

# Alta Velocidad Ferroviaria en California (USA): Cuarta Parte (IV) Fresno–Sacramento (Roseville)

## High Speed Railway in California (USA): Fourth Part (IV) Fresno–Sacramento (Roseville)

MANUEL DÍAZ DEL RIO JÁUDENES (\*), LUIS FORT LÓPEZ–TELLO (\*\*), y CARMEN FORT SANTA–MARÍA (\*\*\*)

**RESUMEN** El presente artículo, es la cuarta parte de la serie “Alta Velocidad Ferroviaria en California (CHSR)”. Recoge la Alternativa “Stockton Arch”, que el Proyecto FARWEST presenta a la prevista por la Authority (CHSRA), para la Línea HSR Fresno–Sacramento, en programación y en trazado. Éste discurre, desde la gran Terminal de Fresno (implantada en las afueras al suroeste de la ciudad) por el segmento sur del “mar interior” (que en el Terciario Superior ocupaba el actual Valle Central), hasta Stockton, y por el segmento norte, hasta Sacramento. El Paet de Ripperdan ( $\approx$  pK 40) queda conectado por carretera con el PAET de Oroloma de la Línea HSR Fresno–San Francisco (Golden Gate Alternative). La última parte del trazado de la Línea HSR Fresno–Sacramento (Stockton Arch Alternative), coincide en alineación y rasante con la Línea HSR San Francisco–Sacramento (Crossing Bay Alternative) a la altura de Roseville, donde se emplaza la gran terminal norte de la red de California, desde la que se unirá ésta con la de Nevada, por Reno..

**ABSTRACT** *This article forms the fourth part of the series entitled “High Speed Railway in California (CHSR)”. It addresses the “Stockton Arch” alternative, which the FARWEST Project presents in scheduling and in alignment as to that provided for by the Authority (CHSRA) for the Fresno–Sacramento HSR Line. The latter runs from the grand Fresno Terminal (located in the outskirts to the southwest of the city) through the south segment of the “inland sea” (which occupied the current Central Valley in the Upper Tertiary) to Stockton and through the north segment to Sacramento. The Ripperdan TSAP (post of passing and stabling trains),  $\approx$  kilometer point 40, connects with the Oroloma TSAP of the Fresno–San Francisco HSR Line (Golden Gate Alternative) by road. The last part of the Fresno–Sacramento HSR Line alignment (Stockton Arch Alternative), coincides in alignment and grade with the San Francisco–Sacramento HSR Line (Crossing Bay Alternative) at Roseville, where the great north terminal of the California network is located, from which the latter will be linked with Nevada’s network through Reno.*

**Palabras clave:** Alta Velocidad, California, Grandes túneles urbanos, Grandes viaductos.

**Keywords:** High Speed, California, Large urban tunnels, Large viaducts.

(\*) Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ex Director de Infraestructuras, de Planificación, y de Operaciones Internacionales de Renfe. Ex Presidente de la Commission “Tunnels”, Union Internationale des Chemins de Fer (UIC). Paris. Catedrático Jubilado de la UPM. Professor “at large” Berkeley Univ. (Institute for Transportation Studies). California. Jury au Doctorat. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse). E-mail: mdrio@telefonica.net

(\*\*) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dr. Ingeniero Agrónomo. Ministerio de Fomento. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Laboratorio de Geotecnia. Profesor Titular excedente de la UPM. E-mail: lfort@ciccp.es

(\*\*\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DEA en Ingeniería del Terreno. Eptisa, S.I. División de Infraestructura del Transporte. Madrid. E-mail: cfort@eptisa.com

## 1. INTRODUCCIÓN

La línea de alta velocidad Fresno-Sacramento de la CHSR en el Proyecto FARWEST se presenta como "Stockton Arch Alternative" a la prevista por la CHSRA (Authority) cuya primera parte (tramo Fresno-Merced) parece decidida la Authority a que sirva de punto de partida de la red, haciéndolo así, junto con el tramo Fresno-Bakersfield, de forma que se constituya el Central Valley como columna vertebral de la misma. Del Central Valley, a la altura de Chowchilla partirá la conexión con el área de la Bahía, produciéndose entonces, cuando esta conexión esté terminada, la entrada en operación, según la previsión de la Authority, de la red.

El proyecto Farwest, como ya se indicó en la parte I de esta serie de artículos, se plantea para adelantar la operatividad de la fase inicial de la red, haciéndola comercialmente viable, mediante el aplazamiento de la construcción del tramo Fresno-Merced, desde la fase inicial programada por la CHSRA, hasta que estén construidas las líneas Fresno-San Francisco y Fresno-Los Ángeles, llevándose a cabo entonces, como se describe a continuación, la construcción de la tercera gran línea de la red, que desde la terminal de Fresno comunique el Central Valley con la capital del Estado, Sacramento. Tiene una longitud de 290 Km (180,2 mile) y un presupuesto de 3.786M\$.

## 2. TRAYECTO FRESNO-MERCED

Este trayecto programado por la Authority como Section II del Initial Central Valley Project, según puede verse en la Tabla 1, tiene, según el diseño previsto en el Proyecto Farwest, formando parte de la "Stockton Arch Alternative", una longitud de 99 Km (61,5 mile), con un presupuesto de 853 M\$, todo él a cielo abierto, sin especiales dificultades constructivas.

## 1. INTRODUCTION

The CHSR's Fresno-Sacramento High Speed line in the FARWEST Project is presented as the "Stockton Arch Alternative" to that planned by the CHSRA (Authority), the first part of which (Fresno-Merced section) the authority seems to have decided will act as the network's starting point, thus, together with the Fresno-Bakersfield section, turning the Central Valley into its backbone. The Bay area connection will start from the Central Valley at Chowchilla and then, the network will come into service, when this connection has concluded, according to the Authority's provision.

As pointed out in part I of this series of articles, the Farwest Project is proposed in order to bring the network's initial phase into operation sooner, making it commercially viable, by postponing the construction of the Fresno-Merced section, from the initial CHSRA scheduled phase until the Fresno-San Francisco and Fresno-Los Angeles lines have been built, after which, as described below, the third long line on the network will be constructed and will connect the Central Valley to the State capital, Sacramento, from the Fresno terminal. It has 180,2 mile (290 km) length and construction budget of 3.786 M\$.

## 2. FRESNO-MERCED ALIGNMENT

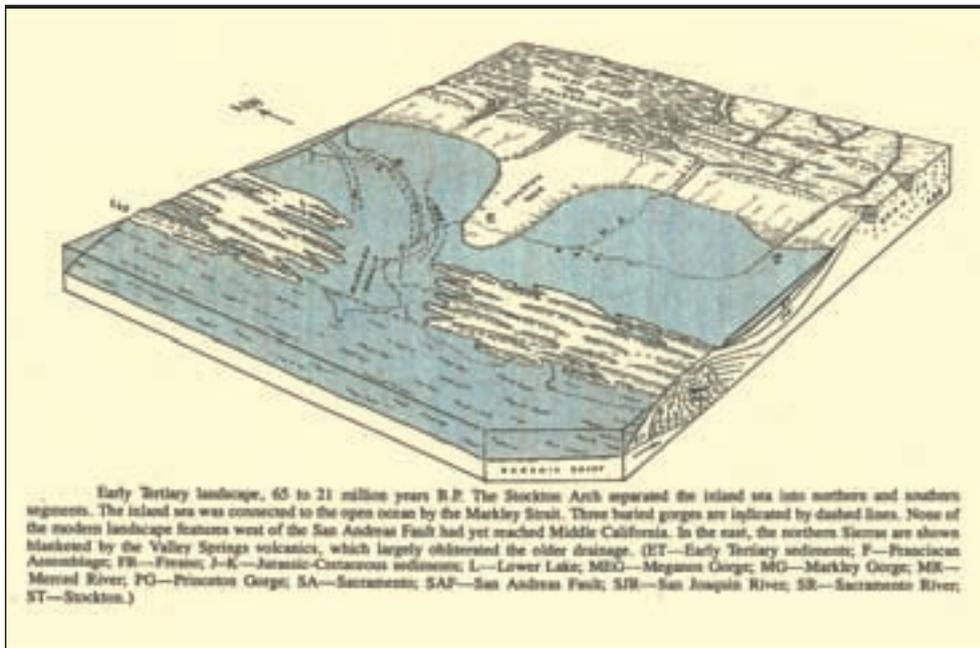
Scheduled by the Authority as Section II of the Initial Central Valley Project, as can be seen in Table 1, this alignment is 99 Km (61.5 miles) long according to the design provided in the Farwest Project, forming part of the "Stockton Arch Alternative". It is budgeted at 853 M\$, runs completely in the open and hasn't particular construction difficulties.

Phase	Project	Section	Length (km)	Earth Moving (included tunnelling) (Mm <sup>2</sup> )	Estimated Cost (M\$)	Journey time (h.m)
I	Initial Central Valley	I Fresno-Bakersfield	157	43,82	1.889	0,29
		II Fresno-Merced	99	7,94	853	0,19
	Connection Bay Area	III Fresno-San José	222	39,46	4.938	0,46
	Connection Los Angeles Basin	IV Bakersfield-Los Angeles Airport	166	39,20	6.458	1,00
	Extension to San Francisco Airport	V San José-San Francisco Airport	52	6,50	2.027	0,13
	Extension to Anaheim	VI Los Angeles Airport-Anaheim	62	8,65	2.177	0,12
	<b>TOTAL PHASE I: San Francisco Airport-Anaheim</b>			<b>758</b>	<b>145,57</b>	<b>18.342</b>
II	Extension to Sacramento Airport	VII Merced-Sacramento Airport	191	31,66	2.933	0,36
	Extension to San Diego Airport &	VIIIa Anaheim-San Diego Airport	117	26,48	4.666	0,30
	Inland Empire	VIIIb Branch line to Riverside	55	7,54	1.969	0,14
	<b>TOTAL PHASE II: Ampliation system to Sacramento &amp; San Diego</b>			<b>363</b>	<b>65,68</b>	<b>9.568</b>
III	Bay Crossing	IX San Francisco Airport -Vallejo	57	3,67	4.291	0,14
	Completion system to Sacramento	X Vallejo-Sacramento Airport	110	56,59	2.619	0,22
	<b>TOTAL PHASE III: Closing system through San Fco. Bay</b>			<b>167</b>	<b>60,26</b>	<b>6.910</b>
<b>TOTAL</b>	<b>SYSTEM</b>		<b>1.288</b>	<b>271,51</b>	<b>34.820</b>	

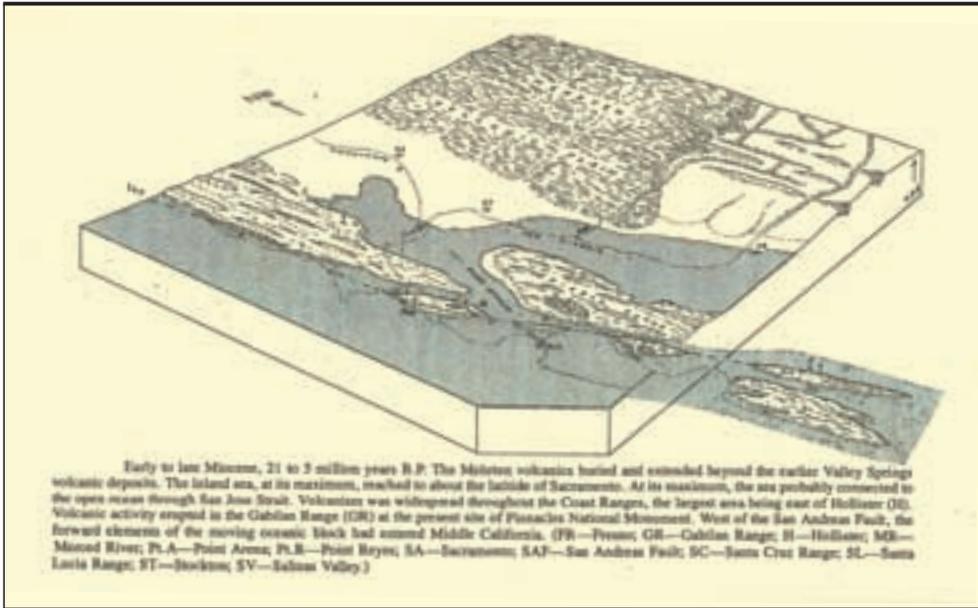
TABLA/E 1. Trayecto Fresno-Merced (según Proyecto FARWEST) / Section Fresno-Merced (according to FARWEST Project).



FIGURA/E 1. "Stockton Arch Alternative" (formando parte del Proyecto Farwest) / "Stockton Arch Alternative" (part of Farwest Project).



FIGURA/E 2. Stockton Arch Alternative (Fuente: "Geologic History of Middle California" by Arthur D. Howard) / Stockton Arch Alternative (From: "Geologic History of Middle California" by Arthur D. Howard).



**FIGURA/E 3.** El Estrecho de San José en el Mioceno (Fuente: "Geologic History of Middle California" by Arthur D. Howard) / San José pass in the Miocene (From: "Geologic History of Middle California" by Arthur D. Howard).

El nombre de esta alternativa pretende identificar la ruta hacia Sacramento, al Este de la actual Bahía de San Francisco, atravesando el Arco de Stockton, que en el Terciario Superior separaba el mar interior en segmento norte (área de Sacramento) y segmento sur (área de Merced y Fresno), quedando conectado con el Océano Pacífico en esa época por el Estrecho de Markley (Figura 2) y más tarde en el Mioceno, a través del Estrecho de San José. El segmento norte del mar interior quedó posteriormente cubierto de sedimentos y el segmento sur inundando lo que después serían los valles del Merced River y de San Joaquín River en el actual Central Valley (Figura 3).

La otra ruta a Sacramento, desde San Francisco, cruzando la Bahía, que se describirá en un próximo artículo, está programada en la Fase II del Proyecto FARWEST de la CHSR, pero no la contempla la red prevista por la Authority (CHSRA) en ningún momento, lo que pone en evidencia un desajuste de ésta con la red global de alta velocidad de Estados Unidos USHSR Network (Figura 4).

Para la explotación del trayecto Fresno-Merced, se prevé la implantación de un PAET (Puesto de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes) intermedio entre las dos estaciones, próximo a la localidad de Ripperdan (pk ≈ 40), de 2,3 Km de longitud, en terraplén de 2 m de altura (Figura 5A), con acceso desde la carretera local a Firebaugh, por la que se puede comunicar también con el PAET de Oroloma en la LAV Fresno-San Francisco (Alternativa Golden Gate) y desde la carretera estatal secundaria 145 a Madera en la Hwy 99 a Fresno y Sacramento. La carretera 145 (Figura 5B), también comunica este PAET con el PAET de Kerman de la LAV Fresno-San Francisco.

Antes de llegar al PAET de Ripperdan, el trazado cruza el río San Joaquín, con un gran viaducto de 1.200 m de longitud con un arco de tablero superior de 200 m de luz, ajustándose al terreno con una alternancia de tramos en pendiente y en rampa de pequeña magnitud, hasta el citado PAET de Ripperdan. A la salida del PAET y hasta la estación HSR de Merced, la rasante en ligera pendiente del 0,05%, cruza con estructuras menores, puentes sobre los ríos afluentes por la derecha del San Joaquín River, Fresno River, Chowchilla River y pasos bajo varias carreteras locales, la Hwy 152 (de Chowchilla a Gilroy) y la secundaria estatal 59 de Merced a

*This alternative's name intends identifying the route to Sacramento, to the East of the current San Francisco Bay, crossing the Stockton Arc which, in the Upper Tertiary, separated the inland sea into the north segment (Sacramento area) and the south segment (Merced and Fresno area), and was connected to the Pacific Ocean at that time by the Strait of Markley (Figure 2) and later, in the Miocene, through the Strait of San José. The inland sea's north segment was subsequently sediment covered and the south segment flooded what would later become the Merced River and San Joaquín River Valleys in the current Central Valley (Figure 3).*

*The other route to Sacramento, from San Francisco crossing the Bay, which will be described in a forthcoming article, is scheduled in Phase II of the CHSRs' FARWEST Project, but is not addressed at any time at all by the network provided for by the Authority (CHSRA), which proves that the latter is out of step with the overall United States High Speed (USHSR) Network (Figure 4).*

*An intermediate TSAP (Post of Passing and Stabling Trains) is planned to be built for the Fresno-Merced alignment's operation, between the two stations, close to Ripperdan (p.k. ≈ 40), 2.3 Km long, on a 2 m high embankment (Figure 5A), accessible from the local highways to Firebaugh and, therefore, connection can also be made with the Oroloma TSAP on the Fresno-San Francisco HSL (Golden Gate Alternative) and from the secondary State highway 145 to Madera on the Fresno and Sacramento Hwy 99. Highway 145 (Figure 5B), also connects this TSAP with the Kerman TSAP of the Fresno-San Francisco HSL.*

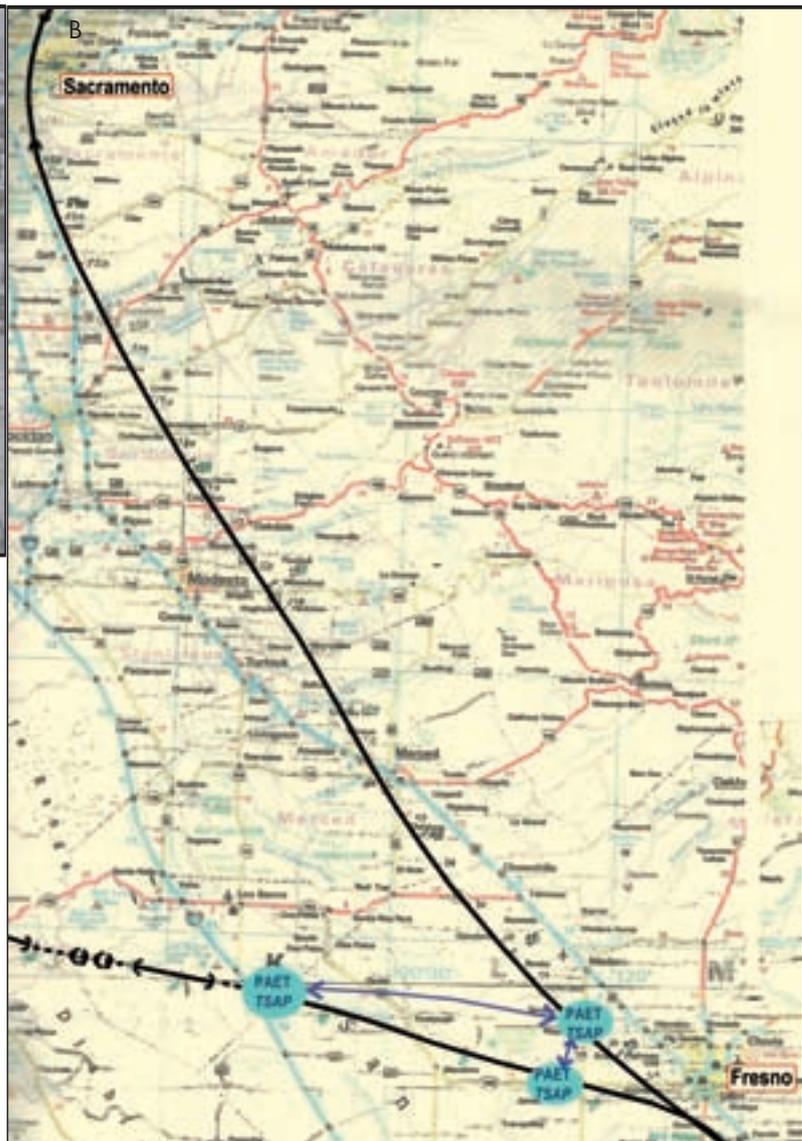
*Before arriving at the Ripperdan TSAP, the alignment crosses the San Joaquín river via a large, 1.200 m long viaduct (upper deck) of more than 200 m span, adapting to the ground with alternating sloping and small ramp sections up to the said Ripperdan TSAP. At the TSAP's exit, up to the Merced HSR station, the grade crosses, in a slight slope of 0.05%, via minor structures, bridges over tributary rivers on the right of the San Joaquín River, Fresno River, Chowchilla River and overpasses under several local roads, Hwy 152 (from Chowchilla to Gilroy) and the secondary State 59 from Merced to Rod Top on the 152.*



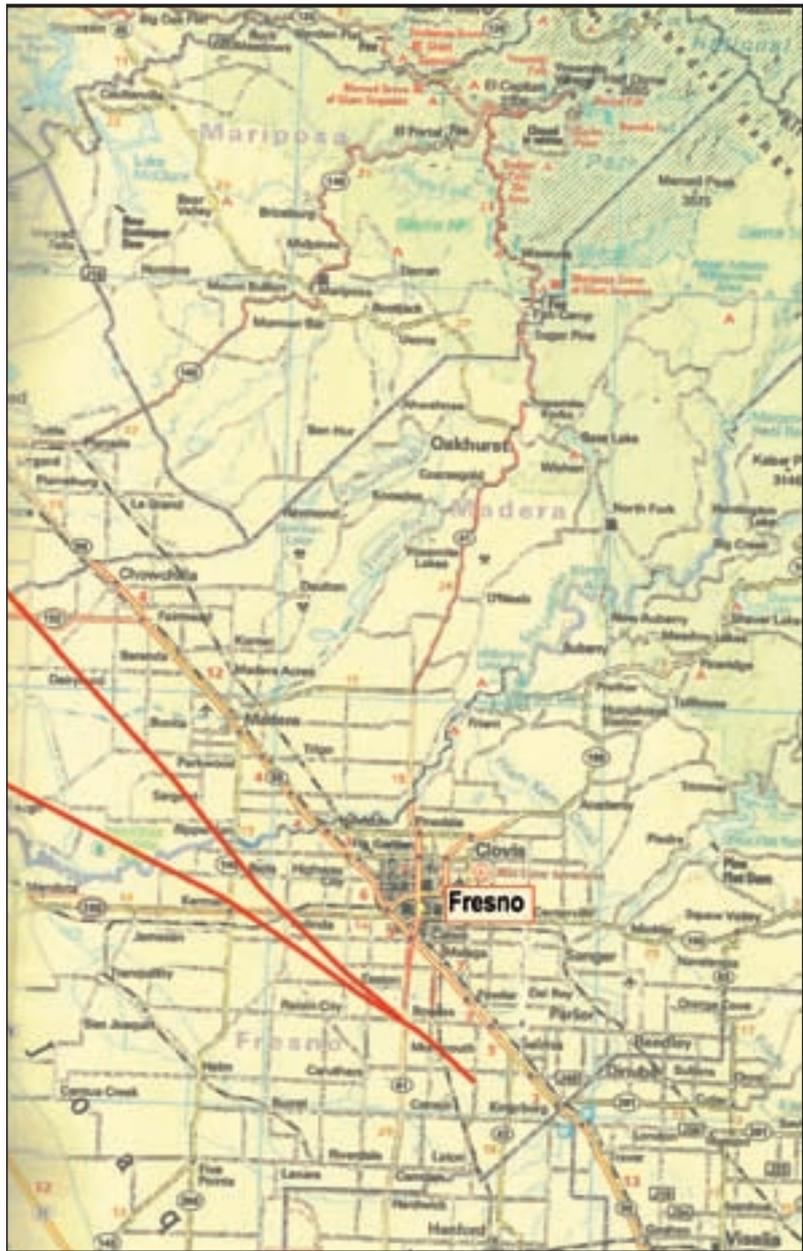
FIGURA/E 4. Línea San Francisco-Sacramento, cruzando la Bahía, prevista en la red de alta velocidad de Estados Unidos / San Francisco-Sacramento Line, crossing the Bay, foreseen in the USHSR.



FIGURA/E 5A. PAET Tipo (Fuente ROP N° 3.388, Junio 1999). Línea Madrid Sevilla / TSAP type (Source ROP N° 3.388, June 1999) Madrid-Sevilla line.



FIGURA/E 5B. PAETs interconectados. Líneas desde Fresno a Sacramento y a San Francisco / Interconnected TSAP. Lines from Fresno to Sacramento and to San Francisco.



FIGURA/E 6. Cruce HSRL Fresno-Sacramento con varias carreteras / HSRL Fresno-Sacramento crossing with several Roads.

Rod Top en la 152. Entre Fresno y el PAET de Ripperdan el trazado cruza igualmente varias carreteras locales y la secundaria 180 de Fresno a Mendota (Figura 6).

### 3. TRAYECTO MERCED-SACRAMENTO

De Merced a Sacramento se proyectan cuatro PAETs intermedios: Turlock-Ballico (pk≈126), Modesto (con edificación y vías de apartadero de más entidad por su función de estación intermedia para trenes lanzadera Fresno-Sacramento) (pk≈143), Stockton-Linden (pk≈196) y Elk Grove (pk≈242). La longitud de este trayecto es de 191 Km (118,7 mile) y su presupuesto de 2.933 M\$.

Este trayecto, con rasante de características análogas al anterior, rampas y pendientes de pequeña a mediana magnitud. Las cotas de las estaciones de Fresno (82 m), Merced (45 m), Modesto (44,5 m) y Sacramento (33,9 m) y la no existencia de

*The alignment crosses several local roads and the secondary 180 from Fresno to Mendota (Figure 6) between Fresno and the Ripperdan TSAP.*

### 3. MERCED-SACRAMENTO ALIGNMENT

*Four intermediate TSAPs are planned from Merced to Sacramento: Turlock-Ballico (p.k. ≈126), Modesto (with buildings and siding tracks of greater importance for their working as an intermediate station for Fresno-Sacramento shuttle trains) (p.k.≈143), Stockton-Linden (p.k.≈196) and Elk Grove (p.k.≈242). This section is 118,7 mile (191 Km) length and its construction budget 2.933 M\$.*

*This alignment has a grade similar in characteristics to the foregoing, small to medium sized ramps and gradients. The altitudes of the Fresno (82 m), Merced (45 m), Modesto (44.5 m) and Sacramento (33.9 m) stations and the non ex-*



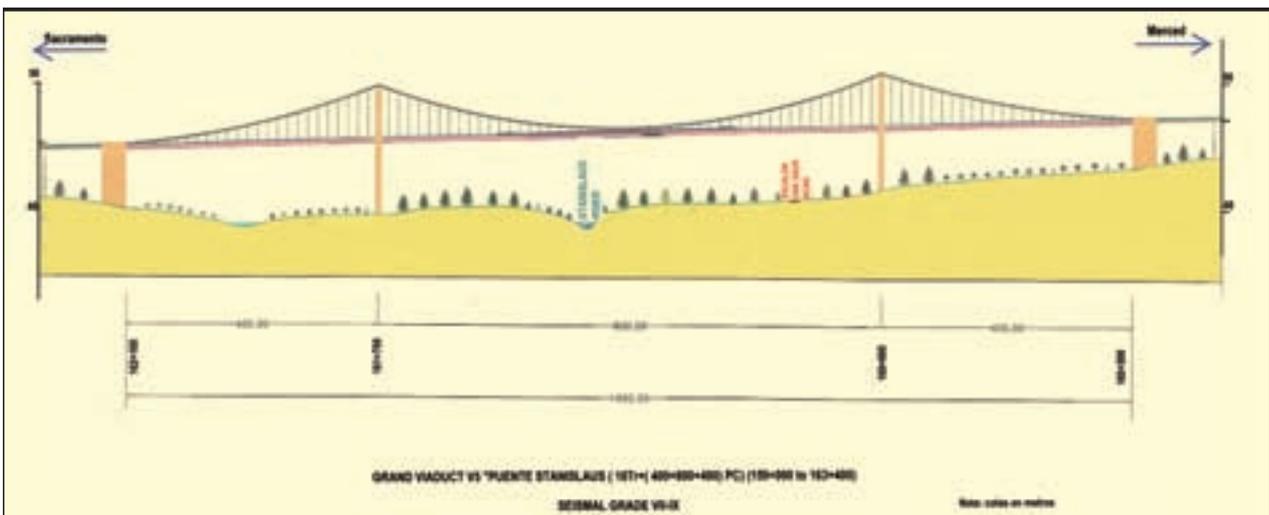
**FIGURA/E 7.** Afluentes de las cuencas de los Ríos San Joaquín y Sacramento (Fuente: "Geologic History of Middle California" by Arthur D. Howard) / Tributary rivers of the basin of San Joaquin River and Sacramento River (From: "Geologic History of Middle California" by Arthur D. Howard).

relieves importantes, determinan la rasante de toda la línea, con un movimiento de tierras reducido, deficitario en  $2,44 \text{ Mm}^3$  en el trayecto hasta Merced y en  $22,76 \text{ Mm}^3$  en el trayecto Merced-Sacramento, con desmontes de escasa importancia y solamente al atravesar el arco de Stockton entre Merced y Sacramento, para pasar de la cuenca del San Joaquín River a la del Sacramento River (Figura 7).

A la salida de la estación de Merced, el trazado cruza los Merced River y Tuolumne River, después de salvar Bear Creek y antes de llegar a la estación de Modesto. A continuación pasa sobre los Stanislaus River y Calaveras River, a la altura de Stockton. El Mokelumne River y el Consumnes River, afluente del anterior, los cruza el trazado en las proximidades de Lodi, antes de su desem-

*istence of any major reliefs determine the whole line's grade, with reduced earth movement, with a deficit of  $2.44 \text{ Mm}^3$  on the alignment to Merced and  $22.76 \text{ Mm}^3$  on the Merced-Sacramento alignment, with minor cuttings and only when crossing through the Stockton arch between Merced and Sacramento, to move from the San Joaquin River basin to the Sacramento River's (Figure 7).*

*At the exit to Merced station, the alignment crosses the Merced River and Tuolumne River, after crossing over Bear Creek and before arriving at Modesto station. It then runs over the Stanislaus River and Calaveras River, at Stockton. The alignment crosses the Mokelumne River and the Consumnes River, a tributary of the former, in the vicinity of Lodi, before*



**FIGURA/E 8.** Puente Colgante sobre el Stanislaus River / Suspension Bridge over Stanislaus River.



**FIGURA/E 9.** Túneles Urbanos en la ciudad de Sacramento. Coincidencia en Roseville de las LAV a Fresno ("Stockton Arch") y a San Francisco ("Bay Crossing") / Urban Tunnels in Sacramento city. Coincidence in Sacramento, Roseville, of the HSRL to Fresno ("Stockton Arch") and HSRL to San Francisco ("Bay Crossing").

bocadura en el río Sacramento a través del área del delta. Todos estos ríos los salva el trazado con puentes arco de 200 m de luz, a excepción del puente sobre el Stanislaus River, que lo hace con un puente colgante de 800 m de luz en su vano principal (Figura 8).

A la salida del PAET de Elk Grove (de funcionalidad muy importante para la explotación), la traza de la línea de alta velocidad entra en el único túnel (Figura 9) de esta HSRL, túnel urbano de 24,7 Km, en una gran curva centro derecha que describe el trazado para coincidir en alineación con la LAV desde San Francisco, dirección a Reno (Nevada), en la gran terminal de Sacramento-Roseville, pk 290 de la LAV Fresno-Sacramento (Roseville) y en el 455 de la LAV Fresno-San Francisco-Sacramento (Roseville).

La Tabla 2 resume las principales características (entre las cuales se han resaltado las anteriormente dichas) de la Línea Fresno-Sacramento y las de sus trayectos Fresno-Merced y Merced-Sacramento en la "Alternativa Stockton Arch" del Proyecto FARWEST.

running into the river Sacramento through the delta area. The alignment passes over these rivers on a 200 m span arch bridge, except for the bridge over the Stanislaus River which is a suspension bridge with an 800m span at its main span (Figure 8).

At the exit of the Elk Grove TSAP (which its functionality is very important for the train operation), the high speed line enters the only tunnel (Figure 9) of this HSRL, a 24.7 km long urban tunnel on a large centre right bend the alignment describes to coincide in alignment with the HSL from San Francisco, in the Reno (Nevada) direction, in the large Sacramento-Roseville terminal, p.k. 290 of the Fresno-Sacramento (Roseville) HSL and 455 of the Fresno-San Francisco-Sacramento (Roseville) HSL.

Table 2 summarizes the main characteristics (amongst which the aforementioned have been underlined) of the Fresno-Sacramento Line and those of its Fresno-Merced and Merced-Sacramento alignments in the "Stockton Arch Alternative" of the FARWEST Project.

#### 4. REFERENCIAS / REFERENCES

1. Lomnitz, C. and Rosembueth, E. (1976). "Seismik risk and engineering decisions". ISBN 0-444-41494-0 Elsevier Science Publishers BV. Amsterdam, The Netherlands.
2. Howard, Arthur D. (1979) " Geologic History of Middle California " ISBN 0-520-03874-6 University of California Press. Berkeley, California U.S.A.
3. Waggoner, P.E. (1990) " Climate Change and U.S. Water Resources " American Association for the Advancement of Science, New York, U.S.A.
4. Arrojo, P. y Naredo, J.M. (1997) "La gestión del agua en España y California" Bakeaz Coagret. Vitoria, Spain.
5. Díaz del Río, M. (2003) "MOU". *EL PAIS*, 11 de Julio de 2003; *EXPANSION*, 9 de Julio de 2003 y *CINCO DIAS*, 8 de Julio de 2003.
6. Fort, L. (2004) "Safety in High Speed Railway Tunnels" ISBN 84-89456-23-2 2nd Edition (Presented in Praga) Cersa. Madrid, Spain.
7. Stein, Ross S. (2008) "The Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Versión 2 " California Geological Survey and Southern California Earthquake Center U.S. Geological Survey, Menlo Park. California, U.S.A.

ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA EN CALIFORNIA (USA): CUARTA PARTE (IV) FRESNO-SACRAMENTO (ROSEVILLE)  
HIGH SPEED RAILWAY IN CALIFORNIA (USA): FOURTH PART (IV) FRESNO-SACRAMENTO (ROSEVILLE)

		PHASE I CALIFORNIA HIGH-SPEED TRAIN PROGRAM (CHSTP)		OTHER PHASES CALIFORNIA HIGH-SPEED TRAIN PR (CHSAP)		"Stockton Arch" HSRL		CALIFORNIA HIGH-SPEED RAIL SYSTEM	
Units	Sections	Section II		Phase I Extension Section VI		Fresno		TOTAL SYSTEM	
	Same Charac.	Fresno-Merced		Merced-Sacramento		Sacramento		CHSR	
Mile	Total Length Section	81.8	(7.89%)	158.7	(14.87%)	180.2	(22.52%)	800	(100.00%)
Mile (%)	Length of Cut & Fill areas	80.3	(98.17%)	83.2	(79.53%)	153.8	(85.17%)	483	(60.36%)
Mile (%)	Overall Length of Tunnels	0		15.5	(13.09%)	15.5	(8.62%)	253	(31.56%)
Mile (%)	Overall Length of Viaducts	1.2	(1.22%)	8.9	(8.36%)	11.2	(6.26%)	66	(8.07%)
Internal Station	Localisation of Int Station	-		MERCED		MERCED/MERCED		GILROY/MERCED / OCEANSIDE / RIVERSIDE / VALLEJO	
Number (E/Line)	TSAP/PR (PAET/BR) / (Line + Station)	3	(1+2)	5	(4+1)	8	(5+3)	39	(22+17)
Mile/h	Average Speed	100		100		100		170	
Mio <sup>3</sup>	Earth Moving (Overall section)	7.94		31.88		38.88		272.22	
Mio <sup>3</sup>	from excavation	2.75		2.74		3.49		34.75	
Mio <sup>3</sup>	from fill	5.19		29.14		35.39		237.47	
Mio <sup>3</sup>	from tunnels	0		3.40		3.40		34.79	
Mio <sup>3</sup>	after compaction (except specific)	-2.44		-19.38		-21.82		-65.14	
Mio <sup>3</sup>	Deficit (-)	-2.44		-22.78		-25.23		-151.88	
Mio <sup>3</sup>	Excess to dump (+)	3.08		3.40		3.40		55.91	
Number	Overall tunnels by section	-		1		1		81	
nb (Mile)	Long tunnels (> 1.2 Mile)	-		1 (15.4)		1		27 (212.48)	
nb (Mile)	Short tunnels (< 1.2 Mile)	-		-		-		4 (6)	
Mile	Length of long tunnels	-		15.4		15.4		#(VALOR)	
m <sup>2</sup>	Construction works (Overall)	24.818		238.325		263.140.00		1.872.118	
nb-m <sup>2</sup>	Viaducts	4	18.000	7	234.000	11.8	252.800.0	74	1.491.900
nb-m <sup>2</sup>	Others Bridges	9	6.875	14	4.325	23.8	11.800.0	129	88.915
nb-m <sup>2</sup>	Arch (200m span) bridges	1	3.000	9	27.000	10.8	38.800.0	46	136.000
nb-Mile	Suspension (300 m span) bridges	0	-	1	1	1	1	13	17.58
M\$	Construction budget (A+B+C+D+E+F+G)	883	(2.40%)	2.832	(6.42%)	3.798	(10.87%)	34.820	(100.00%)
M\$	Earth moving (a)	139		490		629		3.891	
M\$	Tunnels (b)	0		888		888		15.212	
M\$	Construction works (c)	31		578		609		6.748	
M\$	A - Infrastructure (a+b+c)	169		1568		2125		25.781	
M\$	B - Overstructure	237		349		585		2.794	
M\$	C - Equipments	287		427		714		3.424	
M\$	D - Environmental Protection	13		49		62		578	
M\$	E - Design, G/C, Management	18		89		87		802	
M\$/Mile	Unit cost (included Stations)	13.88		24.71		21.61		43.80	
FOM M\$/Mile	Unit efficiency Cost (FOM Ministry Spain Ref.2010)	15.77		15.77		15.77		24.38	
Mark	Relief-Type-Nature	F - 2 - #u		F - 2 - #u		F-2-#u		- 2 -	
M\$/Mile	Supplement FOM by big span Viaducts & long tunnels	(B) - / - (Tu)		(B) 1.49 / 5.56 (Tu)		(B) 0.98/3.86 (Tu)		(B) 4.88/11.17 (Tu)	
M\$/Mile	Average Overall FOM Cost unit	15.77		22.82		26.41		42.15	
M\$	F - Supplement Construction budget by Stations & Building TSAP	120		80		290		1.467	
M\$	G - Supplements Construction budget by Equip/Env/Design, GC, Manage for Stations & Building TSAP	9		4		13		92	
M\$	Overall Cost Line / Stations	734	129	2.840	84	3.573	213	33.321	1.488

TABLA/E 2. Características de la Línea Fresno-Sacramento. Trayectos Fresno-Merced y Merced-Sacramento (Proyecto FARWEST - Miles y M\$) / CHSRs- Summary (FARWEST Project- Miles and M\$).

- Benson, S; Averbuck, A and Balfour, A.C. (2009) "California" ISBN 978-84-08-08289-7 Lonely Planet. Barcelona, Spain.
- Fort, C. (2010) "Caracterización geotécnica de base de los suelos de España". DEA ETSICCP Madrid, Spain.
- Fort, L y Fort, C (2011) "Earth Moving Geoenvironmental workability in California" Geocongress 2012. Oakland, California, U.S.A.
- Fort, L y Fort, C (2011) "Soil reinforcement vegetation effect. Analysis applied to the earth moving volume of the California High Speed Railway Sistem" International Symposium on Ground Improvement IS-GI 2012. Brussels, Belgium.
- Díaz del Río, M ; Fort, L y Fort, C (2011) "Anteproyecto /Preliminary Design LAV Fresno-San Francisco CHSRs Golden Gate Alternative".

# EDICIONES DEL CEDEX



Nº de páginas: 63  
Año de edición: 2012  
P.V.P.: 7€

La exposición y el catálogo Puentes Arco en España en la que de forma monográfica se aborda por primera vez en CE-HOPU el tema de los puentes, pretende mostrar al gran público un conjunto de realizaciones que servirán de hilo conductor para recorrer un capítulo esencial de la historia de la ingeniería. Con un enfoque didáctico, y a la par riguroso, que pueda llegar a una gran diversidad de público, se cuenta para ello con las piezas de la Colección de Maquetas de Historia de las Obras Públicas del CE-HOPU-CEDEX, que constituye un recurso de gran potencial figurativo. La exposición y su libro, tratándose de una muestra

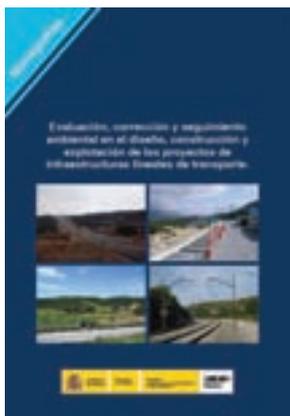
de puentes históricos, se ha organizado en función de los materiales y de las épocas quedando dividida en cinco áreas: Técnicas constructivas romanas y grandes luces; Puentes medievales; grandeza y pervivencia de los puentes de fábrica: siglos XVI-XIX; Los nuevos materiales de la época industrial: puentes de hierro y acero, y por último, Aparición y auge del hormigón estructural. Permitiendo con este recorrido hacer un viaje por la historia de las obras públicas de nuestro país.



Nº de páginas: 170  
Año de edición: 2012  
P.V.P.: 25€

El análisis de la seguridad hidrológica es una cuestión central en la ingeniería de presas. El fallo de las presas puede causar importantes daños materiales, además de poner en riesgo vidas humanas. A pesar de la trascendencia que tiene, los métodos de análisis de la seguridad hidrológica de las presas (tanto en fase de proyecto como en fase de explotación) han cambiado relativamente poco en las últimas décadas. En este texto se realiza una contribución metodológica al problema de la evaluación de la seguridad hidrológica de una presa, analizando el efecto laminador del embalse bajo un enfoque probabilístico. La metodología permite tener en cuenta la variabilidad de factores que intervienen tanto en la génesis de la avenida como en su laminación en el embalse. Adicionalmente, y

como resultado de la aplicación de esta metodología, se han desarrollado modelos simplificados para evaluar el efecto de la laminación de las presas y embalses ante solicitaciones hidrológicas extremas, tal que permitan orientar al proyectista en las fases previas del diseño.



Nº de páginas: 207  
Año de edición: 2012  
P.V.P.: 12€

Esta monografía comprende dos manuales destinados a mejorar y normalizar la elaboración y análisis de estudios de impacto ambiental y proyectos de integración ambiental.

El primer manual lleva por título "Protocolos para la elaboración y análisis de los estudios de impacto ambiental de carreteras y ferrocarriles" y pretende establecer el alcance de los documentos asociados a la evaluación de impacto ambiental (EIA) y la metodología para su análisis. Esto se materializa en: 1) Un conjunto de instrucciones técnicas para los documentos del procedimiento de EIA de obras lineales, con las que se pretende mejorar la calidad, mediante la normalización del alcance y contenido mínimo de los documentos que se generan en el

proceso de evaluación y, sistematizar y normalizar las tareas del proceso de evaluación que realiza el órgano ambiental. Estas instrucciones se concretan en fichas de proyecto, que sintetizan la información básica del proyecto sometido a evaluación, propuesta de contenidos para la elaboración de los documentos, de especial interés para el promotor y fórmulas para el análisis de los documentos, a utilizar por el órgano ambiental y en su caso sustantivo. 2) Un manual para el desarrollo de las medidas de diseño, protección y corrección ambiental en la formulación de los proyectos de carreteras y ferrocarriles. Su objetivo es la incorporación efectiva a los proyectos de las medidas de integración ambiental y de protección, corrección y compensación de los impactos ambientales estimados en el estudio de impacto ambiental. Por su extensión, se han desarrollado en un documento independiente, incluido en la misma publicación, denominado "Manual para el diseño de medidas protectoras, correctoras y compensatorias". 3) Una serie de protocolos de análisis de los documentos de seguimiento ambiental, tanto para la obra como para la fase de explotación de la infraestructura.



Nº de páginas: 104  
Año de edición: 2012  
P.V.P.: 12€

La actividad económica hoy se puede evaluar siguiendo y estimando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) porque la economía tiene como soporte energías procedentes de combustibles fósiles. Las últimas décadas se han caracterizado por una dependencia absoluta de la economía del carbono y de otras energías no renovables, como la nuclear. Seguir el rastro del carbono en los distintos pueblos o regiones permite desentrañar aspectos diferentes de su realidad territorial. Así para evaluar esta huella la Unión Europea (UE) ha puesto en marcha metodologías de cuantificación de las emisiones de GEI y otros gases contaminantes conocidas como CORINE AIRE. Estos instrumentos responden a los compromisos europeos

contraídos en materia de medio ambiente para comparar la evolución de las emisiones en el conjunto de Estados miembros de la UE. En este trabajo se hace un recorrido utilizando dicha herramienta para descubrir todas las actividades productivas susceptibles de generar emisiones de GEI; lo que posibilita comparar, medir y valorar los comportamientos de los distintos territorios en el tiempo. Este documento reflexiona y valora sobre todo las actividades de generación de energía y del transporte, por tratarse de sectores económicos de mucho peso en el conjunto de las emisiones de GEI globales (30%) y con significación en los indicadores de renta. Cruzar la información de las variables vinculadas al sector del transporte posibilita no sólo asomarse a la realidad territorial, sino que permite también poner al descubierto las deficiencias de información que el sistema estadístico tiene sobre estos temas, en parte motivadas por las características de la distribución competencial que otorga la Constitución Española a las diferentes Administraciones territoriales: Estado Central, Comunidades Autónomas y Entidades Locales. A lo largo del documento se irá valorando cómo influyen las variables de renta per cápita y población en el aumento de las emisiones de GEI. Para ello, se empieza primero a describir las tendencias seguidas en España en cuanto a crecimiento de renta y población, para continuar después relacionándolo con los comportamientos de las emisiones de GEI.

## Pedidos

Para realizar un pedido de publicaciones puede hacerlo por teléfono, fax o correo a:  
CEDEX Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

c/ Alfonso XII, 3 - 28014 Madrid

Teléfono: (+34) 91 335 72 95 • Fax: (+34) 91 335 72 49 • E-mail: publicaciones@cedex.es

# 25 Años de la pista de ensayo acelerado de firmes del CEDEX

JAVIER PÉREZ AYUSO (\*), BELÉN CADAVID JÁUREGUI (\*\*),  
JOSÉ ORENCIO MARRÓN FERNÁNDEZ (\*\*\*) y OSCAR GUTIÉRREZ-BOLÍVAR ÁLVAREZ (\*\*\*\*)

**RESUMEN** En enero de este año se han cumplido 25 años desde la inauguración de la Pista de Ensayo de Firmes a Escala Real del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento. Estas instalaciones están destinadas al estudio de los problemas relacionados con el dimensionamiento estructural de los firmes de carretera. Los firmes se construyen a escala real, y los ensayos se realizan de forma acelerada y con la carga controlada. Llevan utilizándose en la investigación de carreteras más de un siglo y hoy en día están más vigentes que nunca debido a la gran cantidad de campos hacia donde se abren las investigaciones actuales en esta materia, como son: el uso de nuevos materiales y métodos de construcción, la rehabilitación de firmes, etc. Desde su inauguración en 1988 se han ensayado 30 secciones estructurales y 20 capas de rodadura, los vehículos simuladores de carga han recorrido 2,8 millones de kilómetros y se han aplicado un total de 56,4 millones de cargas. Todos los resultados obtenidos han repercutido en el diseño de firmes y en las prescripciones de los materiales establecidas por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

## CEDEX TEST TRACK 25TH ANNIVERSARY

**ABSTRACT** *The Pavement Test Track of CEDEX (Infrastructure Research Centre) have reached 25 years in January 2013 since its opening. Nowadays this kind of facility is used for the study of problems related to the structural design of road pavements. The pavement is built in real scale, and tests are performed rapidly and with controlled loads. Such facilities have been in use in the study of performance of pavements over a century and today are more relevant than ever because of the large amount of fields open to new researches in this area, including: the use of new materials and methods of construction, pavement rehabilitation, etc.. This article presents a historical journey from the first testing pavements sections in real roads to the Full-Scale Accelerated Pavement Test Track of CEDEX. Since its opening in 1988, a total number of 30 pavement sections as well as 20 surface layers types have been tested. The load simulator vehicles have travelled 2.8 million kilometers and have applied a total of 56.4 million loads. All results have affected the design and materials requirements established by the Directorate General of Roads of the Ministry of Public Works of Spain.*

**Palabras clave:** Pista de ensayo acelerado de firmes, Capacidad estructural de firmes, Instrumentación.

**Keywords:** Full scale accelerated pavement test track, Structural capacity of pavements, Instrumentation.

## 1. ENSAYOS A ESCALA REAL

Desde la primera pista de ensayo construida en Detroit en el año 1909 (Fotografía 1) hasta la actualidad se ha pasado por varias etapas en el campo del dimensionamiento estructural.

A partir de los años 40 se comienzan a desarrollar métodos analíticos para el dimensionamiento de los firmes y es entonces cuando surge la necesidad de disponer de una herramienta de validación, debido al gran número de variables que intervienen en el deterioro del firme y que afectan a su res-

(\*) Titulado de Escuelas Técnicas de Grado Medio de Organismos Autónomos del Ministerio de Fomento. Director de Programa. Centro de Estudios del Transporte del CEDEX. E-mail: Javier.perez@cedex.es

(\*\*) Licenciada en Ciencias Físicas. Centro de Estudios del Transporte del CEDEX. E-mail: Belen.cadavid@cedex.es

(\*\*\*) Licenciado en Ciencias Químicas. Titulado superior de I+D+i. Centro de Estudios del Transporte del CEDEX. E-mail: Jmarron@cedex.es

(\*\*\*\*) Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Centro de Estudios del Transporte del CEDEX. E-mail: Obolivar@cedex.es



FOTOGRAFÍA 1. Pista de Ensayo en Detroit (1909).

puesta ante las solicitaciones producidas por el tráfico, como son: la temperatura, la humedad de los suelos, la velocidad de aplicación de la carga y su magnitud.

Un avance importante se produjo a comienzos de los años 60 con la realización del primer ensayo a escala real, el ensayo AASHO, que permitió obtener un método de dimensionamiento basado en el concepto del deterioro por fatiga, relacionando además los deterioros producidos por cargas de distinta magnitud. Estos resultados permitieron elaborar el sistema de paso del estado estático al dinámico, permitiendo integrar la repetición de cargas y sirviendo de tarado para los modelos analíticos existentes.

Esta situación, junto al aumento del volumen de tráfico, el coste de construcción de carreteras y las inversiones necesarias

para su conservación, empujaron a que la mayoría de los países industrializados adoptaran las pistas de ensayo de firmes a escala real como una herramienta básica en el desarrollo de sus métodos de dimensionamiento.

Existen diferentes tipos de instalaciones con muy diferentes características y que persiguen objetivos muy dispares. Si se agruparan por su funcionalidad, habría un primer grupo en donde tendrían cabida todas aquellas pistas de ensayo en donde se estudian los problemas relacionados con los vehículos y con elementos de seguridad de la propia infraestructura. Y un segundo grupo a las instalaciones destinadas al estudio de la capacidad estructural de los firmes.

La Pista de Ensayo de Firmes del CEDEX se encuentra englobada en el segundo grupo. En la Figura 1 se presenta

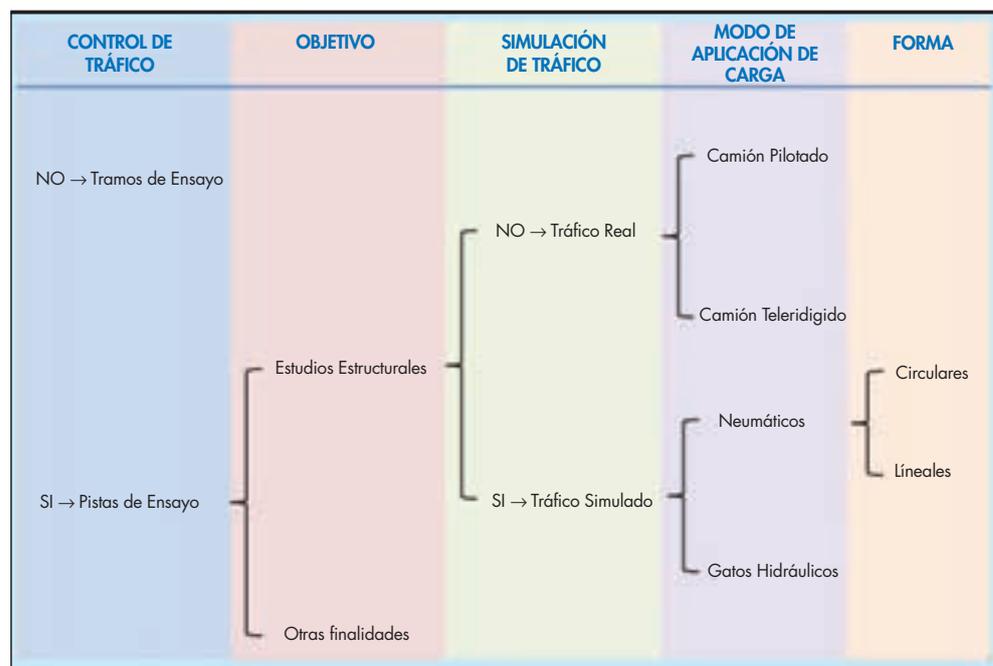
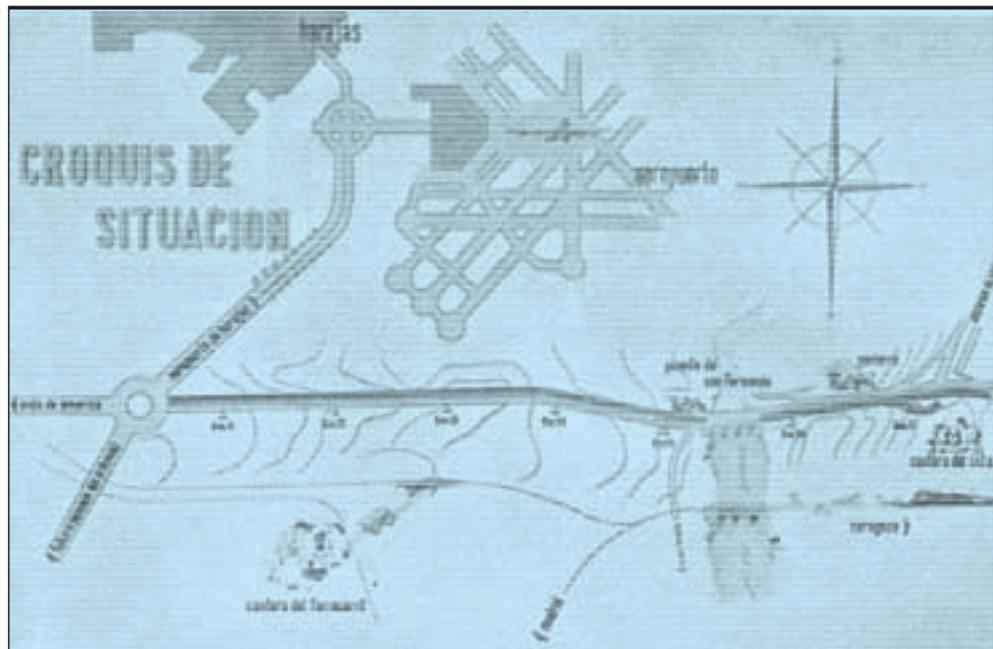


FIGURA 1. Clasificación de Pistas de Ensayo de Firmes.



**FOTOGRAFÍA 2.** Croquis de situación del tramo de ensayo.

cómo se clasifican dependiendo de su objetivo, de la simulación de tráfico, del modo de aplicar la carga y de su forma.

En la actualidad existen más de 40 pistas de ensayo de firmes a escala real en el mundo.

Bajo los auspicios del Comité AFD40 del TRB (Transportation Research Board) se han celebrado 4 conferencias internacionales de Ensayo Acelerado de Firmes. La primera tuvo lugar en Reno en el año 1999, la segunda en Minneapolis en el año 2004, la tercera se celebró en Madrid en el año 2008 y fue organizada por el CEDEX, y la última tuvo lugar en Davis-California el año 2012. La Pista de Ensayo Acelerado de Firmes del CEDEX ocupa un lugar importante dentro de todo el conjunto de este tipo de instalaciones, como se ha demostrado al ser el único organismo fuera de EEUU en organizar una de estas conferencias, y por ser una pista de referencia para muchos organismos internacionales.

## 2. UN POCO DE HISTORIA

En octubre de 1977 se autorizó la redacción del "Proyecto de Pista de Ensayo a Escala Natural" al Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo "José Luís Escario" dependiente del CEDEX. Un año después se presentó el proyecto firmado por el Director del Proyecto D. Guillermo Carrillo Vargas.

La decisión sobre la construcción de una pista de ensayo coronó un largo proceso de constante interés en el comportamiento de los firmes de carretera.

Como primer eslabón se puede mencionar, el tramo de ensayo (Fotografías 2 y 3) realizado en la Carretera Nacional II, en las proximidades de Madrid, entre los kilómetros 11,255 y 17,600, bajo la supervisión de la Dirección General de Carreteras y el Laboratorio del Transporte en el año 1964. La longitud del tramo fue de unos 6,345 km, soportando una intensidad media de 13.000 vehículos diarios, con un 25 a 30% de vehículos pesados. En este tramo se destinaron 2.500 m a firmes flexibles, ensayándose 53 secciones distintas; 2.384 m se utilizaron para ensayos de firmes de hormigón pretensado y 1.484 m para firmes de hormigón tradicional. Como complemento se instaló una estación meteorológica, una báscula di-

námica, y un gran número de dispositivos para la medida de diferentes variables.

Durante los años 1968 y 1969, varios expertos de diversos países, formaron un grupo de trabajo promovido por la OCDE, cuyo tema era "Investigación sobre los métodos acelerados para estudiar la vida de los firmes de carretera", donde se estudiaron las ventajas e inconvenientes de los métodos que se usaban en aquella época.

En el año 1973 se redactó un Anteproyecto de Pista Circular de Ensayo en la Cátedra de Caminos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de Madrid, siendo su autor Juan Antonio Fernández del Campo.

El citado anteproyecto consistía en una pista circular de ensayo, de 12 m de diámetro, con una sección de 2 m de anchura por 1,75 m de profundidad. El mecanismo de prueba estaba formado por unas ruedas unidas mediante un brazo a un eje central giratorio. La pista estaba cubierta aunque permitía realizar pruebas a la intemperie, disponiendo de una instalación de rayos infrarrojos para simular los efectos de la acción solar, así como de otra instalación que permitía ejecutar pruebas de variación del nivel freático. Como instalación auxiliar se proyectó un edificio de laboratorio y oficinas (Figura 2).



**FOTOGRAFÍA 3.** Vista general del tramo de ensayo.

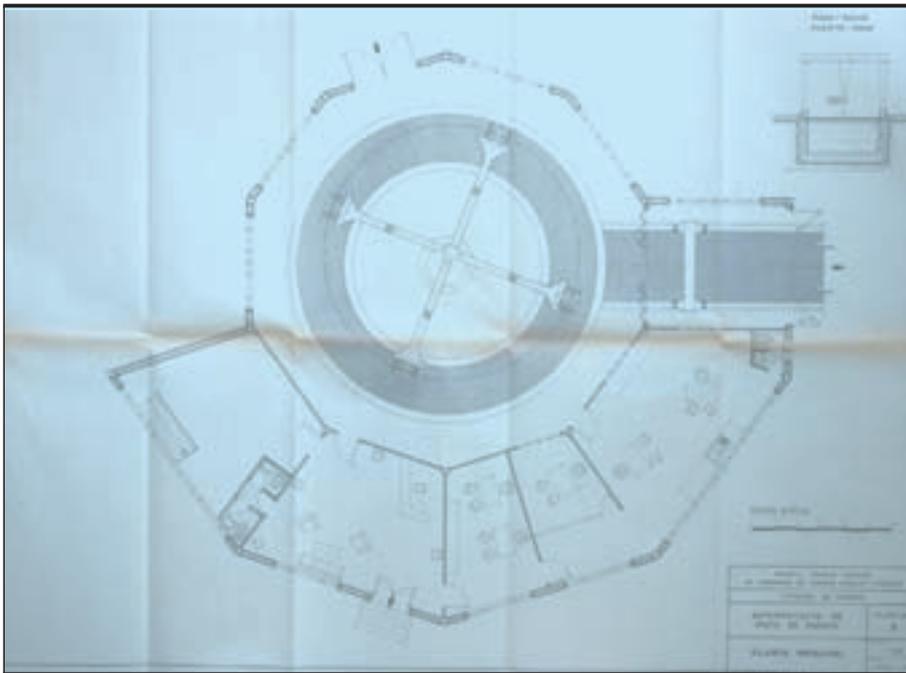


FIGURA 2. Anteproyecto de Pista Circular de Ensayo de 1973.

Las razones de tipo general que aconsejaban el estudio a escala real del comportamiento de los firmes en esos momentos fueron entre otras:

- La tendencia mundial puesta en práctica por la AASHO con sus tramos de ensayo.
- La dificultad de transferencia de los resultados de laboratorio a la realidad.
- La trascendencia económica del dimensionamiento de firmes dentro del conjunto de una red de carreteras.
- La necesidad dentro del campo de la investigación de la puesta a punto de nuevas técnicas de fabricación y materiales.

A estas razones hay que añadir las particulares de la realidad española de la época:

- Fuerte incremento de tráfico en toda la red.
- La influencia de los distintos tipos de clima.
- Alto porcentaje de vehículos pesados en la composición del tráfico.
- La autorización de las cargas de 13 t por eje.

Muchas de las razones que justificaban la construcción de una pista de ensayo a escala real siguen estando vigentes.

Desde el primer proyecto del año 1978 (Figura 3) se sucedieron múltiples variaciones hasta llegar al diseño final de la pista que se inauguró en 1988.



FIGURA 3. Plano del proyecto de 1978.

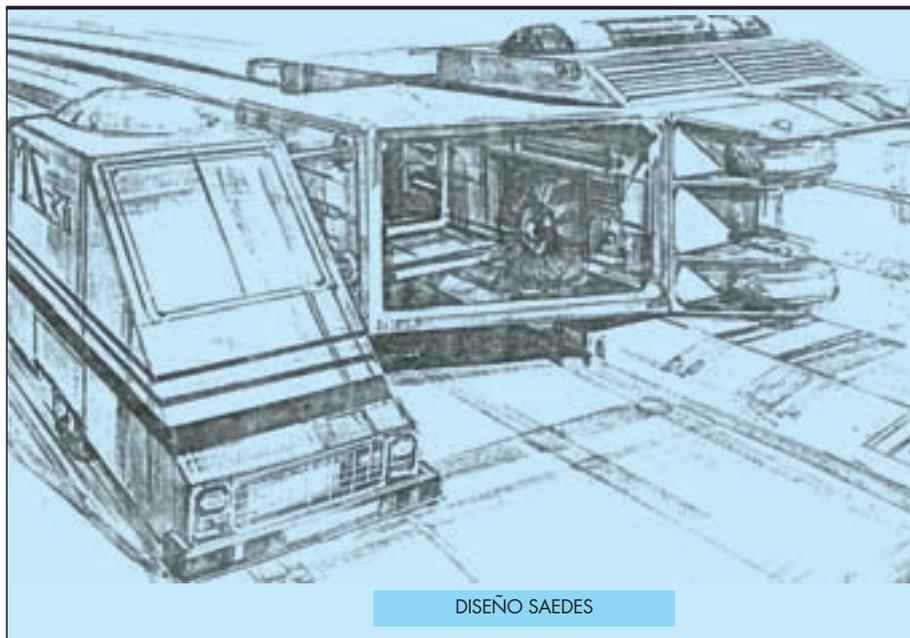


FIGURA 4. Prototipo del proyecto 1984.

También se realizaron varios proyectos de vehículos simuladores de carga (Figuras 4 y 5) hasta la construcción del primer vehículo en los años 80.

Desde que surgió la necesidad de una pista de ensayo hasta su inauguración participaron un buen número de técnicos con mayor o menor responsabilidad en el proyecto y construcción, hay que destacar la participación de D. José Luis Escario como precursor de los ensayos a escala real de firmes en España en el año 1962, D. Guillermo Carrillo Vargas, D. Juan Carlos Fernández de Castro y D. Ramón Rodil Sierra como integrantes del equipo de Dirección de las obras de construcción de la instalación, D. Jaime Tamarit Rodríguez como responsable del diseño del sistema de adquisición de datos mediante instrumen-

tación, D. Aurelio Ruiz Rubio y D. Recaredo Romero Amich como responsables de los ensayos y a D. José Luis Elvira Muñoz como Director del entonces llamado Centro de Estudios de Carreteras en el momento de su inauguración.

### 3. CARACTERÍSTICAS DE LA PISTA DE ENSAYO

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La Pista de Ensayo de Firmes del CEDEX está ubicada en las instalaciones del Centro de Estudios del Transporte en la Autovía de Colmenar Viejo Km 18,2, El Goloso (Madrid).

Está considerada como de tipo lineal puesto que las zonas de ensayo se encuentran en recta aunque su configuración es



FIGURA 5. Prototipo del proyecto 1984.



FOTOGRAFÍA 4. Vista de los tramos rectos y circulares de la pista de ensayos.

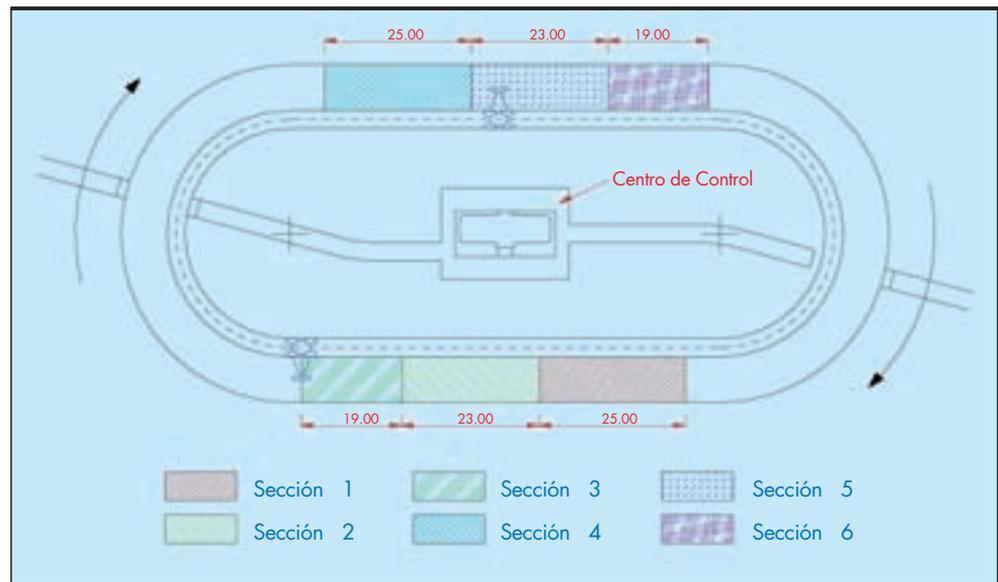


FIGURA 6. Secciones en los tramos rectos de la Pista.

mixta, mezcla entre las lineales y las circulares. Se eligió esta configuración para que reuniera las ventajas de ambas tipologías de pistas de ensayo. Consta de dos tramos rectos de 75 metros unidos por dos tramos curvos de 25 metros de radio (Fotografía 4). La longitud total recorrida por los vehículos de ensayo en cada vuelta es de 304 metros. Las secciones completas de firme se construyen en los tramos rectos de la pista, como sucede en las pistas lineales, mientras que los tramos curvos dan continuidad a la carga, de forma que el sentido de aplicación es siempre el mismo, al igual que en las circulares, y aumenta el rendimiento de ensayo con respecto a las pistas lineales gracias a la forma de circuito cerrado. Los tramos curvos se emplean para ensayos de capas de rodadura, tratamientos superficiales, pinturas, etc.

En cada tramo recto se han construido tres secciones diferentes (Figura 6). La longitud destinada a ensayo en cada uno de los tramos es de 67 m, correspondiendo a cada sección 25, 23 y 19 metros respectivamente, quedando el resto destinado a zona de transición y enlaces. Estos tramos rectos se encuentran unidos entre sí a través de los tramos curvos.



FOTOGRAFÍA 5. Cubeta de hormigón.

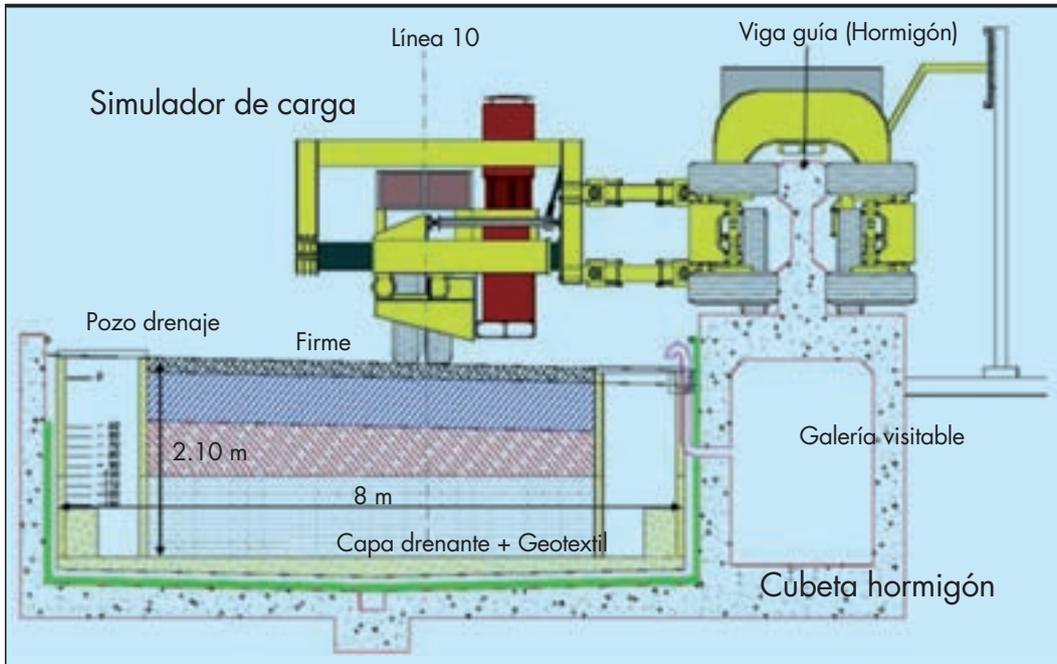


FIGURA 7. Sección transversal de un tramo recto.



FOTOGRAFÍA 6. Construcción de las secciones con maquinaria convencional.

Mientras que los tramos en curva se apoyan en unas losas de hormigón, en los tramos rectos se ha dispuesto una cubeta de hormigón armado en forma de U (Fotografía 5 y Figura 7) de 8 m de ancho por 2,1 m de profundidad, lo que permite la construcción de terraplenes de 1,25 m de altura como mínimo, el control de su nivel freático, y la ejecución de los firmes con maquinaria convencional de carreteras (Fotografía 6). Esta cubeta confiere a todas las secciones un aislamiento del terreno natural así como un soporte homogéneo para todas las secciones de forma que los resultados de los ensayos pueden ser comparados entre sí.

En los tramos rectos existe una estructura metálica cubriendo las secciones (Fotografía 7), que puede desmontarse. De esta forma se puede controlar el nivel freático, permitiendo la entrada de agua de una forma controlada, y el aislamiento de las secciones de la radiación solar directa.

La aplicación de las cargas se lleva a cabo a través de los vehículos simuladores de tráfico (Fotografía 8), aunque la instalación está preparada para albergar hasta tres vehículos simultáneamente. En estos vehículos se distinguen dos partes: el carretón de guía y el carretón de carga.



FOTOGRAFÍA 7. Vista de la cubierta en un tramo recto.



FOTOGRAFÍA 8. Vehículos simuladores de tráfico.

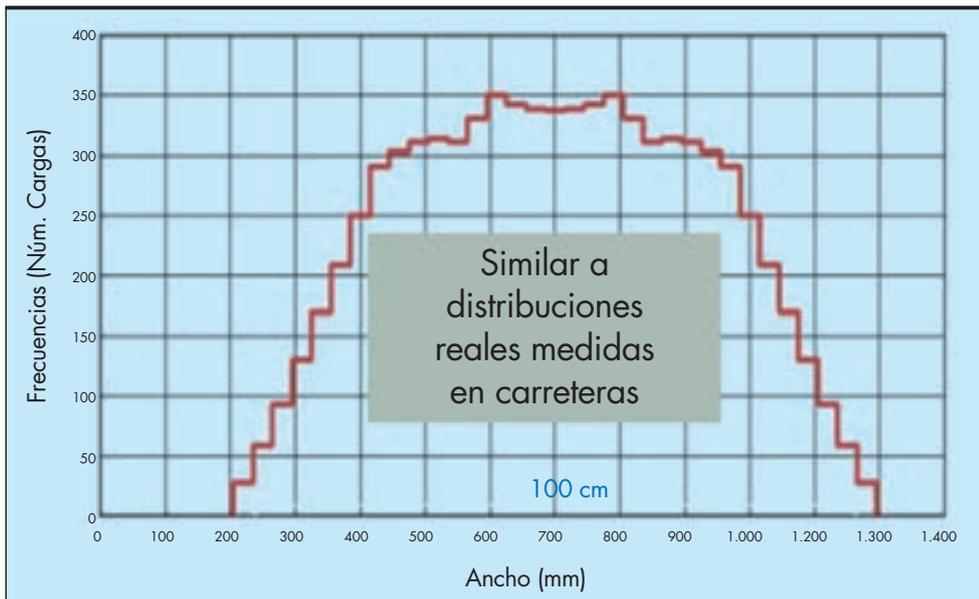


FIGURA 8. Distribución transversal de cargas.

El carretón de carga aplica ésta por gravedad, mediante un semieje de vehículo pesado. La carga puede variarse entre 5,5 y 7,5 t. Tanto la suspensión (de tipo neumático) como los neumáticos (con rueda balón o ruedas gemelas) son convencionales. La velocidad de circulación durante el ensayo es de 40 a 50 km/h, con una máxima de 60 km/h. Por otro lado, este carretón es autopropulsado por medio de un motor eléctrico, y genera el movimiento del conjunto. Con esto se intentó recoger la situación más general y agresiva de las condiciones de carga, que corresponde a la de ruedas tractoras.

El carretón guía rueda por la viga carril de hormigón, abrazado a ella y dirigiendo la trayectoria del carretón de carga. Ambos están unidos por articulaciones que permiten que el vehículo de carga se mueva en un plano normal a la dirección del desplazamiento. La disposición de las articulaciones le permite adaptarse perfectamente a los cambios de trayectoria en las curvas.

Los neumáticos pueden situarse de forma automática en 7 posiciones transversales diferentes, por medio de un gato hidráulico que se acciona en movimiento, produciendo una banda rodada de 1,0-1,4 m de anchura, y consiguiendo que la

distribución de las pasadas siga una curva normal que responde a distribuciones reales medidas en carretera (Figura 8).

Los vehículos han ido evolucionando a través de los años, mejorando su estructura y su sistema de control. Durante el primer ensayo realizado en la pista, año 1988, se utilizó un único vehículo prototipo (Fotografía 9).

Gracias a la experiencia adquirida durante el primer ensayo, se llevaron a cabo mejoras en el prototipo inicial hasta llegar a los vehículos actuales, de forma que se ha duplicado la capacidad de aplicación de carga de la pista.

Durante la construcción de los firmes se van colocando sensores embebidos en las diferentes capas con el propósito de la obtención de las magnitudes de las variables tensodeformacionales del firme que constituyen la respuesta del mismo ante el paso de la carga. De esta forma se puede llevar a cabo la determinación de la variación de la respuesta del firme con las condiciones ambientales y de carga (velocidad de la aplicación de la carga, posición respecto del punto de medida, temperatura, etc.). Los sensores instalados se escogen dependiendo de las características de los materiales que componen la estructura del firme (Fotografía 10).



FOTOGRAFÍA 9. Primer vehículo utilizado en la instalación.



FOTOGRAFÍA 10. Ejemplo de sensores embebidos en los firmes.

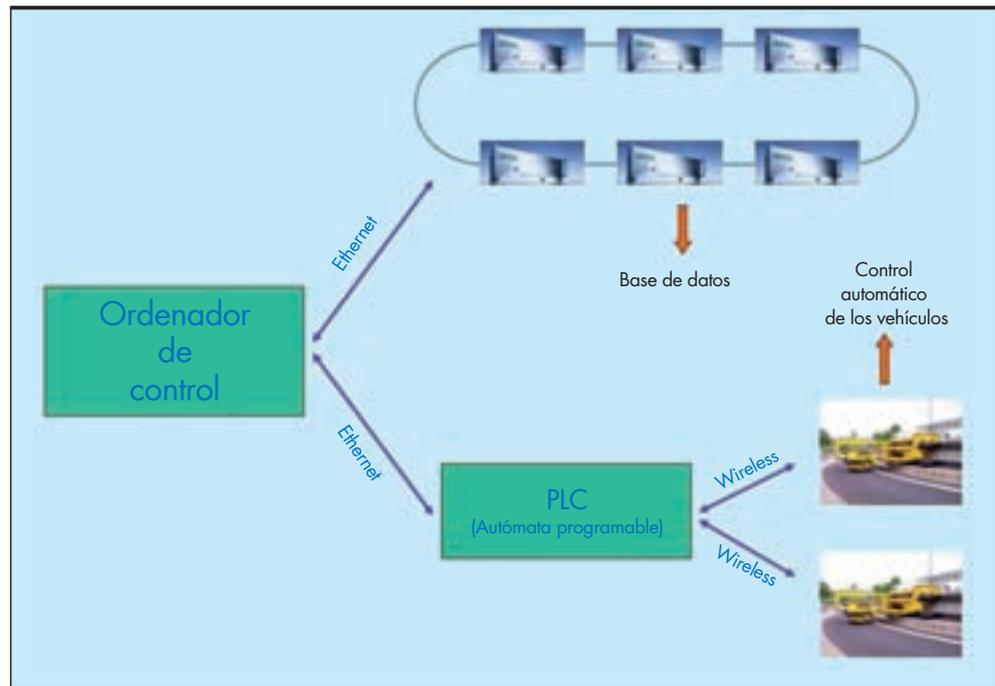


FIGURA 9. Sistema automático de control de la instalación.

La instrumentación colocada se acondiciona y mide a través del sistema de control. Uno de los puntos fuertes de esta instalación es el sistema adquisición de datos de la instrumentación colocada en los firmes. Este sistema ha sido el ejemplo a seguir por otros países en sus instalaciones de este tipo. Gran parte de su éxito reside en su buena planificación inicial realizada en los años 80, que ha permitido su evolución para poder incorporar equipos de acondicionamiento y medida de última generación, lo que permite que el sistema se encuentre completamente actualizado y con las capacidades de almacenamiento y procesado de los tiempos actuales.

### 3.2. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LA INSTALACIÓN

En el diseño y explotación de la pista se le ha dado una enorme importancia a la automatización del proceso, con el objetivo de obtener un funcionamiento continuado. También es importante señalar que toda la instalación, y especialmente los vehículos y su sistema de gobierno, son prototipos proyectados, construidos e instalados ex profeso en España con tecnología íntegramente europea (Figura 9).

#### 3.2.1. Sistema de control de los vehículos

La instalación dispone de un sistema automático de gobierno y control de los vehículos, situado en el edificio localizado en el interior de la pista, el Centro de Control. El sistema está basado en un programa informático desarrollado específicamente y que permite el funcionamiento las 24 horas del día sin necesidad de presencia de personal. El rendimiento de la instalación es de unas 100.000 cargas al mes.

El sistema de control de los vehículos se encarga de dar las órdenes mediante un autómata programable situado en el Centro de Control, a los vehículos. Estos, cuentan con otros dos autómatas que se encargan de ejecutar estas órdenes recibidas y controlar una serie de alarmas que avisan del estado del vehículo. Cuando alguna de las alarmas se activa, se envía la orden al autómata del Centro de Control para que lleve a cabo la acción pertinente (paro de los vehículos, reducción

de velocidad, información al usuario, etc.). La comunicación entre los autómatas situados en los vehículos y el autómata situado en el Centro de Control ha ido evolucionando con el paso del tiempo. En un principio esa comunicación era por radio, se pasó a una comunicación por cable debido fundamentalmente a las interferencias que se producían, y en la actualidad la transmisión se lleva a cabo a través de una red wifi.

#### 3.2.2. Sistema de control de la instrumentación

Por otro lado, una parte importante de la pista de ensayo es su sistema de adquisición de datos, que ha ido evolucionando con el tiempo, desde sus inicios en 1988 con los equipos disponibles en aquella época, hasta la última actualización y mejora del sistema, en el año 2012.

Al bloque de adquisición de datos llegaban las señales de los sensores en analógico y debían ser convertidas a digital a través de un convertidor A/D. Para poder llevar a cabo la conversión de todas las señales, estas eran multiplexadas antes de pasar por el convertidor, estas placas multiplexoras eran de 16 canales, pudiendo leer hasta 256 canales.

Una vez convertidas las señales analógicas en digitales se almacenaban en un micro situado en la planta sótano del Centro de Control, que era el encargado de llevar a cabo el proceso de medida con los sensores. Debido a la poca capacidad que tenían entonces los microprocesadores, se debían sacar los ficheros de texto generados en cada medida mediante un disquete de tipo floppy y se almacenaban de esta manera antes de ser volcados en una base de datos.

Actualmente el sistema de adquisición ha sido mejorado completamente. Se han sustituido los antiguos acondicionadores por dispositivos de adquisición que llevan asociada la parte de acondicionamiento y la parte de adquisición y almacenamiento en el mismo dispositivo. De esta forma, las señales son acondicionadas y convertidas a digital en el punto más cercano a los sensores, y la información puede ser transmitida a través de Ethernet sin perder señal a una mayor distancia. Esto ha permitido también duplicar el número de sensores

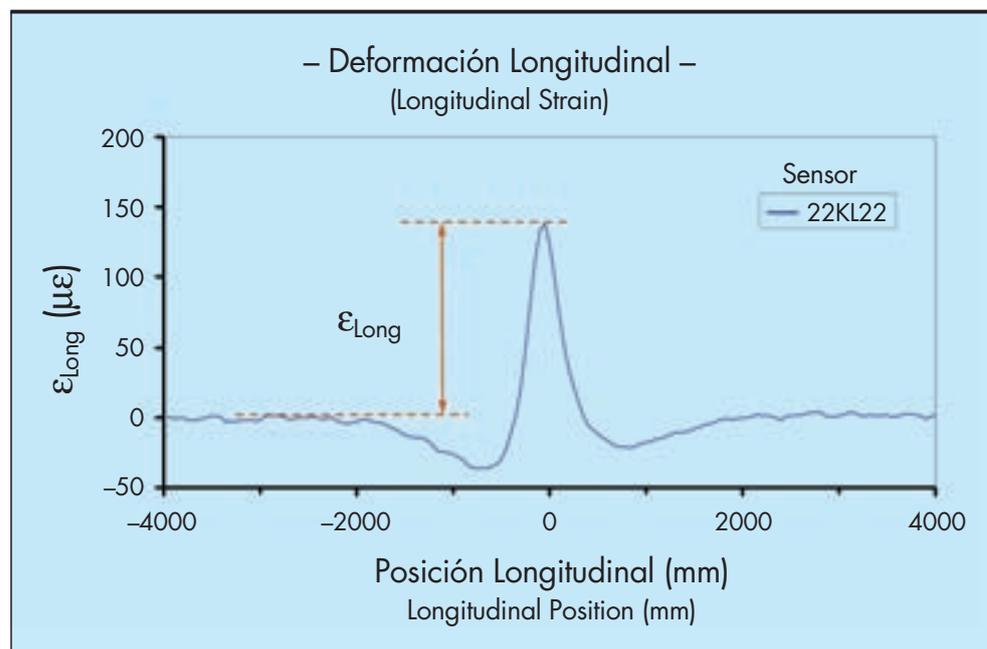


FIGURA 10. Ejemplo de curva registrada y almacenada al paso del vehículo.

que pueden ser instalados y medidos en la Pista de Ensayo (Figura 10).

El nuevo sistema de control de la instrumentación se lleva a cabo uniendo físicamente los dispositivos a través de Ethernet, y este a su vez se encuentra unido al ordenador que posee el sistema informático que gestiona el funcionamiento tanto del control de los vehículos como el de la instrumentación.

Para la adquisición de los valores de la temperatura del firme se han instalado unos autómatas que se encargan exclusivamente de recoger y almacenar en el ordenador de control, cada 5 minutos, los valores de los sensores de temperatura colocados en el firme. Se dispone de una traza cuasi continua de la temperatura del firme a distintas profundidades y de la temperatura ambiente, muy útil a la hora de desarrollar modelos o estudios mucho más detallados.

#### 4. ENSAYOS REALIZADOS

Desde la inauguración oficial de la instalación en enero de 1988 hasta la actualidad los vehículos simuladores de tráfico han recorrido más de 2,8 millones de kilómetros y han aplicado más de 56,4 millones de cargas, equivalentes cada una a un semieje de 13 t. Sin tener en cuenta los períodos en los que los vehículos simuladores de carga no circularon, por construcción de secciones, labores de mantenimiento, cambios en la instalación, etc., por la pista de ensayos de firmes han circulado de media más de 90 vehículos pesados por hora.

Los principales objetivos que persiguen los ensayos realizados en la pista de ensayo han sido fundamentalmente:

- La comparación de secciones de firmes sometidas al paso controlado de una carga tipo.

Se ha llevado a cabo estudiando la evolución de los deterioros que se han producido con la repetición de cargas, obteniendo finalmente una lista ordenada de las secciones según el número de aplicaciones de carga que habían soportado hasta el fallo. Para realizar la clasificación de las secciones estructurales ensayadas se mar-

can unos criterios de fallo para cada indicador del estado funcional o estructural de las secciones. Una vez marcados estos criterios de fallo únicamente hay que ordenar las secciones en función del número de aplicaciones de carga de cada una de ellas hasta alcanzar dicho nivel. De esta forma se puede determinar la clasificación de las secciones de ensayo desde un punto de vista funcional y estructural.

- Validación y calibración de modelos de dimensionamiento de firmes y desarrollo de nuevos modelos.

A partir de los datos obtenidos con la instrumentación, se ha comprobado la validez de los modelos analíticos y al mismo tiempo la evolución en el tiempo de los diferentes mecanismos de deterioro en función de las condiciones ambientales y las repeticiones de cargas.

En estos primeros 25 años de funcionamiento todos los ensayos realizados fueron solicitados y financiados por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. A continuación se resume cada uno de ellos.

##### 4.1. PRIMER ENSAYO: "PRIMER ENSAYO EN LA PISTA A ESCALA NATURAL"

En el primer ensayo la investigación se centró en las secciones 321 y 322 del catálogo de la Instrucción 6.1y 2-IC, Secciones de firme, vigente en el año 1988. La primera de ellas tenía un gran espesor de material granular (25 de zahorra artificial más 25 cm de zahorra natural) y 15 cm de mezcla bituminosa. La segunda tenía un espesor menor de material granular (25 cm de zahorra artificial) y mayor de mezcla bituminosa (18 cm). Se analizaron variantes de estas secciones manteniendo los mismos espesores y tipos de las capas inferiores, pero variando el espesor de las capas bituminosas.

El objetivo principal del ensayo fue comparar la vida de servicio de dos secciones del catálogo propuestas como soluciones alternativas para unas mismas condiciones de proyecto. Se trataba también de determinar la sensibilidad de estas secciones a los decrementos de espesor de la capa de mezcla bituminosa (Figura 11).

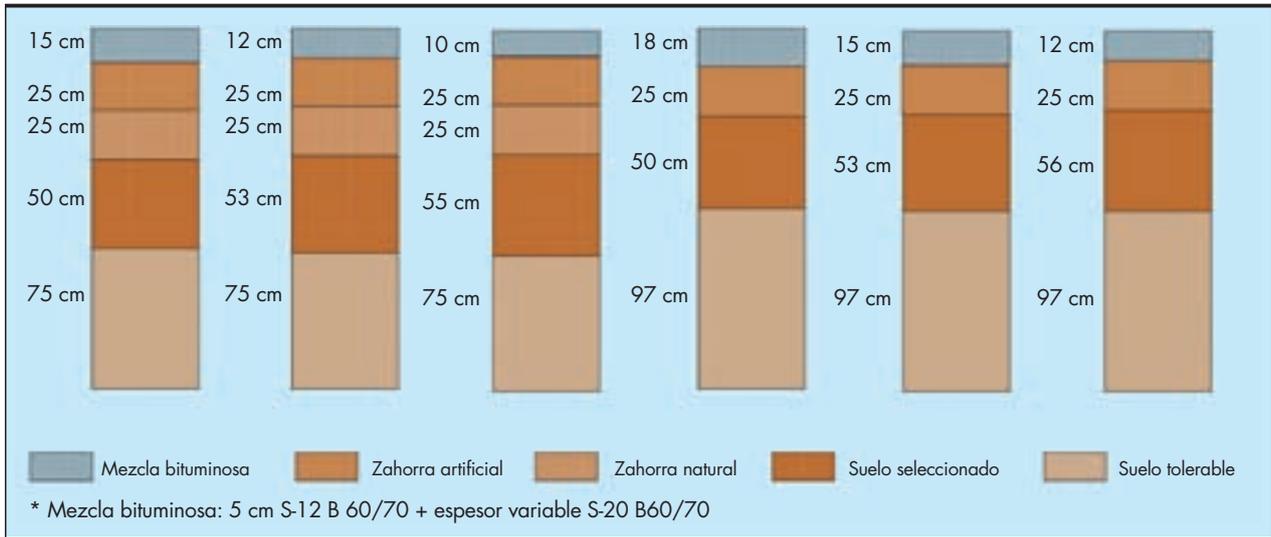


FIGURA 11. Secciones de firme del primer ensayo de la pista.

Los deterioros considerados en este ensayo fueron:

- Variación de regularidad superficial, obteniendo los perfiles transversales de los distintos tramos (Figura 12).
- Fisuración de la superficie de rodadura mediante inspecciones visuales periódicas.
- Pérdida de capacidad de soporte asociada a la medida de deflexión con deflectómetro de impacto.

#### 4.2. SEGUNDO ENSAYO: "ENSAYOS EN LA PISTA DE FIRMES A ESCALA REAL (1994-1996)"

Como objetivo principal del ensayo se estableció la determinación de la vida de servicio relativa de las secciones con pavimento de mezcla bituminosa apoyado sobre diferentes bases:

zahorras, suelocemento o gravacemento. Asimismo se analizó el procedimiento seguido en el catálogo para la disminución de espesor de los firmes al pasar de la explanada tipo E2 a la tipo E3 (Figura 13).

Con el fin de acelerar el ensayo se hizo en las condiciones más desfavorables en cuanto al nivel freático, situando éste a 80 cm de la superficie de la explanada.

Se realizaron más de una decena de auscultaciones de los firmes ensayados, con el objetivo de evaluar el deterioro de la regularidad superficial transversal, de la capacidad de soporte y de la fisuración superficial. Se añadieron ensayos para determinar la regularidad longitudinal midiendo el Índice de Regularidad Internacional (I.R.I.), además se midió la evolución de la textura superficial y la resistencia al deslizamiento con el paso repetido del tráfico.

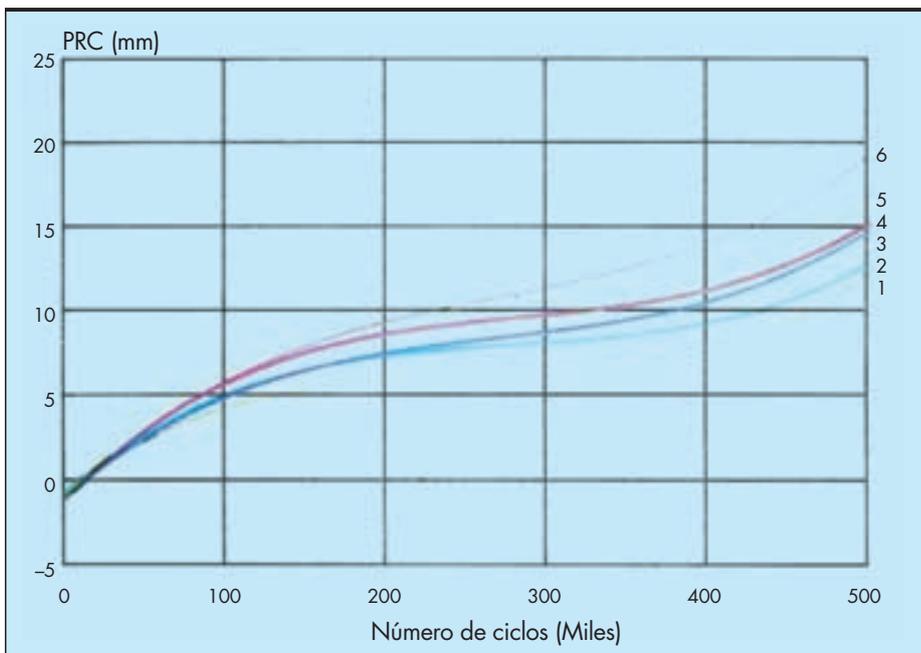


FIGURA 12. Curvas de evolución de profundidad de rodadura con número de ciclos.

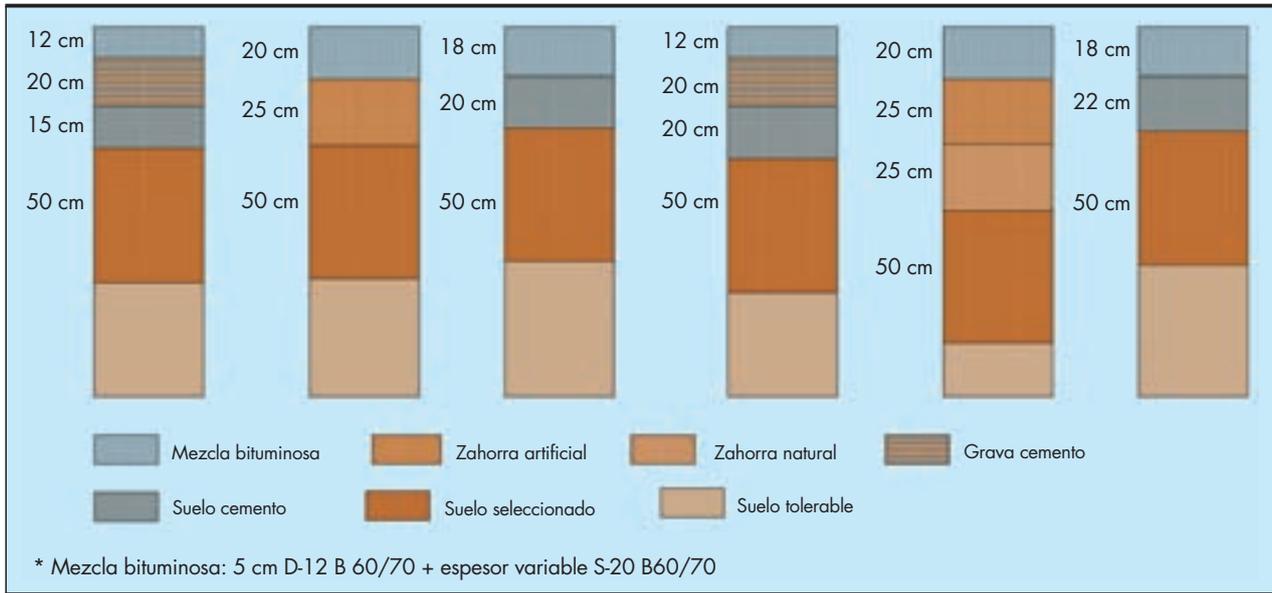


FIGURA 13. Secciones de firme del segundo ensayo de la pista.

Los tramos curvos no están proyectados para el análisis estructural de los firmes porque la trayectoria del vehículo induce agrietamiento superficial pero no estructural por esfuerzos tangenciales. Dadas las características de estos tramos, en este ensayo las zonas de curva se aprovecharon para la realización de un ensayo de durabilidad de diferentes materiales utilizados en las marcas viales.

Los materiales se aplicaron transversalmente y se ensayaron: diversos tipos de pinturas, plásticos de aplicación en frío, termoplástico de aplicación en caliente, añadiendo en todos los casos tanto microesferas de vidrio convencionales como tratadas, y cintas prefabricadas.

Se determinó la evolución de las marcas viales en función del número de pasadas del vehículo y cómo afectaba su paso y las condiciones ambientales a los diferentes productos. En la evaluación periódica se incluyó: el coeficiente de resistencia al deslizamiento y el grado de deterioro, el coeficiente de retroreflexión para determinar la visibilidad nocturna y la medida de visibilidad diurna.

#### 4.3. TERCER ENSAYO: "ENSAYOS EN LA PISTA DE FIRMES A ESCALA REAL (1ª FASE)"

Se enfocó al estudio de las secciones de explanadas contempladas en la Instrucción 6.1 y 2-IC. Para ello, se ensayaron seis secciones con diferente tipo de explanadas y la misma capa de mezcla bituminosa (Figura 14). Una de las seis explanadas, que se tomó como tipo o referencia, puede clasificarse como de tipo E3. La diferencia entre las seis secciones se concretó en los espesores de las capas y los materiales que constituyen la coronación de la explanada, entre el terraplén y el firme. En una de las secciones se colocó un geotextil de refuerzo antes de la coronación para separar el suelo tolerable del suelo seleccionado. La experimentación de esta primera fase se inició en los primeros meses de 1998 y se prolongó hasta diciembre de 2000.

En este ensayo, se dispuso la misma mezcla bituminosa tipo semidensa fabricada con betún asfáltico para todas las secciones, de manera que fuese lo suficientemente flexible para seguir las deformaciones verticales esperables en las diferentes



FOTOGRAFÍA 11. Ensayo de marcas viales en la pista.

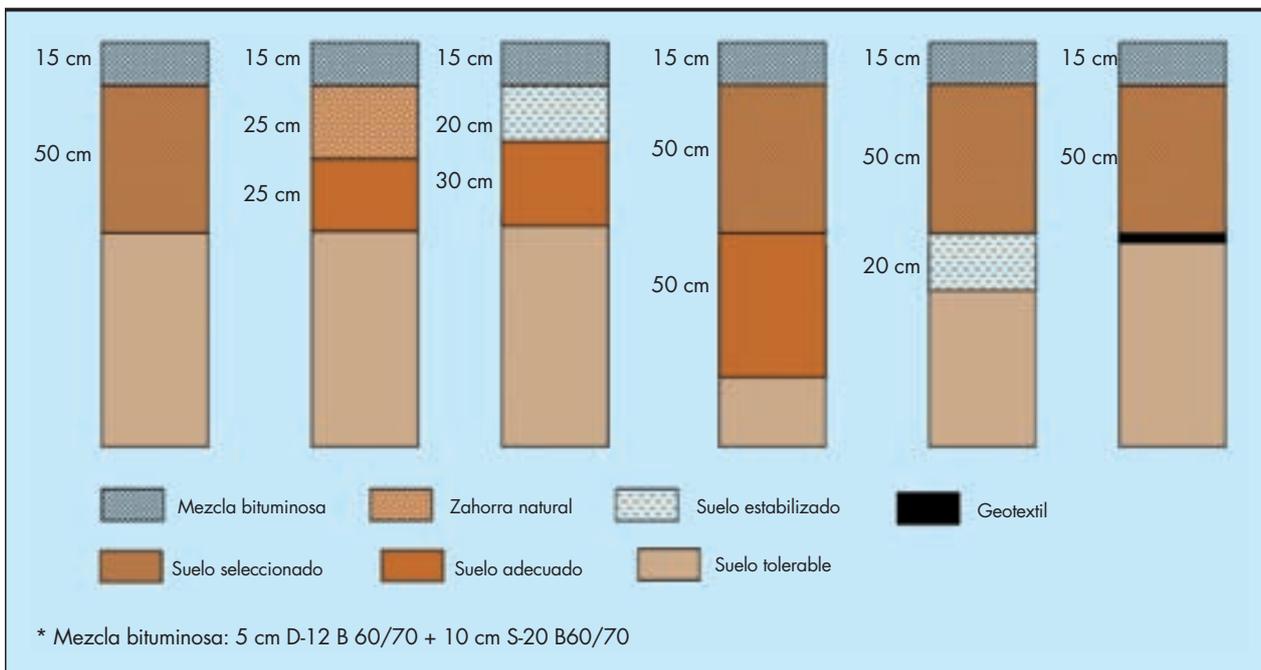


FIGURA 14. Secciones de firme del tercer ensayo de la pista (1ª Fase).

explanadas. El ensayo se realizó introduciendo agua en la explanada con el nivel freático a 100 cm bajo la coronación.

Asimismo, se incluyeron cuatro tratamientos superficiales tipo microaglomerado en caliente, que se ensayaron en las curvas de la instalación.

#### 4.4. CUARTO ENSAYO: "ENSAYOS EN LA PISTA DE FIRMES A ESCALA REAL (2ª FASE)"

Se adoptó como explanada de referencia la misma que se tomó en la primera fase, una explanada calificada como E3

por la Instrucción 6.1 y 2-IC. Las otras cinco soluciones ensayadas fueron diseñadas por la Dirección General de Carreteras de acuerdo con los resultados obtenidos en la primera fase. El firme que se colocó fue el mismo en las seis secciones (12 cm de mezcla bituminosa) (Figura 15).

Se planteó como continuación del ensayo anterior, particularizando en el estudio de la influencia de la incorporación de suelos de diferente calidad entre la coronación y el suelo de baja calidad del terraplén, y el efecto beneficioso de la incorporación de una capa estabilizada con cemento en la corona-

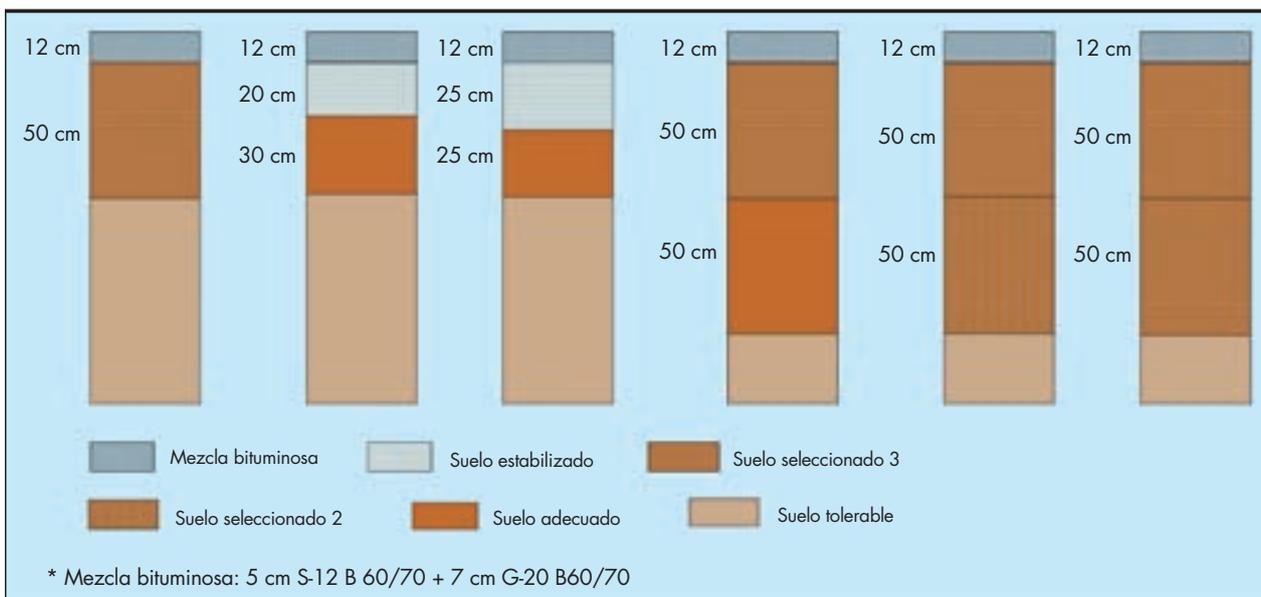


FIGURA 15. Secciones de firme del cuarto ensayo de la pista (2ª Fase).

ción y la sensibilidad de la vida de servicio respecto del espesor de dicha capa.

Nuevamente el ensayo se realizó con el nivel freático en las condiciones más desfavorables posibles admitidas en la normativa que eran 100 cm por debajo de la superficie de la explanada.

Como novedad el ensayo se hizo cubriendo con una estructura metálica las secciones rectas para reducir el impacto de las condiciones ambientales.

Se incluyeron cuatro capas de rodadura dosificadas con ligante modificado cuyo ensayo se realizó en las partes curvas de la instalación. Para ello se extendió como base una mezcla de alto módulo y como rodaduras respectivamente: mezclas discontinuas F-10 y M-10, mezcla tipo drenante PA-12, las tres mezclas fabricadas con betún modificado BM-3c, y un microaglomerado en frío tipo LB-2 fabricado con emulsión modificada ECL-2d-m.

En las dos secciones rectas se dispuso como en el ensayo anterior la misma mezcla bituminosa de tipo flexible.

Además de los deterioros considerados en la fase anterior, se incluyeron: medidas adherencia neumático-pavimento, textura, desprendimiento de áridos y permeabilidad.

La fase de aplicación de cargas se realizó desde el mes de febrero de 2002 hasta el mes de octubre del mismo año (9 meses), con la aplicación de un total de 550.000 cargas equivalentes a 13 t por eje por parte de los vehículos simuladores de tráfico. Esta operación equivale al paso de 1,1 millones de vehículos pesados, dadas las actuales características del vehículo pesado medio en España.

**4.5. QUINTO ENSAYO: "ENSAYO DE EXPLANADAS EN LA PISTA DE FIRMES A ESCALA REAL DEL CEDEX"**

Se dirigió de nuevo a la caracterización y el análisis del comportamiento de explanadas para validar los resultados obtenidos en el ensayo anterior. En particular se estudiaron dos grupos de alternativas: estabilización con cemento de la capa de coronación; introducción de una capa intermedia entre el núcleo de suelo tolerable y la coronación de suelo seleccionado (Figura 16).

Respecto a las condiciones de ensayo, para simular lo más fielmente posible las condiciones reales de un firme en servicio, se realizó sin cubrir, de forma que se recibiera la insolación y lluvias naturales.

En los tramos rectos se dispuso como mezcla bituminosa una capa de base tipo G-20 y encima como rodadura una mezcla discontinua tipo M-10 fabricada con betún modificado BM-3c. En las curvas se dispuso respectivamente mezcla drenante PA-12 y mezcla M-10, en ambos casos las mezclas se colocaron en dos espesores diferentes y fueron fabricadas con BM-3c.

Como criterios de fallo para decretar el fin de la vida útil de las secciones se dispuso: la fisuración de la mezcla bituminosa con un mínimo de 15% de longitud con agrietamiento generalizado o deformación permanente con un valor mínimo de 20 mm de profundidad de rodera.

Durante el ensayo se realizaron más de 20 auscultaciones para verificar el estado de las secciones a lo largo del mismo, las medidas incluyeron:

- Evaluación del estado estructural del firme: capacidad de soporte, deformación permanente, fisuración superficial (Figura 17).
- Evaluación de las características superficiales del firme: regularidad longitudinal, textura de la capa de rodadura, resistencia al deslizamiento, capacidad de drenaje.
- Medidas complementarias: precipitación, humedad de los suelos, temperatura de las mezclas bituminosas.

La fase de aplicación de cargas se realizó desde el mes de agosto de 2007 hasta el mes de mayo de 2012 (58 meses), con la aplicación de un total de 1.855.648 cargas equivalentes a 13 t por eje por parte de los vehículos simuladores de tráfico. Esta operación equivale al paso de 2,4 millones de vehículos pesados, dadas las actuales características del vehículo pesado medio en España.

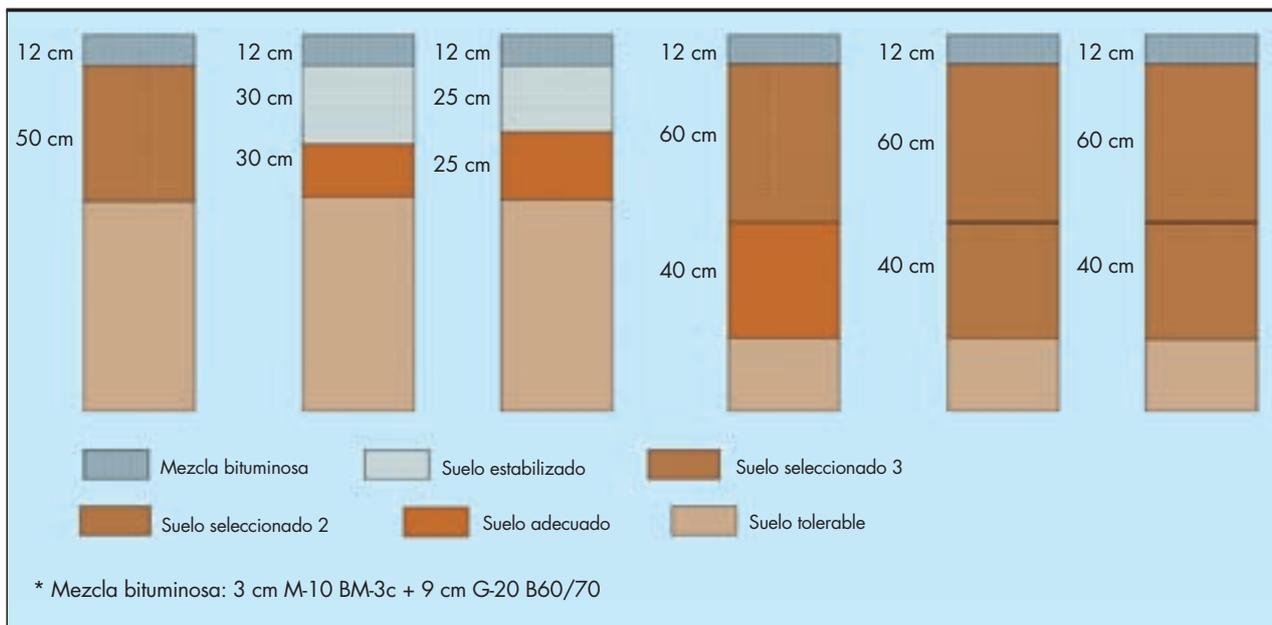


FIGURA 16. Secciones de firme del quinto ensayo de la pista.

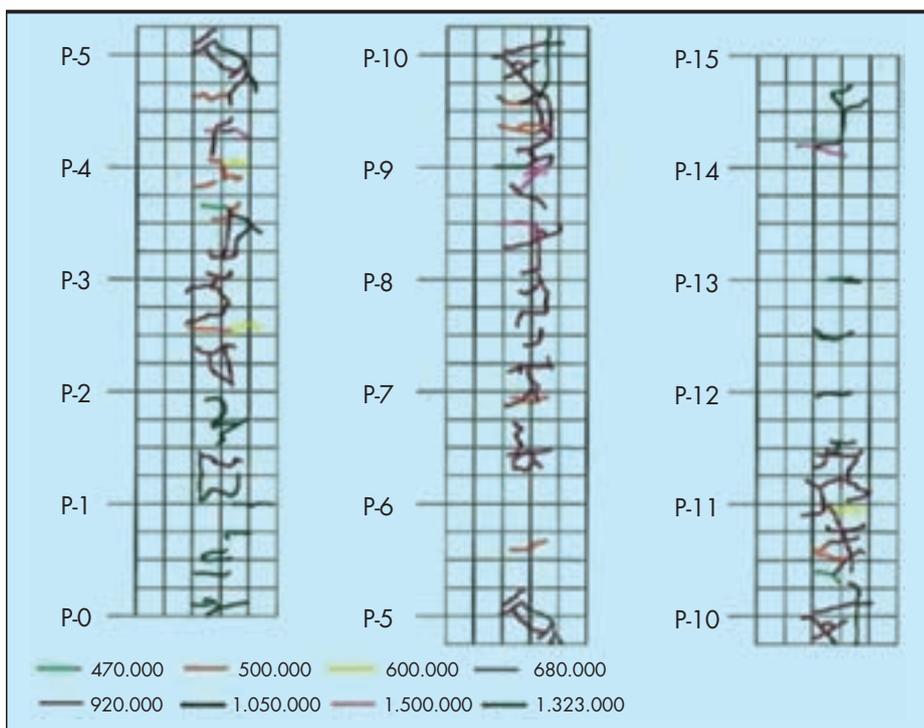


FIGURA 17. Evolución del mapa de fisuración de una sección.

## 5. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

En estos 25 años de funcionamiento además de los correspondientes informes técnicos elaborados, la información obtenida a partir de la Pista de Ensayos ha contribuido en múltiples comunicaciones presentadas en congresos y artículos en diversas revistas.

Destaca la organización por parte del CEDEX en el año 2008 del Tercer Congreso Internacional del Ensayo Acelerado de Firmes (APT'08), único celebrado hasta el momento fuera de los Estados Unidos de América.

Las aportaciones más importantes ordenadas por orden cronológico han sido las siguientes:

- La pista de ensayo a escala real del Centro de Estudio de Carreteras. A. Ruiz Rubio, R. Romero Amich. Revista Ingeniería Civil nº 63/1987.
- Analysis of deflections on a test track. A. Ruiz Rubio, R. Romero Amich, J. Pérez Ayuso. Paper NDT-040 Symposium on non-destructive testing and back calculation for pavements, USA 1991.
- Resultados del primer ensayo efectuado en la pista del Centro de Estudios de Carreteras (1ª parte). R. Romero Amich, A. Ruiz Rubio. Revista Ingeniería Civil nº 79/1991.
- Primeros estudios con modelos en la pista de ensayo del CEC, desarrollo de un programa de cálculo inverso y aplicación a los resultados de la instrumentación. A. Aparicio Mourelo. Revista Ingeniería Civil nº 76/1991.
- First Test on the CEDEX test track. R. Romero Amich, A. Ruiz Rubio, J. Pérez Ayuso, Transportation Research Record nº 1354/1992.
- Use of GPR to obtain layer thickness variation in a test track. E. Lorenzo, I. Fernández, V. Cuellar. European association exploration geophysicists, Francia 1992.
- Resultados del primer ensayo efectuado en la pista del Centro de Estudios de Carreteras (2ª parte). R. Romero Amich, A. Ruiz Rubio. Revista Ingeniería Civil nº 83/1992.
- Resultados del primer ensayo efectuado en la pista del Centro de Estudios de Carreteras (3ª parte). R. Romero Amich, A. Ruiz Rubio. Revista Ingeniería Civil nº 85/1992.
- La pista de ensayo de firmes del CEDEX. Experiencias realizadas. A. Ruiz Rubio, R. Romero Amich, J. Pérez Ayuso. Congreso Mundial Federación Internacional de Carreteras (IRF), España 1993.
- Comportamiento de las marcas viales en ensayos acelerados en la pista de El Goloso. M. Blanco, A. Cuevas, R. Rodil. Congreso Mundial IRF, España 1993.
- Caracterización dinámica de las capas de la pista de ensayos del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX mediante el análisis espectral de ondas superficiales. V. Cuellar, J. Valerio, F. Muñoz. Congreso Mundial IRF, España 1993.
- Resultados del primer ensayo efectuado en la pista del Centro de Estudios de Carreteras (4ª parte). R. Romero Amich, A. Ruiz Rubio. Revista Ingeniería Civil nº 88/1993.
- Tratamiento digital de la señal en la pista de ensayos de firmes del Centro de Estudios de Carreteras. O. González Romero. Revista Ingeniería Civil nº 90/1993.
- Medidas con sensores de la pista de ensayos del CEDEX. R. Romero Amich, A. Ruiz Rubio, J. Pérez Ayuso. Congreso Mundial de Carreteras, Canadá 1997.
- Installation and análisis of sensors used in the full scale test track of the road studies centre (CEDEX). B. Mingo, J. Pérez Ayuso, J. Aleixandre, J. Bueno, J. Tamarit. International symposium on automation and robotics in construction, España 1999.

- Data acquisition real-time system for the testing track facility of the Road Studies Centre (CEDEX). J. Tamarit, J. Bueno, J. Aleixandre, B. Mingo, J. Pérez Ayuso. International symposium on automation and robotics in construction, España 1999.
- Sistema de adquisición de datos en tiempo real de la pista de ensayos acelerados de firmes del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX. B. Mingo, J. Pérez Ayuso, J. Aleixandre, J. Bueno, J. Tamarit. Revista Ingeniería Civil n° 114/1999.
- Plan de instrumentación del 3º ensayo en la pista de ensayos a escala real del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX. J. Tamarit, J. Bueno, J. Aleixandre, B. Mingo, J. Pérez Ayuso. Revista Ingeniería Civil n° 115/1999.
- Instrumentation at CEDEX test track. A. Mateos, J. Pérez Ayuso, R. Romero Amich, R. Rodil. International conference on the bearing capacity of roads, railways and airfields, Portugal 2002.
- Influence of moisture changes in subgrade performance. J. M. Baena Rangel, J. Pérez Ayuso, R. Rodil y R. Romero Amich. Jornada Técnica Internacional sobre el agua en explanada y capas de firmes, España 2005.
- Flexible pavements dynamic response under a moving wheel. A. Mateos, P. de la Fuente, J. Pérez Ayuso. International conference of accelerated pavement testing, España 2008.
- Managing data from instrumentation in the CEDEX test track. J. Pérez Ayuso, B. Cadavid Jáuregui, A. Mateos. International conference on accelerated pavement testing. España 2008.
- Managing data from instrumentation in accelerated pavement testing. J. Pérez Ayuso, B. Cadavid Jáuregui, A. Mateos. International symposium on non-destructive testing for design evaluation and construction inspection. Eslovenia 2008.
- Managing data from instrumentation in the CEDEX test track. J. Pérez Ayuso, B. Cadavid Jáuregui, A. Mateos. International symposium on automation and robotics in construction (ISARC), USA 2009.
- El ensayo acelerado de firmes como herramienta básica de investigación en carreteras. A. Mateos, J. Pérez Ayuso. Revista Carreteras n° 164/2009.
- Shift factors for asphalt fatigue. A. Mateos, J. Pérez Ayuso, B. Cadavid Jáuregui. Journal of the Transportation Research Board n° 2225/2011.
- Aplicación del método recursivo-incremental CALME a la evaluación del estado estructural de los pavimentos bituminosos. A. Mateos, J. Pérez Ayuso, B. Cadavid Jáuregui, J. O. Marrón Fernández. Revista Ingeniería Civil n° 164/2011.
- Evolution of asphalt mixture stiffness under the combined effects of damage, aging, and densification under traffic. A. Mateos, J. Pérez Ayuso, B. Cadavid Jáuregui. Journal of the Transportation Research Board n° 2304/2012.
- Lessons learnt from the application of Calme asphalt fatigue model to experimental data from CEDEX test track. A. Mateos, J. Pérez Ayuso, B. Cadavid Jáuregui, J. O. Marrón Fernández. International conference of accelerated pavement testing, USA 2012.

- Structural response of cracked pavements. A. Mateos, J. Pérez Ayuso, B. Cadavid Jáuregui. Annual meeting of the Transportation Research Board, USA 2013.

## 6. FUTURO DE LA PISTA DE ENSAYO ACELERADO DE FIRMES

Los firmes de carretera no se diseñan para soportar la aplicación de una carga de una determinada magnitud, sino para un número limitado y tasado de repeticiones de cargas. Ocurre que cuando se introduce un nuevo producto, en la mayor parte de las ocasiones, la demostración de sus bondades se limita a unos determinados ensayos de laboratorio. A lo sumo se hacen unos tramos de control que se siguen durante uno, dos, pero raramente más de tres años. Los ensayos de laboratorio son una buena aproximación a la realidad y, por supuesto, los tramos de ensayo son útiles, pero no del todo a los tres años, cuando se espera que su vida útil sea de 10 o 20 años. Es decir, hay un vacío entre esas pruebas y la realidad bastante considerable.

Instalaciones como las Pistas de Ensayo Acelerado deberían ser herramientas imprescindibles en la aceptación de nuevos materiales y de métodos constructivos. La comparación de distintas soluciones en cortos periodos de tiempo de ensayo, sería utilísima para la demostración de las mejoras que los nuevos materiales, soluciones o métodos constructivos proporcionarían frente a los existentes. Se trata, en definitiva, de la posibilidad de disminuir considerablemente esa distancia entre la teoría y la realidad, y además de forma rápida, económica, rigurosa y fiable.

Son muchas otras las aplicaciones que puede darse a este tipo de instalaciones, entre ellas la valoración de las afecciones al entorno cuando se emplean ciertos materiales, por medio de la medición de la contaminación del terreno natural o los acuíferos. Se puede determinar también, la influencia de aditivos, materiales secundarios o los diversos métodos de rehabilitación.

Todas las actividades deberían ir acompañadas de una adecuada política de comunicación e implementación de los resultados obtenidos en la tecnología de firmes de carreteras.

Como resumen, habría que señalar que la Pista de Ensayo Acelerado de Firmes se encuentra en una relativa juventud en lo referente al uso que ha tenido, si se le compara con las enormes posibilidades que deberían aprovecharse en el futuro. Sería deseable un larguísimo recorrido si todos los involucrados en la planificación, proyecto, construcción, conservación, y gestión optan por una metodología rigurosa, económica y fiable que esté al servicio de la auténtica innovación de productos que aporten un valor añadido a los usuarios, a los administradores de carreteras, a la industria y en general a toda la sociedad.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren manifestar su agradecimiento a todos los técnicos que durante estos 25 años han desarrollado parte de su vida laboral en los trabajos realizados en la Pista de Ensayos Acelerados de Firmes del CEDEX y que gracias a cuya labor se encuentra en la primera línea de este tipo de instalaciones a nivel mundial. No solamente los que han prestado su servicio de forma directa en la Pista, sino también el personal del resto de las Áreas que componen el Centro de Estudios del Transporte, así como los pertenecientes a otros centros del Organismo que han participado en los trabajos que se han desarrollado en la Instalación, como son el Laboratorio de Geotecnia, el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales y el Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas.