

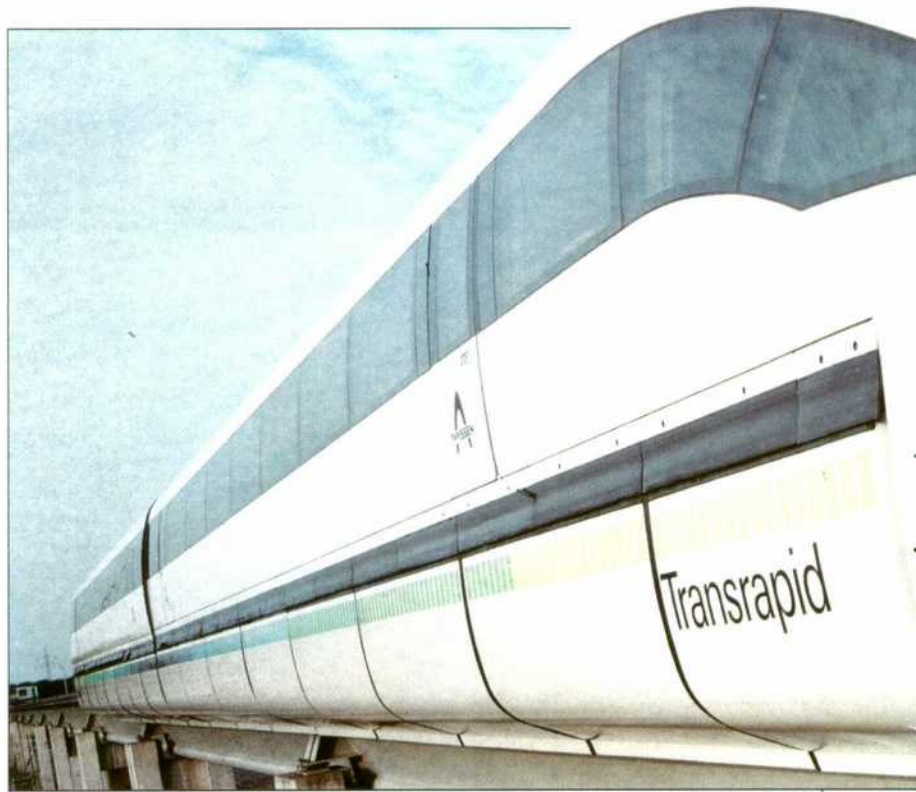
Angel Rodríguez

**E**l Transrapid, tren rápido de sustentación magnética, cuyas imágenes en los 31,5 kilómetros de la pista de pruebas de Emsland son conocidas hace tiempo, se encuentra en la recta final para su implantación en un servicio comercial entre Berlín y Hamburgo. Será a partir del 2004 cuando unos 14,5 millones de pasajeros anuales puedan utilizar estos trenes que circularán con intervalos de diez minutos para trasladarse entre las dos ciudades, en unos 55 minutos a una velocidad media de 300 km/h.

Pero éste no ha sido el primer proyecto de puesta en servicio de una línea Transrapid. En 1989 se planeó la construcción de un primer enlace entre la ciudad de Essen y el aeropuerto de Colonia-Bonn, con parada intermedia en el de Düsseldorf. Se trataba entonces, de enlazar los tres puntos -Essen y los dos aeropuertos- con un sistema de transporte rápido y seguro -un viaje de 80 kilómetros y unos 25 minutos- que, de hecho, conseguiría conformar una unidad de gestión y explotación para los dos aeropuertos y disolver los cuellos de botella existentes, equilibrando la utilización de uno y otro, además de liberar parte de la carga del sistema de transporte de la zona Rin-Ruhr.

La velocidad prevista de 250 km/h era muy inferior a las prestaciones máximas ofrecidas por el Transrapid. Finalmente, alguno de los gobiernos de los estados -länder- implicados bloquearon el proyecto del Gobierno Federal, de modo que el Berlín-Hamburgo es hoy el más inmediato objetivo del Transrapid.

Una vez en funcionamiento la línea, los trenes constarán de entre dos y diez secciones, con una capacidad de 72 a 100 pasajeros por cada una de ellas. El volumen máximo de transporte se sitúa en 31 millones de pasajeros por año y dirección de la vía, y los costes de inversión están cifrados en 24 millones de marcos -unos 2.000 millones de pesetas- por kilómetro de trazado en vía doble en zonas de orografía suave, incluyendo estaciones e ins-



SERA LA PRIMERA GRAN LINEA COMERCIAL DE LEVITACIÓN

## El Transrapid circulará entre Berlín y Hamburgo

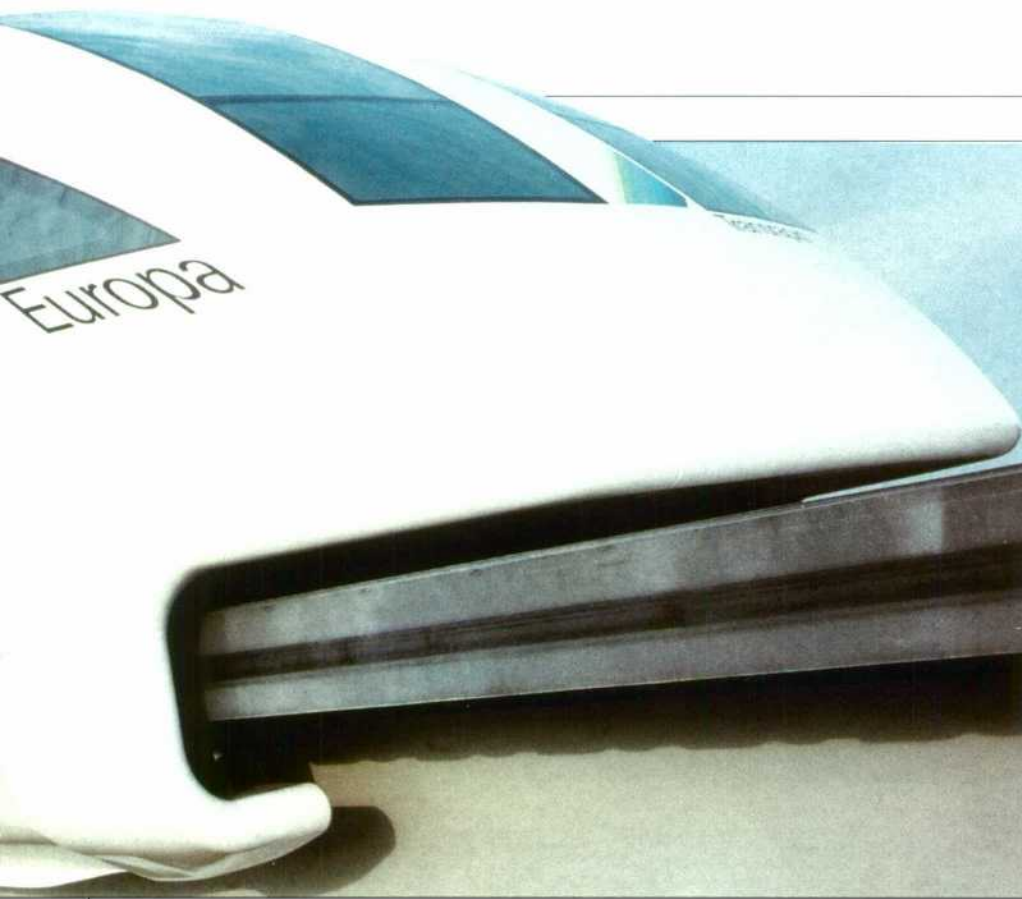
En poco más de siete años la capital federal alemana, Berlín, estará unida con el más importante puerto germano en el Mar del Norte, Hamburgo, por un nuevo sistema de transporte ferroviario, el Transrapid. Los 283 kilómetros que separan ambas ciudades podrán recorrerse en unos 55 minutos, con un nivel de seguridad 250 veces mayor que el del ferrocarril clásico, y 20 veces superior al del transporte aéreo. La levitación magnética ha iniciado ya el camino que la llevará, en el próximo siglo, de los proyectos y los ensayos a la realidad de un servicio comercial regular entre ciudades.

instalaciones fijas. Los costes de operación, por su parte, está previsto que oscilen entre los tres y los cuatro céntimos de marco -de 2,50 a 3,40 pesetas- por asiento y kilómetro.

El tramo de pruebas de Emsland

está construido reproduciendo lo que podría ser una instalación tipo del Transrapid, parte a ras de tierra y parte elevada sobre pilares apoyados sobre zapatas de cimentación individuales y sobre los que se afirman las vigas. Los pilares tienen forma de A y de H y cada zapata de cimentación apenas necesita 20 m<sup>2</sup> para su apoyo.

Las vigas están fabricadas de hormigón pretensado o acero y apoyan sobre dos o tres pilares distanciados entre 12 y 37 metros, aunque la luz regular prevista en el futuro para la línea será de entre 25 y 31 metros. Cada cambio de aguja está formado por una viga de acero hueca continua de 65 a 150 metros de largo. Al maniobrar la aguja, la viga se dobla elásticamente sobre una estructura desplazable lateralmente, pasando a



## ACION MAGNÉTICA EN EL MUNDO

# en el 2004 entre burgo a 400 km/h

la posición de desvío. El accionamiento se hace mediante un enclavamiento hidráulico o electromecánico controlado y vigilado por microprocesadores. Los radios mínimos previstos para las líneas comerciales, a explotar a 400 km/h, son de 4.000 metros y la pendiente máxima del 10 por ciento.

El Transrapid, desarrollado por AEG, Siemens y Thyssen Henschel sobre la base de una tecnología desarrollada en cooperación con el Ministerio de Investigación y Tecnología Federal Alemán, utiliza la fuerza de atracción magnética para su suspensión y guiado, mientras que la propulsión y el frenado son manejados por el motor sincrónico de estator largo con el que cuenta.

El sistema de suspensión se basa en las fuerzas de atracción y repul-

sión de los electroimanes que lleva el vehículo y los que se encuentran en los carriles de reacción ferromagnética en el carril guía. Esos imanes de suspensión trasladan el tren por atracción a lo largo del carril guía y los imanes de guía los mantienen lateralmente en la "vía".

El sistema de propulsión del tren está formado por un motor sincrónico lineal de estator largo, que consiste en núcleos del estator con bobinado trifásico instalados debajo del carril guía y electroimanes montados en el vehículo. Un campo eléctrico con onda progresiva generado por la corriente en las bobinas del estator arrastra al vehículo a lo largo del tramo por la atracción de los imanes de suspensión que tam-

bién actúan como sección excitadora del motor lineal.

Los sistemas de propulsión tradicionales van incorporados en el vehículo, mientras que en el Transrapid se encuentran sobre el carril-guía. La tracción ferroviaria convencional debe tener a bordo potencia suficiente de propulsión para superar las rampas de trazado, mientras que los trenes de levitación magnética reciben la energía necesaria de las secciones de vía lo que permite que, en aquellas en las que se requiere una impulsión mayor para el tren, se incremente la potencia del motor instalado.

Del mismo modo, sólo las secciones de vía que se utilizan están activas y con la medida justa de la potencia requerida en cada momento con lo cual se evitan pérdidas de energía. En el caso de corte de fluido eléctrico, las baterías embarcadas a bordo permiten que el tren funcione durante unos 20 ó 30 minutos y junto a la propia inercia del tren, le permite llegar a la estación siguiente.

**Mínima energía.** Además de un requerimiento mínimo de energía, esta tecnología permite desarrollar velocidades de 300 km/h en tramos con pendientes del 10 por ciento y curvas de radio de 2.250 metros gracias a una infraestructura completamente adaptable al terreno, que ocupa menos espacio -unos 11,8 m de ancho en vía doble, por 13,7 del ferrocarril convencional y unos 30 de una autovía- y produce menos impacto ambiental, por su total permeabilidad para la fauna, la inexistencia de terraplenes o excavaciones en su trazado.

El consumo de energía del Transrapid es del orden de los 60-100 wa-



## Breve historia del Transrapid

El alemán Hermann Kemper desarrolló en 1933 el primer circuito para un sistema de levitación magnética y en 1934 obtuvo la patente de "un tren de levitación con vehículos sin ruedas, de guía flotante sobre carriles de hierro por medio de campos magnéticos", en el que se perfilaba muy claramente el sistema de levitación magnética. Setenta años después circulará en servicio comercial el Transrapid, primer sistema de transporte de largo recorrido de sustentación guía, accionamiento y frenado sin contacto. Pero el desarrollo concreto de este sistema comienza en 1969 cuando Krauss Maffei elabora el primer modelo de laboratorio, que dos años después se plasma en el prototipo construido por Messerschmidt-Bölkow-Blohm (MBB) que consigue circular a 90 km/h por un tramo de 700 metros. En 1974 el Transrapid 04 construido por Krauss Maffei dobla esa velocidad, y en 1976, Thyssen Henschel presenta el primer vehículo de levitación magnética para pasajeros dotado de un motor lineal de estator largo.

Tres años después, 50.000 visitantes de la Feria Internacional del Transporte en Hamburgo viajan en el tren desde las salas de exhibición de la feria a la zona de exposición al aire libre. En 1979 comienza a construirse en el noroeste de Alemania, en unos terrenos baldíos entre las localidades de Lathen y Dörpen, la pista de pruebas de Emsland, el TVE (Transrapid Versuchsanlage Emsland), para realizar ensayos a velocidades superiores a los 400 km/h en su circuito de 31.500 metros con una recta de 12 kilómetros, dos bucles de 11,5 y 8 kilómetros, y tres agujas de acero elásticas.

En 1984 comienzan las pruebas y se alcanzan los 302 km/h, en 1998 los 412, 6, en 1989 los 435 y en 1990 se consigue un desplazamiento sin paradas de más de 1.000 kilómetros. En junio de 1995 el Transrapid había recorrido más de 200.000 kilómetros en su vía de prueba donde fue visitado por más de 400.000 personas, de las cuales unas 50.000 tuvieron la oportunidad de probar sus prestaciones a bordo. En su desarrollo -cuyo coste se cifra en unos 1.600 millones de marcos, unos 135.000 millones de pesetas- han colaborado, aparte de Siemens, AEG y Thyssen Henschel, empresas como ABB, Dyckerhoff and Widmann, Krauss Maffei, MBB y SEL, siempre con la ayuda del Ministerio Federal Alemán de Investigación y Tecnología. □



### CARACTERISTICAS TECNICAS

<b>Vehículo (TR 07)</b>	
Longitud del Vehículo	50 m.
Peso en vacío	90 Tm.
Carga útil	20 Tm.
Velocidad máxima de servicio	500 Km/H.
Vía	
Ancho	2,80 m (carril guía lateral)
Angulo máximo de inclinación	12 grados
Accionamiento/freno	
Motor	Lineal síncrono de estator largo
Empuje máximo	Aprox. 100 kN
Potencia de aceleración	11 MW máximo.
Rendimiento total	85 %
Aceleración máxima	0,8 m/sg <sup>2</sup>
Tensión de motor (por cada fase)	0-4.250 V
Corriente nominal del motor	1.200 A
Frecuencia del motor	0-215 Hz (0-400km/h.)
Longitudes de las secciones del motor	Aprox. 300 a 2.100 m.

tios por hora/plaza circulando a 300 km/h. más de un 30 por ciento menos que el de un tren de alta velocidad, y sólo asciende a 150 w a los 400 km/h y a unos 200 a los 500 km/h. El consumo en vatios/hora/plaza oscila entre los 300 y los 700 para un automóvil - dependiendo de la ocupación, para velocidades en torno a los 120-150 km/h, y se sitúa en el entorno de los 600 para un avión Airbus 320 que desarrolla una velocidad de 800 km/h.

El sistema de control de operaciones del Transrapid desarrollado por

Siemens asegura la práctica automatización total del vehículo. Cuando un tren sale de la estación, el centro de control asume las tareas de operación y el funcionamiento de los sistemas periféricos. El sistema de "control descentralizado del vehículo", instalado al costado de la vía es el encargado de la protección de la ruta y los vehículos, y de cumplir y optimizar los parámetros de circulación prefijados mediante un contacto permanente con la unidad propulsora, los vehículos y el carril-guía. Durante el desplazamiento del tren, las uni-



dades descentralizadas de control y operación van intercambiando información con el control central.

El Transrapid, al prescindir de

ruedas y de rozamiento, genera únicamente un ruido de deslizamiento prácticamente inaudible al acelerar y frenar y no produce vibraciones.

El único ruido es el aerodinámico, sólo perceptible a partir de los 200 km/h, y similar, a 350 km/h, al que produce un coche de tamaño medio

Los 283 kilómetros de trazado de vía entre Berlín y Hamburgo supondrán una inversión de 5.600 millones de marcos, más de 470.000 millones de pesetas (un marco equivale a 84 pesetas), en cuya financiación se ha implicado en proporciones parecidas a la industria privada y a las administraciones afectadas.

Una parte, por importe de 2.400 millones de marcos, se financia mediante créditos a una sociedad de gestión de la vía de capital público. La devolución de los créditos que finalmente supondrá unos 3.700 millones de marcos se realiza con la remuneración que la sociedad de gestión recibirá de los explotadores de la línea en concepto de uso de la infraestructura y mantenimiento, lo que evita que los gastos repercutan sobre los presupuestos públicos.

Este pago se desglosa en dos componentes, uno en concepto de amortizaciones por el trazado completo de la vía de 137,9 millones de marcos anuales y otro de 173 millones que se incrementa en un 3 por ciento anual desde el año de comienzo del servicio, de modo que en el 2025 la gestora de la vía habrá saldado su deuda.

Los restantes 3.200 millones de marcos de la inversión provienen de una financiación pública en la que a su vez interviene también un crédito de un consorcio bancario que la Administración Federal deberá devolver en un periodo de 25 años a partir del 2001 -fecha en la que comenzará a repercutir sobre las cuentas públicas la construcción- con un interés del 8 por ciento y a una anualidad de unos 421 millones de marcos, es decir algo

## Cofinanciación de la infraestructura y explotación privada

más de 35.300 millones de pesetas, que podrían a su vez obtenerse mediante

la emisión de empréstitos en el mercado europeo, emitidos por la sociedad gestora de la vía o por otra entidad introducida en el mercado de capitales.

La explotación será por su parte puramente privada. Los costes de inversión para el explotador ascienden a unos 3.300 millones de marcos que hasta la culminación del proyecto podrían convertirse, por intereses e inflación, en unos 4.800 millones -403.000 millones de pesetas- de los que 1.500 millones corresponden a capital de la sociedad explotadora y 3.300 a capitales ajenos. El capital de la sociedad explotadora se aporta del siguiente modo: 500 millones de marcos de inversores privados e institucionales, 300 millones de DB y Lufthansa (titulares de la sociedad de explotación), 500 de la industria y el sector de la construcción y 200 de bancos y aseguradoras.

El recurso al mercado de capitales se hará varios años antes de la entrada en servicio de la línea lo que supondrá un retraso considerable en el pago del primer dividendo, por lo que el Estado alemán prevé una deducción directa del 20 por ciento del capital aportado por el inversor en su tributación. La merma de ingresos para el Tesoro será, pues, de 100 millones de marcos.

Para hacer más atractiva la inversión es posible que se ofrezcan acciones preferenciales cuyo dividendo sea durante los primeros doce años de explotación (2004-2015) de un 14 por ciento del capital aportado. Después del 2015, estas acciones preferentes se equipararían al resto de las emitidas. □



a 120 km/h., lo que favorece su buena integración en zonas densamente pobladas.

El diseño envolvente del vehículo, alrededor del carril-guía, evita el descarrilamiento, y el hecho de que su infraestructura sea elevada y singular evita cruces y riesgos, además de minimizar su ocupación de espacio.

La suma de estas características ofrece un nivel de seguridad altísimo, superior 700 veces al transporte por carretera, en 250 al ferroviario convencional y en 20 al transporte aéreo. Los materiales en que se construye, no inflamables y derivados de los utilizados por la industria aeronáutica, aseguran la máxima protección contra incendios. Incluso el campo magnético creado por el tren se encuentra dentro de los parámetros del campo terrestre natural, de modo que no significa un problema ni siquiera para los pasajeros con marcapasos.

Al margen de los proyectos alemanes, Japón también avanza en la levitación magnética, con dos sistemas distintos, el de levitación electrodinámica similar al alemán y el de levitación electromagnética. En Estados Unidos existen planes concretos para conectar con un sistema de

este tipo Los Angeles y Las Vegas - separadas por 370 kilómetros- y el aeropuerto de Orlando con Disney-landia, en el estado de Florida. Así-

mismo, otros países como Taiwan, Rusia y Corea del Sur llevan a cabo investigaciones preliminares en levitación magnética. □

## Un preciso esquema de ejecución

Para la construcción de la línea y posterior puesta en servicio del Transrapid Berlín-Hamburgo se ha establecido un complejo y preciso esquema de ejecución. El primer paso es la constitución de una sociedad gestora de la vía, de capital público, que inicia el proceso de planificación. Paralelamente DB y Lufthansa crean una sociedad anónima para la explotación en la que se implica a inversores individuales e institucionales.

Esta sociedad adquiere el material y los equipos necesarios para prestar el servicio, salvo la infraestructura, por la que paga a la sociedad de gestión de vía una cantidad equivalente a la amortización anual y otra en concepto de mantenimiento y conservación y obtiene sus ingresos de la explotación.

Ambas sociedades establecen los requisitos del trazado de la vía y de la explotación, basándose en los cuales un Consorcio General de Proveedores privados constituido para el equipamiento y la construcción del sistema fija las condiciones para la adjudicación de cada subsistema -vía, cambios de aguja, construcciones especiales, vehículos, control de tráfico, accionamiento, instalaciones de energía, estaciones...- para las que se realizan ofertas parciales. Esas ofertas son negociadas por el Consorcio y las sociedades de gestión y explotación, y, tras acuerdo, la sociedad de gestión adjudica la contrata de construcción de la infraestructura y la de la fabricación y suministro de los equipos. Después el propio Consorcio adjudica a subcontratas y subproveedores y centraliza las responsabilidades técnicas, económicas y de plazos. □