

La investigación ferroviaria y su relación con la Universidad

Por **ANDRES LOPEZ PITA**

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.

Cátedra de Ferrocarriles.

PALABRAS CLAVE

Universidad, Instalaciones de ensayo, Banco de pruebas, Circuitos experimentales, Investigadores, Líneas de investigación.

LISTA DE SIMBOLOS DE LAS DIFERENTES ADMINISTRACIONES

BR = Ferrocarriles Británicos.
CFR = Ferrocarriles Rumanos.
CSD = Ferrocarriles Checoslovacos.
DB = Ferrocarriles Alemanes Occidentales.
DR = Ferrocarriles Alemanes Orientales.
FS = Ferrocarriles Italianos.
MAV = Ferrocarriles Húngaros.
NS = Ferrocarriles Holandeses.
PKP = Ferrocarriles Polacos.
RENFE = Ferrocarriles Españoles.
SNCB = Ferrocarriles Belgas.
SNCF = Ferrocarriles Franceses.
VR = Ferrocarriles Finlandeses.

1. INTRODUCCION

La investigación ha constituido, de forma tradicional, una preocupación permanente de los ferrocarriles, dado que la misma era eslabón necesario para el desarrollo de este medio de transporte. De hecho, los primeros trabajos de investigación tuvieron lugar en el último tercio del siglo XIX.

Sin embargo, no puede decirse que la dimensión de ésta estuviese en concordancia con la envergadura del ferrocarril, siendo tan solo a partir de 1930 cuando comienza a ponerse de manifiesto la existencia del citado binomio. Esta situación tuvo su origen, probablemente, en la concurrencia de otros sistemas de transporte, que hizo necesario por parte del ferrocarril un esfuerzo de superación basado en un mejor conocimiento de las posibilidades de la técnica rueda-carriil.

Por esta causa la mayor parte de las Administraciones ferroviarias comenzaron a desarrollar sus

propios equipos de investigación o solicitaron de otros organismos (Institutos de Transporte, Escuelas Superiores, etc.) la colaboración necesaria. Al mismo tiempo los progresivamente crecientes tráficos internacionales imponían una coordinación entre las distintas redes afectadas. Dicha coordinación no era tan solo operacional, sino también técnica, lo que dio lugar a la creación de organismos internacionales de investigación conjunta, cuyo ejemplo más significativo fue el O.R.E. (Office de Recherches et d'Essais) fundado en 1950.

La importancia socioeconómica que el ferrocarril tiene en el desarrollo de un país, ha traído como consecuencia el decisivo apoyo que ciertos Gobiernos prestan a la investigación ferroviaria, decisión fácilmente comprensible si se tiene en cuenta que su desarrollo constituye uno de los principales elementos en los que se apoya parte de la industria de cada país.

En esta línea creemos de interés el analizar, en primer lugar, el marco en el que se desenvuelve la investigación ferroviaria actual, con especial referencia a su dotación tanto humana como de medios técnicos. En una segunda parte expondremos brevemente las directrices generales que configuran el frente de vanguardia de los distintos campos ferroviarios: vía, dinámica de los vehículos, tracción, material remolcado e instalaciones, haciendo un mayor hincapié en los aspectos, en principio, más afines con el Ingeniero de Caminos. De este modo esperamos facilitar la labor de aquellos que atraídos por el ferrocarril deseen profundizar en el conocimiento y desarrollo del mismo.

2. ANTECEDENTES HISTORICOS

Como hemos indicado precedentemente, los primeros servicios de investigación fueron creados después de la primera guerra mundial, alcanzando un decisivo avance en la década de los años 30, en cuyo período serían puestos a punto los laboratorios indicados en el cuadro 1.

Posteriormente se irían incorporando nuevos centros de investigación hasta ser prácticamente usuales en las Administraciones ferroviarias más avanzadas.

LA INVESTIGACION FERROVIARIA Y SU RELACION CON LA UNIVERSIDAD

CUADRO 1.— *Primeros Centros de Investigación Ferroviaria.*

País	Año	Denominación
Alemania	1929	Laboratorios de Ensayos de Munich y Minden.
Francia	1933	Estaciones de Ensayos de Material Ferroviario de Saint Ouen y Vitry.
Polonia	1934	Laboratorio Central de Investigaciones.

En el contexto de la investigación conjunta, el hecho más trascendental tuvo lugar, como se sabe, con la creación en el ámbito de la U.I.C. (Unión Internacional de Ferrocarriles) del O.R.E., centro que constituye el organismo más importante de la investigación europea actual. Su funcionamiento responde al siguiente esquema: Existencia de un Comité de Dirección, formado en general por los responsables del Departamento de Investigación de las Redes; su misión se concreta en la definición de los problemas específicos que deberán estudiar los denominados «Comités de Expertos», constituidos por ingenieros especializados de las Administraciones que forman parte de la U.I.C. El trabajo de estos Comités se plasma en una serie de informes parciales que deberán ser aprobados por el Comité de Dirección, el cual se reúne, con tal fin, dos veces por año (abril y octubre).

Un extracto de los resultados más significativos obtenidos, se compila en forma de fichas, las conocidas fichas U.I.C., que tienen por objeto: facilitar la labor práctica de sus Redes, o bien unificar criterios en cuestiones que afectan al tráfico internacional, en cuyo caso tienen un carácter de obligado cumplimiento.

En el ámbito americano, merecen destacarse las investigaciones llevadas a cabo por los comités especiales creados por el A.A.R. (Asociación Americana de Ferrocarriles) desde finales del siglo pasado. Dichos comités siguen desarrollando actualmente importantes trabajos de investigación, de los cuales se deducen conclusiones que quedan incorporadas al cuadro general de recomendaciones que periódicamente emite el citado organismo.

3. CARACTERISTICAS DE LA INVESTIGACION FERROVIARIA

De un modo general, puede decirse que la investigación ferroviaria se apoya, además de en los propios medios con que cuenta cada Administración ferroviaria, en dos elementos fundamentales: por

un lado, en la industria de cada país, y por otro, en las Facultades y Escuelas Superiores.

En relación con el primero cabe señalar que cuando existe una infraestructura industrial amplia y bien preparada, los estudios, el desarrollo, la producción y el suministro de los equipos se realiza por la industria, en cuyo caso queda a cargo del ferrocarril los ensayos necesarios y la preparación de los pliegos de condiciones.

En cuanto a la colaboración de Universidades e Institutos especializados, cabe subrayar la atención preferente que las distintas Administraciones guardan con relación a los mismos. Esta colaboración ha dado como resultado importantes avances al ferrocarril, a algunos de los cuales nos referiremos posteriormente.

En cualquier caso es preciso tener en cuenta en la planificación de la investigación ferroviaria, los dos factores fundamentales por los que se siente, en cierto modo, condicionada.

a) La duración en servicio de los equipos ferroviarios, que al ser muy elevada (veinte a cuarenta años) dificulta la introducción de innovaciones.

b) El elevado coste que caracteriza la misma.

Con relación al primero resulta significativo destacar que la vida útil de un carril puede llegar a alcanzar más de veinticinco años, y la de una traviesa de hormigón más de sesenta años; en cuanto al material ferroviario, una locomotora alcanza los treinta y cinco años de servicio y los coches y vagones cifras del mismo orden.

Respecto al elevado coste que supone el avance tecnológico del ferrocarril, basta decir a título indicativo que el Centro de Investigación de Derby de los ferrocarriles británicos, tienen unos gastos de explotación superiores a los mil millones de pesetas por año.

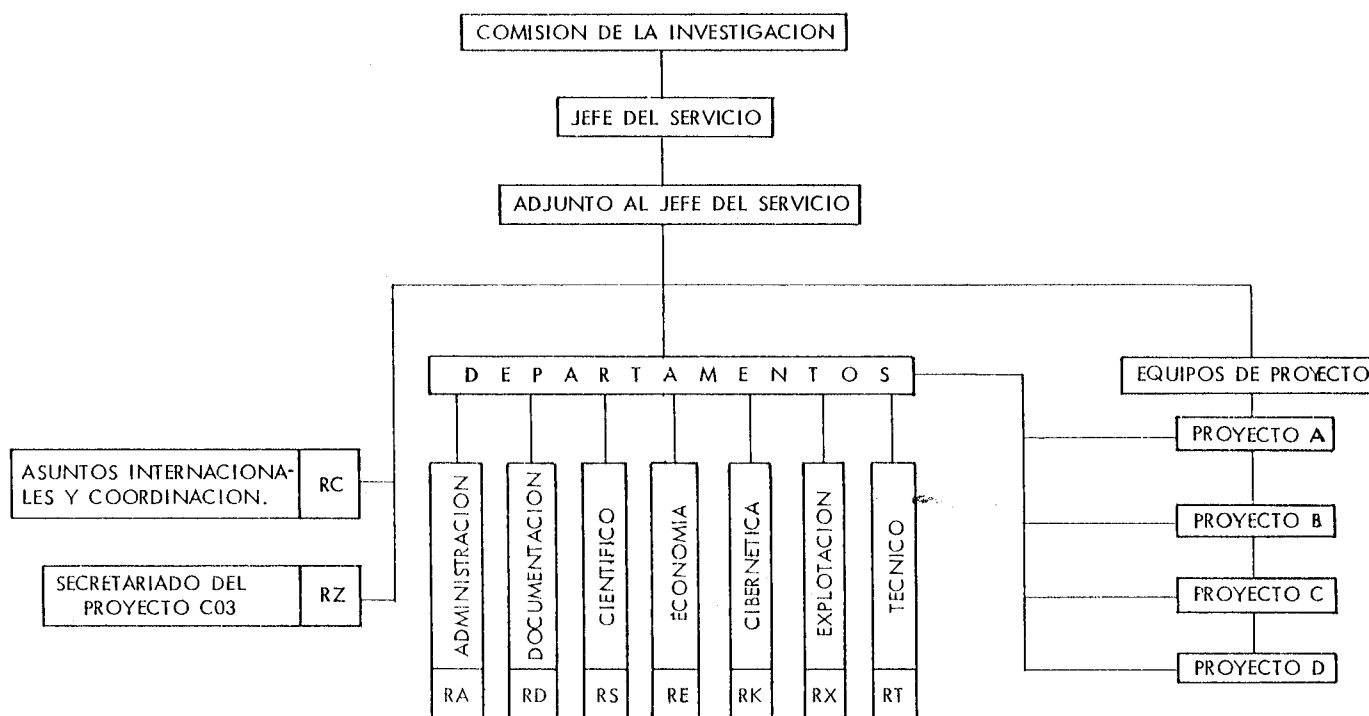
La organización del sistema de investigación depende, como hemos indicado, del grado de desarrollo industrial del país considerado. En cualquier caso dos son los grandes modos de estructurar aquélla: centralizada o descentralizada.

La primera tiene como ventajas: las derivadas de utilizar mejor un personal de investigación altamente cualificado, de hacer un mejor uso de aparatos, de bancos de ensayos, y de coordinar mejor los trabajos que necesitan la colaboración de servicios de investigación en distintas especialidades. Este tipo es el que existe en la SNCF (cuadro 2), DB, PKP y CSD entre otras redes.

En el sistema descentralizado existen una serie de departamentos subordinados o integrados a los servicios centrales de una Dirección General, o bien a un Ministerio de Transportes, tal como sucede en la SNCB y en los NS.

LA INVESTIGACION FERROVIARIA Y SU RELACION CON LA UNIVERSIDAD

CUADRO 2. — Organigrama del Servicio de Investigación de la SNCF.



4. LA INVESTIGACION EN EUROPA

Dos aspectos fundamentales presentan singular interés en cuanto se refiere a su conocimiento: por un lado los medios humanos, y por otro, las instalaciones y equipos disponibles. Con el primero se pone de manifiesto la atención que dedica cada Red a la investigación y, por tanto, a la mejora de su ferrocarril. Con el segundo, se deducen cuáles son las posibilidades, en el momento actual, que las diferentes Administraciones poseen para llevar a cabo la parte experimental de la investigación. A continuación se analizan, de forma individual, ambos aspectos: el humano y el material.

4.1. Investigadores.

Por lo que se refiere al número de investigadores que posee cada Red, en el cuadro 3 se realiza un análisis comparativo, para los principales países, con relación al número total de agentes que pertenecen al ferrocarril, así como al número de kilómetros de sus líneas. Del citado cuadro se deduce que son los ferrocarriles checoslovacos y holandeses quienes presentan un mayor porcentaje de investigadores.

Es preciso subrayar, no obstante, la importancia que la investigación ferroviaria en la Universidad

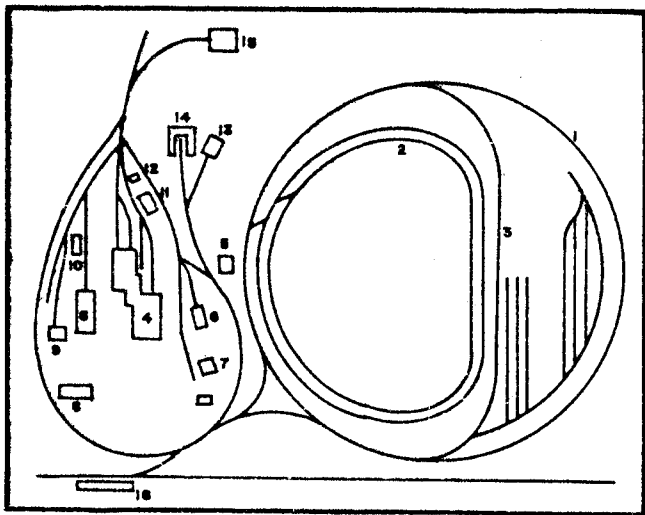
CUADRO 3. — Dotación del Servicio de Investigación de las distintas Redes ferroviarias.

País y Administración	Núm. de agentes en la red	Núm. de agentes en investigación	% del total de agentes	Kilómetros de líneas	Núm. de agentes por Km de línea
Inglaterra (BR)	400.000	560	0,14	18.118	0,030
Checoslovaquia (CSD) ...	—	310	—	12.956	—
Alemania Federal (DB) ...	408.000	730	0,18	28.799	0,025
Alemania del Este (DR) ...	277.831	750	0,27	13.962	0,053
Holanda (NS)	29.000	196	0,67	2.825	0,069
Polonia (PKP)	348.000	522	0,15	23.766	0,022
Francia (SNCF)	368.000	478	0,13	35.803	0,013
España (RENFE)	70.000	80	0,11	13.380	0,005
O.R.E.	—	400	—	—	—

tienen en países como Alemania y Holanda, que de considerarse harían incrementar notablemente el número de investigadores de los citados países. Precisemos que dicha investigación se lleva a cabo bajo contrato subvencionado por la Administración ferroviaria correspondiente.

4.2. Instalaciones y equipos.

Distinguiremos, como es habitual, las instalaciones referentes al estudio de los elementos de la vía, de las correspondientes a los componentes de los vehículos, aun cuando en ocasiones puedan realizar una doble misión.



1. Anillo externo circular.
2. Anillo interno con variación de pendiente y del radio de las curvas.
3. Sección recta y horizontal.
4. Depósito de locomotoras y material remolcado.
5. Torre de control.
6. Laboratorio.
7. Subestación.
8. Oficina administrativa.
9. Laboratorio de material y vía.
10. Dinámica ferroviaria.
11. Taller de reparación.
12. Laboratorio de soldadura.
13. Laboratorio interacción vía-vehículo.
14. Rampa artificial.
15. Laboratorio ensayos.
16. Estación de viajeros de Shcherbinka.

Fig. 1.—Centro Experimental de Shcherbinka (URSS).

4.2.1. Vía.

Consideraremos los tres grupos siguientes:

- a) Instalaciones que sólo sirven para la realización de ensayos (circuitos).
- b) Secciones de prueba sobre líneas en explotación comercial.
- c) Bancos de pruebas.

En cuanto a las primeras, sólo existe, si se excluye el circuito de Shcherbinka en la URSS (fig. 1) el circuito de Velim situado en las proximidades de Praga, que consta de dos secciones de ensayo, cuyas características principales se recogen en el cuadro 4.

De entre las secciones de vía que estando en explotación comercial se utilizan también para pruebas de velocidad, destacamos las citadas en el cuadro 5.

Debe señalarse que el trayecto de Las Landas es una alineación recta, razón por la cual la velocidad máxima de circulación indicada, 300 Km/hora, no es una exigencia de la vía, sino la limitación del sistema de tracción (313 Km/hora de velocidad punta). Análoga circunstancia tiene lugar en el tramo italiano, Chiusi, en donde la velocidad máxima alcanzada por el momento ha sido de 250 Km/hora.

Finalmente, en cuanto a los bancos de prueba citaremos:

- a) Para ensayos de resistencia de carriles.

En general, permiten la aplicación de cargas cíclicas dinámicas, mediante la actuación sucesiva de una rueda.

Existen los siguientes bancos:

Bancos de ensayos de carriles.

Administración	Lugar	Esfuerzo máximo (KN)
SNCF	Saint Quen.	360
PKP	Varsovia.	400
MAV	Budapest.	270

CUADRO 4.— Características del circuito de ensayos de Velim (Praga).

Denominación	CARACTERISTICAS			
	Longitud (m)	Radio de las curvas (m)	Velocidad máxima (Km/hora)	Electrificación
Pequeño circuito	3.951	300 a 800	80 a 120	3.000 voltios
Gran circuito	13.277	1.440	200	25 kV y 50 Hz

LA INVESTIGACION FERROVIARIA Y SU RELACION CON LA UNIVERSIDAD

CUADRO 5. — Secciones de ensayo a gran velocidad sobre líneas en explotación comercial.

País y Administración	Lugar	CARACTERISTICAS			
		Longitud (Km)	Radio mínimo (m)	Velocidad máxima (Km/hora)	Electrificación
Francia (SNCF).	Landa.	38	No hay	300	1.500 V
Alemania (DB).	Rheda.	28	3.300	250	15 kV y 16 2/3 Hz
Inglaterra (BR).	Melton Mowbray.	22	1.140	250	No existe
Italia (FS).	Chiusi.	138	—	300	—

b) Para ensayos de sujeciones.

El sistema denominado de patas en tijera (fig. 2) es utilizado por la DB a través de la Universidad Politécnica de Munich, siendo el único sistema que permite la aplicación simultánea de esfuerzos verticales y transversales.

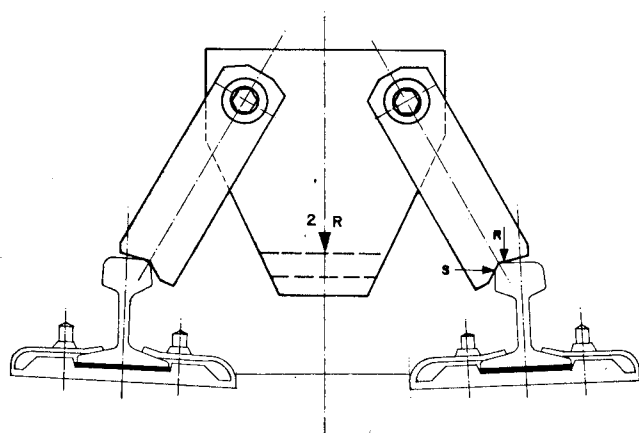


Fig. 2. — Dispositivo para ensayos de sujeciones (patas en tijeras).

c) Para ensayos de traviesas.

No existen dispositivos especiales, pero destacaremos que la SNCF dispone en Saint Quen una máquina que permite la aplicación de los siguientes esfuerzos:

Características del ensayo de traviesas en St. Quen

Naturaleza	Magnitud	Frecuencia	Dirección
Estática.	1.000 KN	—	Vertical
Dinámica.	500 KN	250 a 500 Hz	Vertical
Estática.	(0,5 a 0,6) E_v	—	Transversal

E_v = Esfuerzo vertical.

BANCO DE ENSAYOS DE VIAS

Junto a las instalaciones ya citadas, existen bancos de ensayo de vías, en los que resulta posible estudiar de forma simultánea todos los elementos que componen éstas o algunos de ellos.

En esta línea se encuentran: el banco de ensayos de Derby, de la BR, que comprende la presencia permanente de un empujador de vía de 18 metros de longitud, sobre el que actúa un vehículo que puede aplicar solicitaciones variables entre 60 y 400 KN por rueda, desplazándose a una velocidad máxima de 4,5 Km/hora; en forma análoga, los CFR poseen en Bucarest un banco de ensayos de 30 metros de longitud, sobre el que se pueden aplicar cargas estáticas variables hasta 250 KN; los PKP disponen de un banco de ensayos para medir la rigidez vertical y horizontal de la vía mediante la aplicación de esfuerzos verticales de 400 KN de carga máxima y horizontales de 200 KN.

4.2.2. Vehículos.

Como es sabido existen dos grandes grupos de material ferroviario: el motor y el remolcado, lo que unido a los distintos aspectos que determinan el buen funcionamiento de cada uno de ellos, traen, como consecuencia, la existencia de un gran número de equipos, con función diversa. En este sentido, en el cuadro 6, se resumen los elementos más importantes del material motor ferroviario y el tipo de ensayo a que se encuentran sometidos, así como la Administración ferroviaria que posee sistemas adecuados para ello.

En forma análoga, en el cuadro 7, se analizan los aspectos referentes al material remolcado.

Por sus especiales características nos referiremos a continuación a la estación de climatización de Viena-Arsenal. Esta instalación, para el ensayo climático de vehículos y objetos ferroviarios, fue construida en 1958 y desde 1961 funciona bajo el control de un Comité Internacional.

La intención con que se creó la estación de en-

LA INVESTIGACION FERROVIARIA Y SU RELACION CON LA UNIVERSIDAD

CUADRO 6. — *Instalaciones para el ensayo del material motor ferroviario.*

Elementos de ensayo	Tipo de ensayo	Administración que lo realiza	Características de la instalación
Motor Diesel.	Funcionamiento.	PKP (Varsovia). DR (Dessau). CFR (Bucarest). SNCB (Bruselas).	1.100 kW; 1.500 vueltas/m. 480 kW con 3.500 vueltas/m. 1.620 kW con 1.700 vueltas/m. 330 kW a 3.700 kW. 1.500 kW con 2.000 vueltas/m.
Motor eléctrico.	Funcionamiento.	DB (Munich). PKP (Varsovia). DR (Dessau).	Alimentación a tensión variable. Alimentación a tensión constante. Alimentación a tensión variable.
Catenaria.	Captación de corriente.	SNCF (red Este). DB (Rheda). PKP (Varsovia). FS (Campoleone). BR (Melton).	Diversos tipos de catenaria. Para alta velocidad. Ensayos estáticos. Para alta velocidad. Para alta velocidad.

CUADRO 7. — *Instalaciones para el ensayo del material remolcado ferroviario.*

Elemento	Tipo de ensayo	Administración que lo realiza	Características
Caja del vehículo.	Tracción y compresión.	SNCF (Vitry). (La DB, PKP, CFR, SNCB y VR, poseen instalaciones de menor importancia.)	Compresión máxima: 9.000 KN. Tracción máxima: 2.400 KN. Longitud máxima del vehículo: 27 metros. Se pueden medir 100 puntos.
Vehículo.	Rigidez torsional de vehículos a ejes y bogies.	SNCF (Vitry), DB (Minden), FS (Floren- cia), DR (Delitzsch) y VR (Helsinki).	—
Suspensión.	Estabilidad.	SNCR (Vitry), BR (Derby) y DB (Min- den).	esfuerzo y frecuencias variables.
Aparatos de choque y tracción.	Esfuerzos y aceleraciones a distinta velocidad.	SNCF (Vitry), DB (Minden) y PKP (Var- sovia).	—
Cajas de grasa.	Esfuerzos admisibles, comportamiento a fatiga.	PKP (Varsovia), CFR (Bucarest) y SNCF (Vitry).	Esfuerzos variables.
Ejes y ruedas.	Esfuerzo y admisibles desgastes.	DB (Minden) y DR (Halle).	Esfuerzos variables.
Bogies.	Esfuerzos estáticos y dinámicos.	DB (Minden), PKP (Varsovia) y SNCF (Vitry).	Condiciones específicas.
Frenos.	Funcionamiento.	SNCF (Vitry), BR (Derby), FS (Floren- cia), DB (Minden) y MAV (Budapest).	Diferentes velocidades.
Climatización.	Comportamiento.	Viena-Arsenal (O.R.E.).	Diferentes situaciones (hasta 50 grados centígrados).

LA INVESTIGACION FERROVIARIA Y SU RELACION CON LA UNIVERSIDAD

sayos fue el poder examinar el comportamiento del material ferroviario frente a las influencias del medio ambiente, en particular de: el viento, temperaturas altas y bajas, humedad, nieve e hielo, polvo y agua, dado que el conocimiento de su influencia durante la marcha natural de los vehículos resulta demasiado difícil, al no poderse obtener condiciones constantes.

La estación consta de:

a) Cámara estática, donde se reproducen todas las condiciones que actúan sobre un vehículo parado (entre -50° y $+50^\circ$); su longitud es de 30 metros.

b) Cámara dinámica, que constituye un gran canal de viento climatizado de 54 metros de longitud. El aire pasa, en circulación cerrada, partiendo de un gran ventilador, mediante el cual se pueden producir alrededor de coches y vagones, velocidades de viento correspondientes a velocidades de marcha entre 10 y 300 Km/hora.

Señalemos, finalmente, que la estación permite analizar el comportamiento de los distintos tipos de frenos en presencia de condiciones climáticas muy diferentes, tal como sucede en la realidad.

4.3. La relación ferrocarril-Universidad.

Por lo que se refiere a Europa, puede afirmarse que existe una interconexión permanente entre las Administraciones ferroviarias y las Universidades de sus respectivos países, de tal forma que algunos de los notables avances experimentados por el fe-

roccarril han tenido su origen en el de desarrollo de programas de investigación concertados con la Universidad. En algunos países existe una verdadera escuela, en cuanto al análisis de determinados problemas, algunos de los cuales hemos sintetizado en el cuadro 8.

Del citado cuadro cabe destacar el renombre internacional que posee la Universidad Técnica de Delft en el campo de la dinámica ferroviaria, como consecuencia de los estudios llevados a cabo por J. Kalker (1967) sobre las acciones existentes en el contacto rueda-carril.

En un segundo plano con relación a la citada Universidad, distintos centros ingleses, directamente conectados con el Departamento de Dinámica ferroviaria de los BR, que dirige el profesor Wickens, han contribuido a la resolución del problema que constituye el movimiento de lazo del eje montado.

Por lo que se refiere a la vía, la Universidad Técnica de Munich, se ha convertido en centro obligado de consulta para cualquier innovación que en ese marco se pretenda incorporar al ferrocarril. Su conocido sistema para el ensayo de sujeciones, el conocido «dispositivo oscilante de patas de tijera», ha sido reconocido como el único método que refleja el comportamiento real de una sujeción en vía. Es así mismo importante su aportación en la construcción de vías férreas sobre placa de hormigón.

La introducción de la alta velocidad en el ferrocarril y la construcción de túneles de longitudes superiores a los 15 Km (el mayor es el de Seikan,

CUADRO 8. — *Relación de los principales Departamentos de Transportes que se ocupan en Europa de la investigación ferroviaria.*

País	Centro académico	Titular	Línea de investigación principal
Francia.	Escuela Nacional de Puentes y Caminos (París).	J. Alias.	Dimensionamiento de la vía.
Alemania.	Universidad Técnica de Munich.	J. Eisenmann.	Solicitaciones sobre la vía. Nuevos tipos de vía sobre placa de hormigón.
	Universidad Técnica de Hannover.	G. Foss.	Problemas aerodinámicos.
Suiza.	Escuela Politécnica de Lausana.	J. Juillerat.	Análisis automático de la geometría de la vía.
Holanda.	Universidad Técnica de Delft.	A. de Pater.	Dinámica ferroviaria.
Inglaterra.	Universidad de Loughborough.	A. Wickens.	Dinámica ferroviaria.
Austria.	Universidad Técnica de Gratz.	K. Klugar.	Deformabilidad del balasto.
Polonia.	Escuela Politécnica de Varsovia.	H. Baluch.	Conservación de vía.

LA INVESTIGACION FERROVIARIA Y SU RELACION CON LA UNIVERSIDAD

CUADRO 9. — *Estudios ferroviarios más significativos realizados por Universidades europeas.*

País	Universidad	Año	Título del trabajo	Autor	Observaciones
Francia.	Escuela Nacional de Puentes y Caminos.	1972	La evolución de los defectos de nivelación longitudinal en la vía férrea, bajo los efectos de las cargas de tráfico.	Coustry y Tro	Trabajo fin de carrera.
	Escuela Nacional de Puentes y Caminos.	1972	Determinación de los esfuerzos dinámicos en puentes de ferrocarril.	Couvert	Trabajo fin de carrera.
	Escuela Nacional de Puentes y Caminos.	1975	Cálculo por elementos finitos del estado tensional producido por el tráfico en la estructura de la vía.	Liausu y Commun	Trabajo fin de carrera.
	Escuela Nacional de Minas.	1976	Cálculo de tensiones en el carril debidas a fuerzas puntuales aplicadas sobre su superficie.	Dang Van	Tesis doctoral.
	Escuela Nacional de Puentes y Caminos.	1977	Aplicación del método de los elementos finitos al dimensionamiento de las estructuras de asiento de vías férreas.	Balsan y Portier	Trabajo fin de carrera.
Holanda.	Universidad Técnica de Delft.	1967	Acerca del contacto de rodadura de dos cuerpos elásticos en presencia de fricción seca.	Kalker	Tesis doctoral.
	Universidad Técnica de Delft.	1967	Los movimientos aleatorios laterales de los vehículos ferroviarios.	Stassen	Tesis doctoral.
	Universidad Técnica de Delft.	1976	La estabilidad lateral en el movimiento de los vehículos ferroviarios.	Broesen	Tesis doctoral.
Austria.	Universidad Técnica de Gratz.	1974	Contribución a la estabilización del balasto.	Profanter	Tesis doctoral.
Polonia.	Universidad Técnica de Varsovia.	1978	Comparación entre las funciones de transferencia teóricas y prácticas de las máquinas de conservación de vía.	Esveld	Tesis doctoral.
Alemania.	Universidad Técnica de Munich.	1967	Estudios teóricos y experimentales de las tensiones en el interior de la cabeza de carril.	Hanna	Tesis doctoral.
	Universidad Técnica de Munich.	1973	Contribución al estudio teórico y a la comprobación experimental de carriles ferroviarios.	Obserweiler	Tesis doctoral.
	Universidad Técnica de Munich.	1974	Contribución al estudio del comportamiento dinámico de la superestructura ferroviaria con balasto.	Schneider	Tesis doctoral.
	Universidad Técnica de Munich.	1977	Investigaciones experimentales y teóricas sobre la deformación y el esfuerzo de la superestructura sin balasto con velocidades de hasta 250 kilómetros por hora.	Duwe	Tesis doctoral.
	Universidad Técnica de Munich.	1978	La repercusión de la forma de la superestructura y de la carga que sobre ella actúa, en la modificación de la calidad de la vía.	Henn	Tesis doctoral.
Inglaterra.	Universidad Técnica de Hannover.	1971	Resultados de las nuevas investigaciones sobre la resistencia del aire en los vehículos ferroviarios.	Gackenholtz	Tesis doctoral.
	Universidad Técnica de Loughborough.	1973	Estudio de las fuerzas y momentos, con carácter estacionario, sobre un eje montado de ferrocarril.	Brickle	Tesis doctoral.
Suiza.	Escuela Politécnica de Lausana.	1975	Análisis automático y en tiempo real de las medidas del estado geométrico de las vías férreas.	Rivier	Tesis doctoral.

de 53 Km) ha dado lugar a la aparición de problemas aerodinámicos específicos, cuyo tratamiento ha sido llevado a cabo fundamentalmente por la Universidad Técnica de Hannóver, en donde los trabajos de Gackenholtz sobre el tema han alcanzado un gran desarrollo.

En Francia, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, se ha constituido en el centro de estudios teóricos, confirmados posteriormente en la práctica por la SNCF, sobre el dimensionamiento de una vía férrea, más importante de Europa. Fue asimismo notable su aportación, en la década pasada, al conocimiento de los problemas que presenta el carril, continuo soldado, permitiendo como resultado de sus trabajos, determinar el radio mínimo de curva en que se pueden soldar los carriles para evitar su pandeo.

En la Escuela Politécnica de Lausana, los trabajos de investigación se han centrado en el análisis y tratamiento, en tiempo real, del estado de la geometría de la vía, con objeto de obtener criterios que permitan fijar las operaciones necesarias de conservación de la misma. En una línea similar se desarrollan los trabajos del profesor Baluch, en Varsovia, aunque la dificultad del idioma haya limitado, hasta el momento, bastante la difusión de sus estudios, directamente inspirados en la magnífica escuela rusa, cuyo máximo exponente son los profesores Albrecht y Verigo.

Nos referimos, finalmente, a las investigaciones del profesor Klugar, que desde hace tiempo viene tratando de mejorar el conocimiento sobre las leyes que rigen el comportamiento tenso-deformacional del balasto, en la Universidad Técnica de Gratz, de Austria.

Con objeto de poner de manifiesto, en forma explícita, la contribución proporcionada al ferrocarril por las distintas Universidades citadas precedentemente, en el cuadro 9 se recogen algunos de sus trabajos más importantes, parte de los cuales han constituido las tesis doctorales de sus autores.

5. LA INVESTIGACION EN AMERICA

Aun cuando el título de este apartado presenta un carácter general, en la práctica el ámbito de la investigación se reduce a dos países: Estados Unidos y Canadá.

Por lo que se refiere al primero, es preciso indicar brevemente que el ferrocarril constituye un modo de participación reducida, sobre todo en el transporte de viajeros, con una evolución decreciente desde 1944. Con anterioridad a la citada fecha, la curva de demanda tuvo un carácter creciente, coincidiendo ese período con una importante etapa de investigación, especialmente en el campo de la vía, con los conocidos trabajos del profesor Talbot.

Con la recesión del transporte de viajeros, puede decirse que tuvo lugar simultáneamente una fase en la cual la investigación si bien no se interrumpió, tampoco proporcionó logros notables. A partir del año 1970, el Gobierno norteamericano se propuso dar un nuevo impulso al ferrocarril, especialmente en su vertiente de transporte de viajeros, mediante la creación del Amtrak. Esta medida fue acompañada de un importante programa de investigación, contratado en general con Universidades y desarrollado experimentalmente, sobre todo, en el Centro de Investigación de Pueblo (Colorado).

En cuanto al Canadá, el ámbito de los trabajos, de reciente comienzo, se enmarca en la Universidad y en los propios ferrocarriles, habiendo obtenido ya notables resultados en el campo de la vía.

5.1. La investigación en U.S.A.

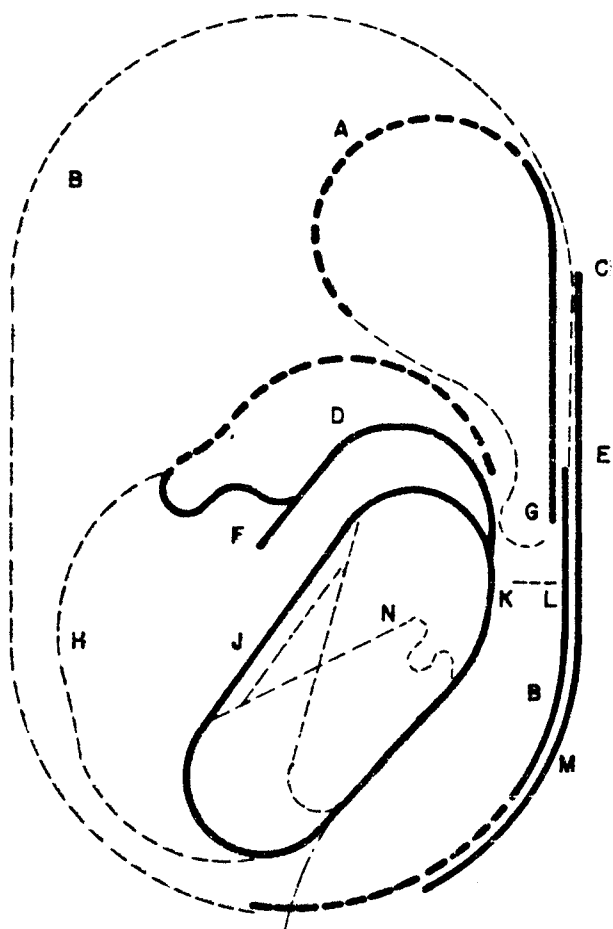
La investigación en materia ferroviaria, prescindiendo de aquellos aspectos que se sitúan más en el ámbito de la Economía de los Transportes, se desarrolla en el marco de los tres organismos siguientes:

- a) Asociación Americana de Ferrocarriles (A.A.R.).
- b) Departamento de Transportes del Gobierno Federal (D.O.T.).
- c) Instituto para el progreso de los ferrocarriles (RPI) que agrupa a los constructores.

Por lo que se refiere al primero, la A.A.R., de la cual forman parte empresas ferroviarias de Canadá, México y Estados Unidos, está llevando a cabo un importante y creciente programa de investigación en los últimos años. Basta considerar para ello que el presupuesto para estudios ha pasado de ser un millón de dólares en 1971 a más de cinco millones en 1977.

La actividad del A.A.R. se efectúa, por un lado, en Washington, y por otro en Chicago, con dos divisiones: investigación y ensayos (35 agentes). Es interesante destacar la creación en 1973 de una División de Estudios del Medio Ambiente, con objeto de analizar problemas como el ruido emitido durante la circulación de los trenes, contaminación producida por la tracción diesel, etc.

En cuanto al Departamento de Transportes, cabe señalar, así mismo, el crecimiento de las inversiones destinadas a investigación, las cuales alcanzaron en 1977 la cifra de 50 millones de dólares. El hecho, sin embargo, más destacado fue la creación, en 1971, del Centro de Ensayos de Pueblo, que dispone de una serie de vías para el estudio del ferrocarril convencional, así como para el desarrollo de sistemas no convencionales (fig. 3).



- A) Vía de ensayo aerotrén suburbano (240 Km/hora).
- B) Vía de ensayo aerotrén interurbano (500 Km/hora).
- C) Hangar del LIMVR (Vehículo experimental con motor lineal).
- D) Vía de ensayo clásica de mercancías.
- E) Hangar del TACRT (Vehículo experimental con colchón de aire).
- F) Vía de ensayo para choque y descarrilamiento.
- G) Hangar vehículos suburbanos.
- H) Vía de ensayo clásica (250 Km/hora).
- J) Vía de ensayo clásica vehículos suburbanos (130 Km/h).
- K) Taller de conservación vehículos suburbanos.
- L) Laboratorio ensayos dinámicos.
- M) Vía de ensayos del LIMVR.
- N) Vía complementaria de ensayo de vehículos suburbanos.

Fig. 3.—Vías de ensayo en el Centro Experimental de Pueblo (Colorado, USA).

En el momento de su apertura, el objetivo principal de la investigación se centraba en el análisis de las grandes velocidades (400 a 500 Km/hora), mediante la aplicación de motores lineales para la propulsión de los vehículos y las técnicas de sustentación por colchón de aire.

Sin embargo, en 1974, el Ministerio de Transportes cambió la dirección de los trabajos de investigación, limitándolos a las técnicas convencionales, es decir, basadas en la adherencia rueda-carril. En esta línea comenzó a desarrollarse, a fi-

nales de 1977, el proyecto FAST (Facility for Accelerated Service Test) que tenía por objeto reproducir, en un año, las condiciones de utilización normal de una vía durante diez años. Se construyó para ello en el ya citado Centro de Pueblo, un circuito de 7,7 Km, comprendiendo 22 secciones de ensayo, cada una de ellas con una combinación diferente de los elementos que forman la vía, con objeto de poner de manifiesto la influencia de factores como: metalurgia de los carriles, configuración y tipo de balasto, tipo de traviesas, etc. Sobre dicha vía se hizo circular un tren formado por cuatro locomotoras y 75 vagones de distintas características, a una velocidad de 70 Km/hora. Las medidas realizadas se analizan e interpretan en la actualidad.

La realización y explotación de este proyecto ha sido apoyado por el FRA (Federal Railroad Administration), diversas compañías particulares de ferrocarriles, la industria ferroviaria, la A.A.R., el R.P.I. y el Ministerio Canadiense de Transportes.

Por lo que se refiere a los trabajos efectuados en el ámbito de las Universidades americanas, en el cuadro 10 se recogen los principales estudios llevados a cabo en la Universidad de Illinois, que constituye el núcleo más importante en el marco de la vía.

5.2. La investigación en Canadá.

No ha sido habitual la presencia en Canadá en la investigación ferroviaria, habiéndose denotado a partir de la presente década una importante contribución en lo que respecta a la deformabilidad vertical de la vía, de forma general, y más específicamente en el establecimiento de criterios para la elección del balasto.

Esta participación se ha debido a los trabajos desarrollados, por un lado, por los propios ferrocarriles canadienses, y por otro, por la Universidad de Queen, cuyos trabajos más notables se recogen en el cuadro 11.

6. LA INVESTIGACION EN JAPON

Si en Europa occidental el núcleo más importante de investigación ferroviaria está constituido por el O.R.E., no cabe duda que en el Extremo Oriente los ferrocarriles japoneses poseen un organismo de investigación que en muchos campos se encuentra en un estado de avance muy superior al existente en aquél.

Este hecho se comprende si se observa el organigrama de la figura 4, sobre la estructura del Instituto Técnico de Investigación Ferroviaria, que posee un total de 36 laboratorios especializados, abarcando prácticamente la totalidad de los campos que afectan al ferrocarril.

LA INVESTIGACION FERROVIARIA Y SU RELACION CON LA UNIVERSIDAD

CUADRO 10.—*Trabajos de investigación ferroviaria llevados a cabo por la Universidad de Illinois.*

Año	Título del trabajo	Autor
1966	Distribución vertical de presiones en el balasto y en la plataforma bajo la acción de cargas estáticas.	Salem
1970	Un modelo de simulación del balasto como elemento soporte y del módulo de elasticidad de la vía.	Lundgren
1976	Influencia de distintos factores en el comportamiento del balasto bajo cargas repetidas.	Knutson
1976	Consideraciones en el análisis de los sistemas convencionales de soporte de una vía férrea.	Tarabji

Cada uno de estos trabajos constituyeron la tesis doctoral de su autor.

CUADRO 11.—*Trabajos de investigación ferroviaria realizados en la Universidad de Queen.*

Año	Título del trabajo	Autor
1974	Ensayos del comportamiento del balasto de una vía férrea bajo la acción de cargas verticales repetidas.	Wong
1975	Resistencia y deformación del balasto de una vía férrea bajo la acción de cargas triaxiales.	Olowekere

A título indicativo pueden destacarse algunos de los problemas en los que los JNR fueron o son pioneros. Tal sucede con el análisis de las resistencias que se oponen al avance de un vehículo ferroviario en el interior de los túneles, gracias a los trabajos ya ciertamente lejanos de Hara (1962). En el momento actual, sus estudios sobre la levitación magnética, con objeto de poner a punto vehículos destinados a circular a más de 400 Km/hora, constituyen una vanguardia que no encuentra paralelismo en ninguna otra red ferroviaria.

Por lo que se refiere a sus posibilidades, en el cuadro 12 se muestran las instalaciones y equipos con que cuentan para la realización experimental de la investigación.

RELACIONES DEL INSTITUTO TECNICO DE INVESTIGACION FERROVIARIA DEL JAPON CON EL RESTO DE LA RED

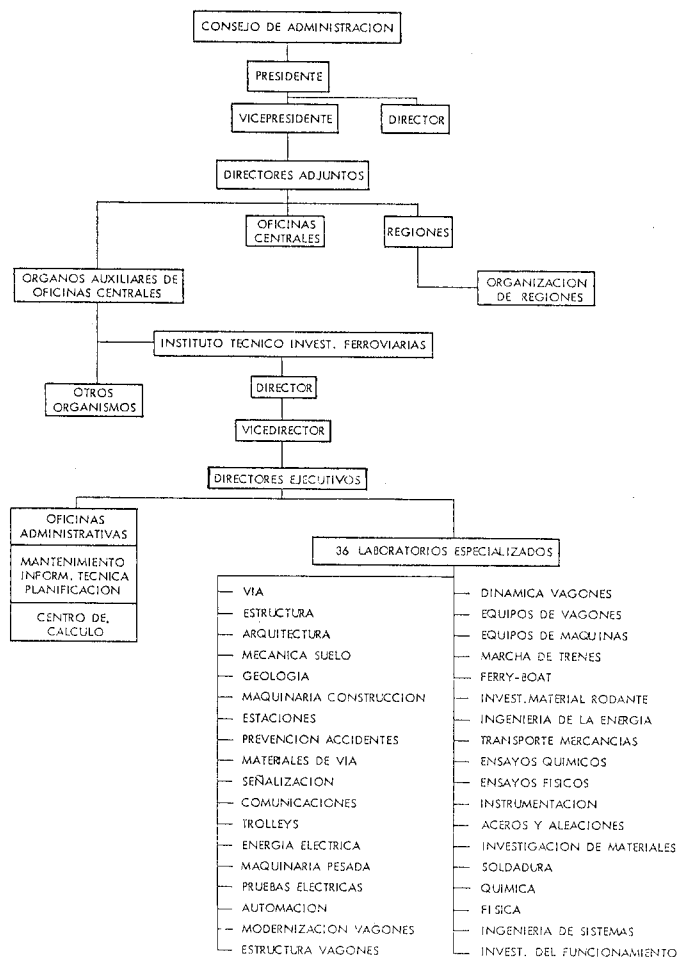


Figura 4.

7. LA INVESTIGACION EN LA ESCUELA DE INGENIEROS DE CAMINOS DE BARCELONA

Como se sabe, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de Barcelona es de reciente creación. Apenas ocho años de funcionamiento que para las asignaturas de quinto curso, como es el caso de «Ferrocarriles» se reduce a tres años.

En tan limitado período de tiempo se comprende que las múltiples facetas que constituyen la actividad de una Cátedra no hayan hecho más que iniciar el necesario camino de rodaje.

En el ámbito concreto de la investigación, que constituye el objeto de este artículo, dos son los aspectos que la caracterizan y enmarcan: el primero, la línea o líneas de trabajo; el segundo, los medios tanto físicos como humanos con que cuenta para su realización. En realidad, ambos aspectos

LA INVESTIGACION FERROVIARIA Y SU RELACION CON LA UNIVERSIDAD

CUADRO 12. — *Instalaciones y equipos de los ferrocarriles japoneses.*

Elemento	Tipo de ensayos	Características
Emparrillado de la vía.	Determinación del comportamiento de la vía bajo cargas verticales.	Vibrador: Esfuerzo máximo: 110 KN. Frecuencia: 12-33 Hz.
Estabilidad de terraplenes.	Ensayo de vibraciones en un contenedor.	Dimensiones del contenedor: Longitud: 10 metros. Anchura: 2 metros. Altura: 3 metros. Vibrador: Amplitud: 30 mm; aceleración: 0,4 g. Frecuencia sinusoidal: 0 a 20 Hz.
Carril.	Esfuerzo vertical sobre el carril aplicado por una rueda.	Carga variable de 200 a 500 KN.
Sujeción.	Esfuerzos verticales y transversales.	Esfuerzo estático: 150 KN. Esfuerzo dinámico: 100 KN. Frecuencia: 0 a 17 Hz.
Suspensión de vehículos.	Estabilidad del vehículo.	Velocidad máxima: Vehículos a ejes: 350 Km/hora. Vehículos a bogies: 250 Km/hora.
Cajas de grasa.	Esfuerzos verticales y horizontales.	Magnitudes diversas.
Motor lineal.	Funcionamiento.	Ensayos en laboratorio y en vía.

CUADRO 13. — *Principales estudios efectuados por la Cátedra de Ferrocarriles de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona (1977-79).*

Orden	T I T U L O
1	El tráfico como criterio de diseño y de modificación de la geometría de una vía férrea.
2	La estructura de una vía férrea y su relación con la magnitud de las cargas por eje.
3	Variación con el tráfico de las tensiones en la plataforma de la vía.
4	Influencia de la modificación de las condiciones de apoyo de una traviesa en las solicitaciones que sobre ella actúan.
5	El comportamiento aleatorio del balasto y su incidencia en el deterioro de una vía férrea.
6	La interacción vía-vehículo en los puentes ferroviarios de hormigón.
7	Influencia de la variación longitudinal de la rigidez vertical de una vía férrea en las acciones del tráfico.
8	Contribución al conocimiento del mecanismo de degradación de una vía.

están directamente relacionados o de forma más precisa el segundo condiciona el primero.

Por lo que se refiere a los medios físicos cabe señalar, por un lado, la insuficiencia de los recursos económicos que disponen, en general, las Escuelas y por otro, las particulares características de la investigación ferroviaria, las cuales obligan a costosos equipos.

En este contexto se justifica que, en el momento actual, no se disponga en la Escuela de Laboratorio de Ferrocarriles (situación en la que se en-

cuentra también la Escuela de Madrid de mayor antigüedad) al haber dedicado la atención principal a aquellos laboratorios cuya existencia resulta casi obligada para impartir la correspondiente disciplina.

Se comprende entonces que la investigación desarrollada en el ámbito de la Cátedra de Ferrocarriles haya tenido un enfoque teórico. En este marco, hemos tratado de que el alumno encontrase una forma de identificación más directa con la asignatura, contribuyendo, en el ámbito de sus posibilidades, a la solución parcial de algunos de los as-

pectos de aquellos problemas que afectan a:

1. Diseño estructural y características constructivas de una vía férrea.
2. Evolución de la calidad geométrica de la vía bajo la acción del tráfico.

Con relación al diseño, se han llevado a cabo, creemos que los primeros estudios, sobre la influencia de la heterogeneidad resistente del apoyo del emparillado de la vía en la modificación de los principios hasta ahora considerados como básicos en la construcción de aquélla.

Por lo que se refiere al deterioro que experimenta la geometría de una línea por las solicitaciones del material ferroviario, se ha considerado la incidencia de la variación, longitudinal de la rigidez de la vía en la velocidad de degradación, incluyendo el caso de los puentes de hormigón, por la discontinuidad que suponen.

A título indicativo, en el cuadro 13 se recogen algunos de los estudios realizados, los cuales han sido o serán objeto de las correspondientes publicaciones técnicas. La información de las líneas de investigación seguidas se completa con una breve exposición de los principales aspectos contenidos en dichos trabajos.

1. *«El tráfico como criterio de diseño y de modificación de la geometría de una vía férrea».*

El estudio comprende tres partes bien diferenciadas: En la primera, se revisan los criterios actualmente en vigor en las principales Administraciones ferroviarias para la consideración del tráfico en el diseño de la vía. El análisis crítico de los mismos permite poner de manifiesto la insuficiencia de los citados criterios. Como consecuencia, se propone un nuevo método basado en la consideración explícita del espectro de cargas realmente existente en una vía férrea.

La segunda parte consiste en un análisis teórico sobre la influencia de los parámetros de la estructura de la vía en la evolución de su geometría con el tráfico, el cual se compara con los resultados experimentales disponibles, mostrando una buena concordancia.

Finalmente, en la tercera parte, se analiza el fenómeno de los movimientos laterales de la capa de balasto, cuyo conocimiento permitirá reducir los gastos de conservación.

2. *«La estructura de una vía férrea y su relación con la magnitud de las cargas por eje».*

Se establece en función de la magnitud de las cargas por eje y del volumen total de tráfico que soporta una línea, la estructura de vía que debería adoptarse.

De forma gráfica se establece la relación que

debe existir entre la capacidad portante de la plataforma, el espesor de balasto, la separación entre traviesas y las características de éstas en cuanto a su área de apoyo se refiere.

El método se aplica al dimensionamiento de distintas líneas españolas.

3. *«Variación con el tráfico de las tensiones en la plataforma de la vía».*

La capa de balasto en el momento de su colocación en la vía se ve sometida a un proceso de compactación por la actuación de las máquinas de bateo.

Posteriormente, el tráfico que circula por la línea modifica la estructura inicial del balasto, de tal forma que en términos de densidad, evoluciona desde un valor inicial medio de $1,5 \text{ Tm/m}^3$ hasta $1,9 \text{ Tm}$ por metro cúbico cuando la vía ha soportado un determinado tonelaje.

Como consecuencia de esta evolución las tensiones en la plataforma de la vía se ven modificadas. Su determinación es el objeto de este estudio, el cual puso de manifiesto que después de veintidós meses de puesta en servicio (para un tráfico de tipo medio) tiene lugar una reducción tensional del orden del 20 por 100. Se deduce como conclusión la posibilidad de permitir entonces la circulación de vehículos más pesados.

4. *«Influencia de la modificación de las condiciones de apoyo de una traviesa en las solicitaciones que sobre ella actúan».*

El apoyo de las traviesas experimenta sensibles modificaciones, tanto en sus características resistentes como en los puntos en que ofrece el soporte a aquéllas; sin embargo, su dimensionamiento se efectúa en base a suponer una reacción concreta de la capa de balasto.

En este sentido el estudio realizado tenía por objeto analizar la influencia en los esfuerzos que actúan sobre la traviesa con las diferentes condiciones de apoyo.

Se consideran además como factores variables, la longitud de las traviesas y su módulo de elasticidad (traviesas de madera y hormigón). Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la limitación de los criterios actuales de diseño de traviesas.

5. *«El comportamiento aleatorio del balasto y su incidencia en el deterioro de una vía férrea».*

De una manera general para todas las Administraciones el cálculo de los estados tenso-deformationales producidos por el tráfico, se efectúa en base a los resultados clásicos de la teoría de la elasticidad.

Sin embargo, las hipótesis en que están obtenidos dichos resultados, isotropía y homogeneidad, no pueden admitirse en la capa de balasto, debido

a la propia configuración de la estructura ferroviaria, la cual presenta un carácter heterogéneo.

El objeto de estudio fue la inclusión en los cálculos del citado carácter, a través de la variación del módulo de elasticidad del balasto según fuese la zona de la sección transversal de la vía que se considerase.

Además se supuso, para cada zona, que el módulo de elasticidad del balasto podía ajustarse a una ley de distribución normal.

Los resultados obtenidos en términos de presión máxima sobre la superficie de la capa de balasto, ponen de manifiesto variaciones de ésta de hasta un 17 por 100 con relación al valor medio considerado habitualmente, lo cual permite justificar, en parte, ciertas discrepancias hasta ahora no explicadas satisfactoriamente, sobre el distinto ritmo de deterioro de dos vías con características estructurales e infraestructurales análogas.

6. «La interacción vía-vehículo en los puentes ferroviarios de hormigón».

Con criterio general, el diseño de la vía en un puente se efectúa de forma análoga a como tiene lugar en plataformas constituidas por suelos naturales, sin tener en cuenta el diferente grado de rigidez que cada infraestructura confiere a la estructura de la vía.

Este hecho trae como consecuencia que el deterioro de la calidad geométrica de la vía se produzca rápidamente en los tramos con obras de fábrica de hormigón, al superarse ampliamente la capacidad resistente de la capa de balasto.

El trabajo realizado mediante la consideración conjunta y simultánea de las características de la vía y el vehículo establece los nuevos criterios por los que debería efectuarse el diseño de la vía en los puentes.

7. «Influencia de la variación longitudinal de la rigidez vertical de una vía férrea en las acciones del tráfico».

El método de Zimmermann constituye la forma usual de evaluar las sollicitaciones que se desarrollan en los componentes de la vía. Dicho método, basado en la teoría de la viga flotante, considera que el sistema balasto-plataforma proporciona un soporte de rigidez constante.

Sin embargo, la experiencia práctica pone de manifiesto que la citada rigidez varía de una traviesa a otra, incluso en magnitud superior al 50 por 100.

El estudio efectuado tenía como fin, apoyándose en datos experimentales, evaluar las sobrecargas debidas a la variación longitudinal de la rigidez vertical de la vía. Se supuso para ello que cada traviesa proporcionaba un soporte de rigidez variable con relación a las contiguas.

Los resultados obtenidos han permitido establecer una recomendación sobre la variación máxima de rigidez vertical que debe admitirse entre dos traviesas consecutivas, si se desea reducir la velocidad de evolución de la nivelación longitudinal de la vía.

8. «Contribución al conocimiento del mecanismo de degradación de una vía».

En base al estado actual de conocimientos sobre la deformabilidad de los componentes de la vía, se establece una teoría sobre el mecanismo de su degradación.

Se aportan, así mismo nuevos datos sobre la evolución del asiento de la vía, considerado como criterio de deterioro; en particular, el comportamiento bajo cargas cíclicas del balasto, el cual experimenta después de aproximadamente $1,6 \times 10^6$ aplicaciones de carga una variación importante en su estructura dado que la velocidad de degradación se incrementa del orden de tres veces con relación a la correspondiente hasta dicho número de ciclos.

8. BIBLIOGRAFIA

- METAUD, D.: "Visite au centre d'essais de Pueblo". La vie du rail, Février 1979.
- SCHAUSBERGER, H.: "La estación de ensayos de Viena-Arsenal". A.I.T., agosto 1977.
- LUBKE, D., et al.: "Ein Rollprufstand zur Erforschung der Rad/Schiene Technik (Banco para ensayos de rodadura permitiendo un análisis profundo de la técnica rueda-carril)". Glasers. Annalen, núm. 10, 1976.
- ALTHAMMER, K.: "German ministry roller test plant at Munich". IMechE, September-October 1977.
- Centro Técnico Ferroviario de Derby, Vía Libre, febrero 1978.
- DEMPSEY, W. H.: "D'avantage de credits pour la recherche et le developpement dans l'industrie ferroviaire des Etats-Unis". Rail International, Novembre 1977.
- MALINA, I.: "La recherche ferroviaire tchecoslovaque et son apport au developpement de la collaboration internationale des chemins de fer". Rail International, Mars 1979.
- SRINIVASAN, M.: "La recherche et le developpement dans les chemins de fer". Rail International, Juin 1973.
- KRZEMIENIECKI, A.: "La recherche dans les chemins de fer". Bulletin de l'A.I. du Congrès des Chemins de Fer, Janvier 1966.
- OLIVEROS, F.: "Investigación ferroviaria". Boletín núm. 247 de la A.C.P.F., enero-marzo 1977.
- SAUVAGE, G., et DOREAU, R.: "Dix ans d'exploitation du banc d'essai dynamique des suspensions". Revue Générale des Chemins de Fer, Mai 1978.
- "Un banc d'essais destiné à l'étude approfondie du contact roue-rail". La vie du rail, núm. 1620, 1977.
- "Informations nouvelles sur le Centre de Pueblo (Colorado, U.S.A.)". Revue Générale des Chemins de Fer, Juillet-Aout 1974.
- KARETNIKOV, A. D.: "A welcome to Shcherbinka". Railway Gazette International, July 1977.
- "Fast will test track components and rolling stock heavy loads". Railway Gazette International, October 1976.