- CONCLUSIONES DE LOS AUTORES

El bloque elástico Edilón es una buena solución para Metro de Madrid. Para que su colocación sea la adecuada ha sido necesario modificar el sistema de instalación de vía previo al hormigonado de algunos constructores, rigidizando en general los sistemas de fijación provisional.

Su precio puede aún reducirse algo, aunque ya se ha ido reduciendo a lo largo de las últimas instalaciones de vía. Con la configuración usada actualmente (shoulder pegado con resina) y fijación Pandrol su precio actual (Marzo 1998) es de 9.870 pta puesto en fábrica. Este precio era en Octubre de 1995 de 10.750 Pta, habiéndose rebajado el coste en este período en 900 Pta/ud. Como comparación diremos que la traviesa Stedef puesta en el Pasillo Verde en 1994 costó 21.000 Pta/ud. Así pues, en estos momentos la pareja de bloques cuesta 19.750 Pta, y resulta por tanto algo más barata que la traviesa Stedef.

El desglose del coste de un bloque Edilón es el siguiente:

Hormigón y mano de obra.....	3.500 Pta/ud
Fijación Pandrol .....	1.540
Pegamento del shoulder de la fijación (0,25 kg).....	400
Lámina (Tiflex) bajo el carril .....	250
Elastómero (3,56 kg de Corkelast) .....	4.180
Coste total.....	9.870 Pta/ud

Es posible reducir el precio del bloque eliminando el pegamento (anclaje químico) del shoulder de la sujeción Pandrol, realizado mediante la cola Edilón Dex G-2K La propia casa Pandrol tiene desarrollados varios modelos de shoulder que utilizan el fenómeno de la adherencia con el hormigón para realizar el anclaje. Esta modificación permite rebajar el precio por bloque en 300 pta. por bloque.

Otro factor que encarece el precio del bloque es el tipo de sujeción empleado. Si en vez de emplear la sujeción Pandrol

se emplea la sujeción Sk11 puede obtenerse un ahorro, por cada bloque y sobre el precio original, de 340 Pta. Sin embargo, la fijación Nabla sería 150 Pta más cara que la Pandrol.

El elemento más caro relativamente de la solución Edilón es sin duda el elastómero Corkelast. El Corkelast del bloque elástico Edilón mantiene estanco el espacio situado entre el bloque y su cubeta a hormigonar a la placa base. El Corkelast, con la experiencia que se tiene en el Metro de Madrid, se considera un material inerte, sin desgaste ni pérdida de sus características mecánicas con el paso del tiempo (hay bloques Edilón en vía del Metro de Madrid con más de 25 años). Los materiales y compuestos químicos con que se fabrica no parece justificar su precio. Es por ello de interés buscar una solución alternativa para dicho material para poderlo sustituir por otro elastómero similar. En ello está trabajando la Dirección General de Infraestructuras en la actualidad.

La vía CoopSette, evolución del diseño de la vía en placa Stedef, resuelve el problema de la riostra metálica, pero la cazoleta elástica sigue sin garantizar la total estanqueidad entre el bloque y la plataforma de vía. Es fundamental, para poder ser utilizada en el Metro de Madrid, hacer los ensayos necesarios a la almohadilla microcelular y la cazoleta elástica que demuestren la no degradación de las propiedades de ambos elementos bajo el ataque de las aguas agresivas existentes en los túneles del Metro. El coste de este taco es ligeramente más alto que el del bloque Edilón.

Frente a las vibraciones, ambas soluciones se muestran eficaces. Con bloques elásticos Edilón se consigue en el Metro de Madrid una atenuación de alrededor de 30 dB, en el rango de frecuencias de 20 a 125 Hz. Los bloques hormigonados CoopSette presentan, en este mismo rango de frecuencias, atenuaciones algo superiores a los 40 dB.

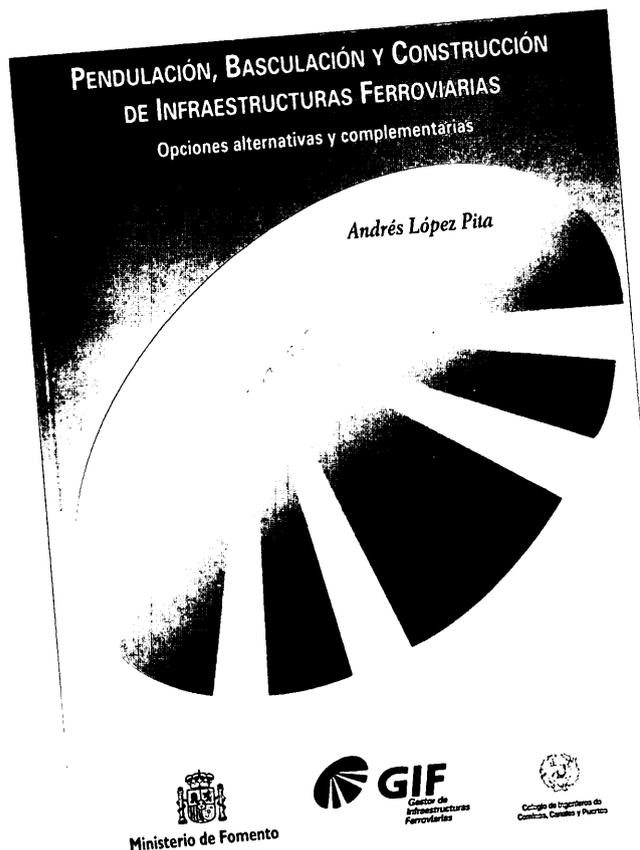
Para reparar un bloque tras un descarrilamiento, en ambos casos, el bloque afectado se retira de la vía, sustituyéndolo por otro. En el caso del bloque elástico Edilón, el Metro de Madrid tiene experiencia sobre el tema, no planteando ningún tipo de problema: se retira el Corkelast con una herramienta de corte; se retira el taco afectado y se sustituye por otro; una vez situado, se vierte el Corkelast líquido sobre la bandeja encastrada en la placa, que fraguará a las pocas horas. En el caso del bloque CoopSette, el bloque nuevo tiene un tamaño ligeramente inferior, para permitir su acomodación al hueco ya existente en la placa.

Tomando como base estos datos, los autores de este trabajo consideran que son igualmente aptas para su colocación en el Metro de Madrid la solución de bloques independientes tipo CoopSette (teniendo en cuenta lo dicho más arriba sobre los ensayos necesarios), la de bloques independientes tipo EDILON con Corkelast, y la vía en placa sobre traviesas de hormigón prefabricadas tipo RHEDA. El taco CoopSette se podrá emplear en aquellos tramos de túnel en los que se tenga la seguridad de la no presencia de aguas agresivas. En todo caso parecen necesarias las modificaciones en el diseño ya co-

mentadas más arriba, especialmente para reducir costes y para mejorar, en el caso de las traviesas tipo Rheda, la circulación por la entrevía en caso de emergencia así como para simplificar la construcción y el montaje.

Independientemente de estos análisis técnicos y económicos, los autores (Vicepresidencia de Metro) han propuesto también al Excmo. Sr. Consejero de Obras Públicas la urgente puesta en práctica de un plan global de renovación de vía en Metro de Madrid, de forma que en un período corto (entre 5 y 10 años como máximo) toda la vía sobre balasto quede sustituida por vía en placa y todos los aparatos de vía (diagonales, Bretelles y desvíos) queden también fijados sobre vía en placa. Este plan, junto con el moderno sistema de auscultación dinámica ya comentado, permitirán una drástica reducción de los actuales costes de mantenimiento.

Junto al mantenimiento de vía, otro componente importante del coste total de mantenimiento es el de la línea aérea. A estos efectos ya se ha instalado en el tramo recientemente inaugurado de Línea 7, tramo Avda. de América-Gregorio Marañón y por primera vez en toda la historia de Metro de Madrid, la catenaria rígida, que prácticamente no precisa mantenimiento. Se ha propuesto también al Excmo. Sr. Consejero de Obras Públicas, y es intención de la Dirección General de Infraestructuras y Vicepresidencia de Metro de Madrid, la instalación del sistema de catenaria rígida en todos los nuevos tramos de la actual Ampliación en que sea posible, así como el plan de sustitución en las líneas actuales, lo que significaría que tanto la geometría del plano de vía como la de la catenaria así como sus distancias relativas permanecerán prácticamente inalteradas. ●



# NOVEDAD EDITORIAL

**INFORMACIÓN:**  
**LIBRERIA DEL COLEGIO DE**  
**INGENIEROS**  
**DE CAMINOS, CANALES Y**  
**PUERTOS.**  
**TELÉFONO: 308 19 88 (EXT. 272)**