

Nuevas soluciones de transferencia de cargas en construcción y reparación de carreteras, ferrocarriles y pavimentos de hormigón

José Ramón Vázquez Ruiz del Árbol

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Presidente de FAROBEL

Resumen

Este trabajo muestra un resumen de las pruebas llevadas a cabo con el sistema JRI+ para demostrar la eficacia y durabilidad de las juntas de retracción inducida en los pavimentos de hormigón.

La solución consiste en la transferencia **permanente** de cargas entre losas de hormigón. Esto hace posible construir los pavimentos con una sola capa, mejorando la economía, rapidez, durabilidad y seguridad. Esto también minimiza el mantenimiento y la agresión al medio ambiente.

Otra aplicación del sistema, aún en fase de desarrollo, se usa para reparar pavimentos dañados, dotándoles de transferencia **permanente** de cargas en las juntas existentes, o creando nuevas juntas, y alargando por tanto la vida útil.

Palabras clave

Transferencia de cargas, carreteras, deflectómetro, juntas, reparación de pavimentos.

1. Introducción

En los pavimentos de hormigón, la transferencia en las juntas no es permanente. Esto origina una amplia variedad de consecuencias, como la pérdida de regularidad superficial (tac-tac), la utilización de varias capas, el bombeo de finos, etcétera. El avance tecnológico en carreteras y pavimentos, en general, se basa en la experimentación. En este artículo, las pruebas presentadas tienen un orden cronológico.

Todos los diseños han de comprobarse en los diferentes lugares de aplicación, atendiendo a múltiples variables. Esta tecnología ha demostrado ser exitosa en cualquier lugar porque las variables influyen menos en las tensiones del firme: se pueden diseñar firmes capaces de tener asientos diferenciales y totales más grandes que los habituales en terraplenes, con cambios climáticos muy bruscos que impliquen fuertes gradientes térmicos y para cualquier (como es habitual) aplicación de cargas. El campo teórico no es el objeto de este artículo, sí la aportación de pruebas experimentales.

Una característica del pavimento con transferencia permanente es la posibilidad de hacer una capa de rodadura asfáltica sin que la zona de las juntas sufra erosión con el tiempo.

2. Evolución del sistema de Juntas JRI+. Pruebas realizadas

Inicialmente, en el año 1993, el objetivo era conseguir un ahorro en los espesores de hormigón de las autopistas, sin merma de la resistencia del pavimento.

2.1. Prueba 1.- Tras pruebas y ensayos previos, de entidad menor, en el año 1994, siguiendo una idea consistente en acoplar tubos-torpedo a una extendidora de hormigón, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (hoy Ministerio de Fomento) encargó la construcción de un tramo de (2)*600*7 metros de autovía en la variante de Sollana (Valencia) a Cubiertas y MZOV (hoy ACCIONA). Una sección de losa aligerada de hormigón de 40cm de canto con huecos circulares de 22cm, separados 8 cm entre sí, conseguía un firme muy resistente.



Fig. 1.- Pavimentadora con torpedos de aligeramiento y junta

Para la transmisión entre losas, debido a la dificultad de colocar pasadores entre los huecos, se ideó un sistema nuevo: basado en colocar un mallazo en el suelo, cortado siguiendo una forma de S alrededor del plano vertical de la junta, a ambos lados de dicho plano. El objetivo (conseguido) era el aumento de canto y no se ensayó con el deflectómetro de impacto (DWF).

Se pensó en un nuevo objetivo: para el correcto funcionamiento del pavimento, resultaba más importante lograr una buena transmisión de cargas, sin escalones en las juntas. Hasta entonces la transmisión se lograba con la acción simultánea de pasadores y buenas capas de base, pero era una solución que se deterioraba con el tiempo, incluso antes de cumplirse la vida útil del pavimento.

2.2. Prueba 2.- En el año 1997 Puertos del Estado hizo pruebas estáticas en explanadas de contenedores en Valencia y Las Palmas. Se llevaron hasta rotura las losas de 5*5*0,35 metros colocando contenedores en las posiciones críticas de las losas (centro, bordes y esquina) siendo los resultados los siguientes (Publicados en la EROM 98.1 de Puertos del Estado):

Punto de Aplicación	CARGA DE ROTURA (TONELADAS)	
	BORDES LIBRES (Sin junta JRI)	BORDES APOYADOS
CENTRO	46,4 Toneladas	78 (Con junta JRI)
ESQUINA	53,1 Toneladas	> 90 (Con junta JRI)
BORDE	32,0 Toneladas	87 (Con junta JRI)
BORDE		60 (Con encofrado trapezoidal)

Fig. 2.- Comparación de las cargas de rotura en losas de 5*5*0,35

La carga de rotura pasó de 32 Toneladas a 78 Toneladas con el sistema JRI+.

La conclusión fue que tener los bordes apoyados y transferir carga a las losas colindantes pasó a ser lo importante. La losa se apoya en el suelo y en las colindantes. El apoyo en las colindantes siempre actúa,

y es el único apoyo si el suelo falla. Esta JRI+1 transfería la carga a través de las superficies rugosas verticales, resultantes de la retracción.

2.3. Prueba 3.- En el mismo año 1997, la Demarcación de Carreteras del Estado en Cataluña encargó a la UTE FCC-Dragados la construcción de un tramo de 60*14 metros, construido con losas de 3*3,5*0,2 metros, en la autopista A2 de entrada a Barcelona con la JRI+1 (la misma empleada en las pruebas 1 y 2). Este tramo del P.K. 22,405 al 22,465 del proyecto de Pallejà (P.K. 597,000 de la A2) se puso en servicio el año 1998 con un tráfico de más de 100.000 vehículos al día. Antes de abrirse al tráfico se pasó el DWF, y se sacaron testigos, no dando los resultados esperados en alguna de las juntas.

Se analizó el tema en profundidad concluyendo que el sistema era eficaz mientras el mallazo de acero era capaz de mantener juntas las losas. En caso contrario, las paredes de la fisura creada en el hormigón y en el asfalto no conseguían transmitir las cargas.

Los cortes del mallazo para conseguir la transmisión no consiguieron superficies inclinadas de apoyo. Se observó que de las 21 juntas existentes fallaban la primera, dos intermedias y la última: El sistema sólo servía para varias losas seguidas, 5 o 6 losas de 3 metros. La primera y la última sólo tenían apoyo del asfalto en el hormigón, por lo que lógicamente las juntas fallaron.

El resultado de las pruebas de Puertos del Estado fue bueno porque el ensayo se llevó a cabo en losas aisladas. Es decir, el sistema no funciona con una longitud grande, siendo necesario cambiar el sistema de transmisión. El objetivo pasó a ser una junta que funcionara independientemente de cuál sea la longitud del pavimento. Una junta puede actuar bien en el sentido de la anchura de la carretera y no hacerlo en sentido longitudinal.

No obstante, el resultado tras más de 15 años de uso ha sido espectacular y el firme está claramente mejor que el firme del resto de la autopista como se ve en las fotos siguientes, obtenidas el año 2012:



Fig.3.- Estado del firme de la autopista con 20cm de hormigón y 4cm de asfalto en zona de junta con buena transmisión

El carril de la derecha se ve con un ligero desgaste. Es de destacar que la fisura de reflexión de la junta de hormigón en el aglomerado no tiene ninguna erosión. Esto indica la buena transmisión de cargas en las juntas.

Fig.4.- Estado del firme de la autopista con 35cm asfalto a 15 metros de la foto anterior

Esta foto corresponde a la sección de 35cm de mezcla bituminosa (Sección 0031 de la instrucción de carreteras española 6.1-IC). Se observa el carril derecho más desgastado, con grietas y roderas longitudinales, estando el arcén y la raya blanca igual que en la foto anterior.

La conclusión de esta prueba es que demuestra la durabilidad de la carretera cuando se emplea una capa de hormigón con transferencia de cargas permanente y encima una capa de mezcla asfáltica.

La otra conclusión es que las juntas que no funcionan bien erosionan la capa de asfalto, creando una discontinuidad que es necesario reparar.

2.4. Prueba 4.- En el año 1998 la Generalidad de Cataluña encargó la construcción de un tramo de 300*7 metros a Freixenet (Acciona) en la carretera de Castellbisbal C-1413a con una nueva junta, la junta JRI+2, con un tráfico (T0) muy intenso de camiones. El sistema está funcionando, salvo alguna junta aislada, con un pavimento constituido de 20 cm de hormigón de 4MPa de resistencia característica a flexotracción y 4 cm de capa asfáltica, sobre la explanada existente.

2.5. Prueba 5.- Pavimento en la explanada de Las Palmas. Se experimentó la junta JRI+2 en el puerto de Las Palmas (Cubiertas) y se consiguió un buen funcionamiento del pavimento. Se sacó un testigo que se envió al CEDEX para su observación. La elaboración y el montaje manual tenían un coste elevado, por lo que se abandonó también la JRI+2.

2.6. Prueba 6.- En el año 2001 se hizo la Junta JRI+3 y se probó por primera vez en una explanada de ATLL (Aigües Ter-Llobregat). Su comportamiento es bueno. Esta junta se hacía en fábrica y se colocaba manualmente en obra. El coste disminuyó sensiblemente y el funcionamiento es bueno. Se empezó a comercializar el producto logrando ejecutarse más de 50 obras, algunas de las cuales se mencionan en las pruebas siguientes:



Fig.-5 Croquis de losa resultante, dentado entre losas y testigo en la junta

2.7. Prueba 7.- En el año 2003 Se hicieron dos pruebas de 100 metros en Cornellá de Llobregat para la ejecución de los tranvías de Barcelona. La UTE (COMSA; FCC; CUBIERTAS y ALSTOM) realizó la obra y encargó a GEOCISA la realización del ensayo del deflectómetro de impacto. Las losas de 2,5 metros de anchura tenían juntas JRI+3 cada 3 metros.



Fig.- 5 Tranvía de Barcelona (Trambaix) Fig.- 6 Juntas en el tranvía de Barcelona (Trambesós) Fig.-7 Tranvía de Parla (UTE de FCC y ACCIONA)

GEOCISA comparaba las deflexiones de puntos situados a 30cm de la carga. La carga se situaba lindante a la junta y se dividía la deflexión del punto situado en la losa descargada entre la deflexión del punto situado en la losa cargada. Después la carga la situaba al otro lado de la junta y repetían las operaciones. Los resultados fueron espectaculares pues la media era superior al 99%. Esto sirvió a la ATM (Autoritat Metropolitana del Transport) para decidir que los tranvías Trambaix, Trambesós y de Sant Feliú de Llobregat se ejecutaran con las juntas JRI+3, eliminándose todas las armaduras del pavimento y las capas de base, salvo la de hormigón pobre para la sujeción correcta de los raíles. Las deflexiones son mayores, lógicamente, al tener menos capas, pero eso no es relevante para el buen funcionamiento, si las transferencias son buenas.

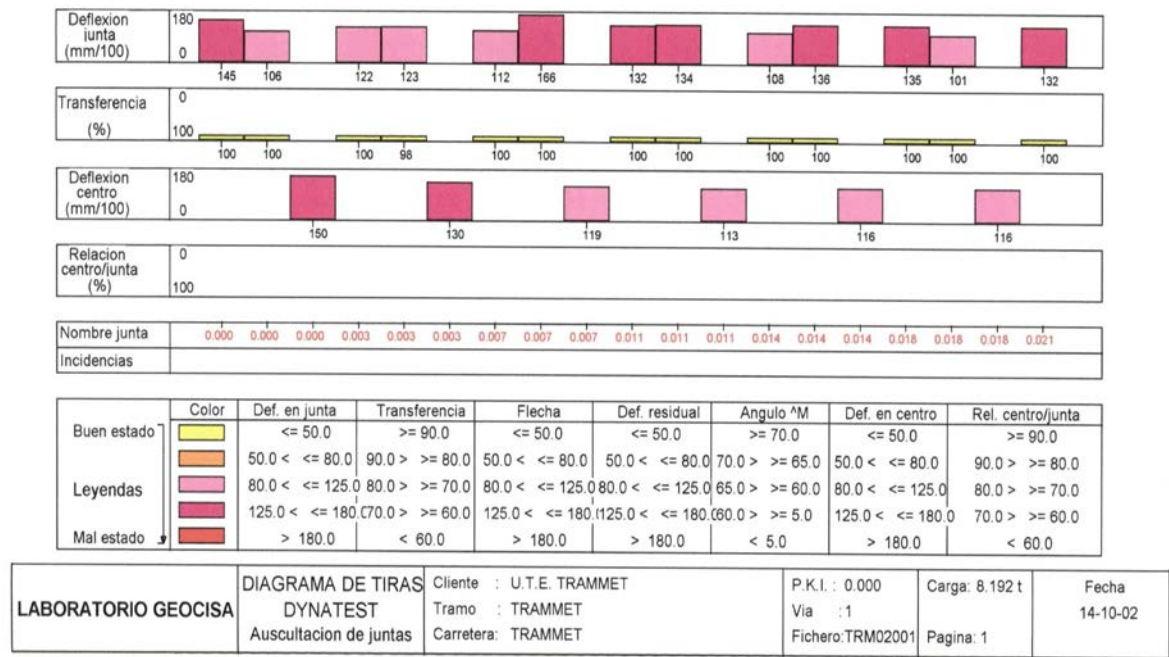


Fig.- 8 Resultados del deflectómetro (1ª hoja). Las transferencias son casi siempre 100%.

2.8. Prueba 8.- En 2005 Carreteras de la Generalidad de Cataluña decidió ejecutar cuatro tramos de 250 metros a propuesta de Construcciones Rubau (2 en terraplén y 2 en desmonte) en la Autovía de Tortosa a L'Aldea, directamente sobre la explanada natural con 20cm de HM20 y 4cm de mezcla asfáltica como rodadura. No se han hecho pruebas con el deflectómetro de impacto, pero se puede asegurar la buena transmisión porque a fecha de hoy no hay ninguna junta erosionada en el asfalto en la longitud total construida (aprox. 1 km). Las losas eran de 3,5*4,75*0,2m.

2.9. Prueba 9.- Ensayo del Laboratorio de Estructuras de la UPC para determinar la carga de rotura por cortante en una probeta con meseta central tipo JRI+.

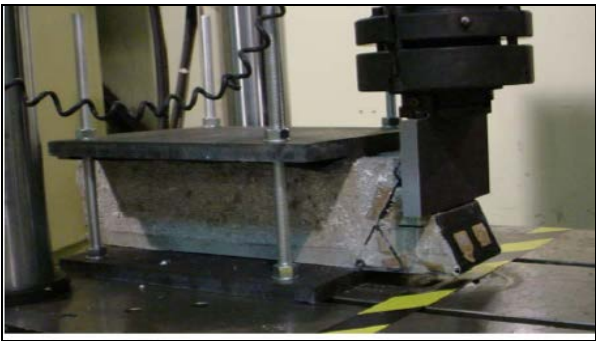
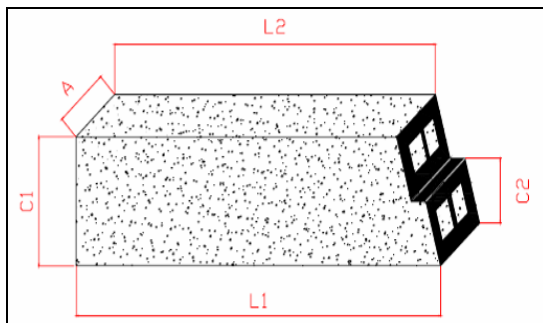


Fig.-9 Prensa para hallar la rotura a cortante del sistema



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA

Probeta (1/4 del tamaño real)	Dimensiones (mm)					Probetas (1/4 del total)	Rotura (kN)
	L1	L2	C1	C2	A		
JRI-1	575	520	130	69	110	JRI-1	15,95
JRI-2	475	420	120	69	115	JRI-2	14,56
JRI-3	500	405	175	93	125	JRI-3	23,60
JRI-4	570	500	180	93	130	JRI-4	22,60
JRI-5	570	480	210	114	130	JRI-5	20,61
JRI-6	480	390	185	114	130	JRI-6	28,70

Fig.-10 Croquis de las dimensiones de las probetas

Fig.-11 Resultados de las 6 probetas ensayadas

La carga en borde de 6.500 kg transfiere a la losa colindante un cortante aproximado de 2.000 kg. Un diente de 13 cm de ancho tiene una carga de rotura superior, por lo que haciendo dientes de longitud $2 \times 33 \times 1,1 = 72,6 \text{ cm}$ tendremos un coeficiente de seguridad mayor de 5 ($72,6/13$) que nos garantiza la durabilidad de la transmisión, en el caso de carreteras con el eje de 13 Toneladas. Esta transmisión se produce independientemente del suelo. Si el suelo es muy bueno el cortante a transferir es más pequeño. El sistema de pasadores sí necesita un apoyo bueno, pero no este sistema. (En el ensayo el extremo de la probeta está en el aire).

2.10. Prueba 10.- En el año 2006 DRAGADOS hizo un tramo de 90 metros con juntas JRI+3 para la Comunidad de Madrid. En el informe de GEOCISA se decía que los resultados de la transmisión en las juntas eran anormalmente altos ignorando el por qué. Se muestran a continuación:

ANÁLISIS DE LA FISURACIÓN TRAMO EXPERIMENTAL					
P.K.	Deflexión (mm/100)	Transferencia (%)	Flecha (mm/100)	Def. Residual (mm/100)	Huecos Ángulo °M (°)
0.000	16.1	95.27	2.0	1.998	85.047
0.000	14.5	100	0.0	3.446	90.000
0.003	15.8	93.421	1.6	3.084	87.709
0.004	14.9	100	0.5	3.313	88.091
0.007	14.5	94.245	1.4	2.343	87.709
0.007	13.4	100	0.8	1.789	86.947
0.014	17.4	100	2.1	0.576	80.910
0.014	17.3	100	2.5	2.822	80.538
0.021	14.7	97.826	1.2	1.743	86.566
0.021	16.3	95.597	1.1	3.801	85.806
0.028	22.2	100	0.0	1.543	79.796
0.028	27.2	94.313	7.3	0.504	64.049
0.035	15.9	100	1.6	0.916	83.911
0.036	14.7	100	0.1	1.327	89.618
0.042	14.8	92.308	1.6	0.169	88.091
0.043	13.9	100	0.3	0.632	88.854
0.048	16.4	100	2.8	1.689	77.957
0.049	13.7	100	0.7	0.912	87.328
0.054	17.7	100	1.5	2.383	83.911
0.055	17.0	100	1.0	3.783	86.186
0.063	13.7	94.406	0.2	6.034	90.000
0.063	14.9	100	0.9	1.895	86.566
0.071	18.8	99.412	1.9	3.146	83.157
0.072	18.3	100	0.0	4.549	90.000

Fig.-12 Resultados numéricos de las juntas ensayadas

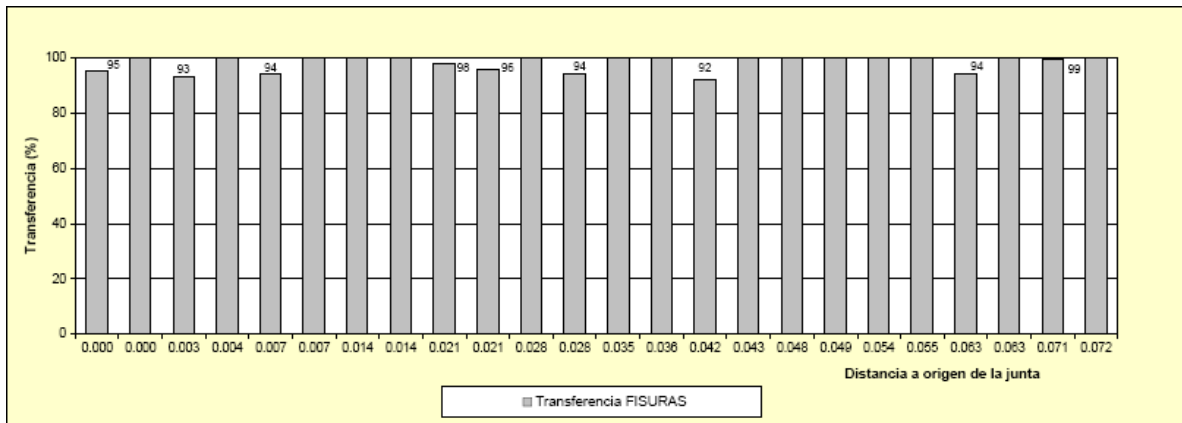


Fig.-13 Resultados en columnas de las juntas ensayadas

Esto sirvió para que Dragados propusiera la construcción de la autovía M-503 (tramo de 15 Km aprox.) con la junta JRI+3 a la Dirección de Carreteras de la Comunidad de Madrid. A día de hoy no hay erosión en ninguna de las juntas construidas, siendo las losas de 3,59*4,75*0,21m, tapadas con 4cm de mezcla asfáltica, directamente sobre la explanada natural, mejorada con cemento o cal según los tramos.



Fig.-14 Ejecución con JRI+3 transversal y longitudinal



Fig.-15 Ejecución de la 2ª fase del pavimento

2.11. Prueba 11.- En el año 2006 el Departamento de Transportes del Estado de Nueva York encargó a Surianello Construction tres tramos de 25*4*2 metros en la I-86 de Nueva York a Filadelfia con la junta JRI+3. Cada tramo con un tipo de sección (Untreated, Rubblized and Crack and Seat). El objetivo era comparar las transferencias de la junta JRI+3 con los pasadores de 32cm y 30cm de separación del proyecto de reconstrucción de la autopista.



Fig.-16 Ejecución del pavimento con JRI+3 sobre base asfáltica

Los resultados del deflectómetro de impacto obtenidos con los pasadores (primer cuadro) y con las juntas JRI+3 (segundo cuadro) son:

nov-06							Mar-07						
Before (Approach)		After (Leave)		JSR	Midslab		Before (Approach)		After (Leave)		JSR	Midslab	
Df0 mils/kip	LT (%)	Df0 mils/kip	LT (%)		SPR (%)	Df0 mils/kip	Df0 mils/kip	LT (%)	Df0 mils/kip	LT (%)		SPR (%)	Df0 mils/kip
0,22	75,43	0,22	74,10	1,00	64,56	0,18	0,24	74,33	0,24	70,90	1,03	67,16	0,45
0,29	77,55	0,30	73,56	1,04	63,24	0,28	0,40	75,24	0,40	74,08	1,01	70,49	0,52
0,26	83,37	0,27	78,48	1,05	68,02	0,23	0,38	77,36	0,39	73,69	1,04	74,23	0,82
78,78		75,37					75,64		72,88				
77,07							74,26						

nov-06							Mar-07						
Before (Approach)		After (Leave)		JSR	Midslab		Before (Approach)		After (Leave)		JSR	Midslab	
Df0 mm/kN	LT (%)	Df0 mm/kN	LT (%)		SPR (%)	Df0 mm/kN	Df0 mm/kN	LT (%)	Df0 mm/kN	LT (%)		SPR (%)	Df0 mm/kN
1,27	75,42	1,26	74,39	1,00	64,56	1,05	1,36	76,59	1,38	77,91	1,03	67,16	2,57
1,63	77,52	1,69	75,17	1,04	63,24	1,61	2,30	76,07	2,29	78,32	1,01	70,49	2,95
1,47	81,92	1,54	82,29	1,05	68,02	1,29	2,16	79,11	2,24	80,61	1,04	74,23	4,70
78,28		77,28					77,25		78,94				
77,78							78,09						

La media en los pasadores era 77,07% en noviembre de 2006 y pasó a una media de 74,26% en marzo de 2007, mientras que en las juntas JRI+3 la media pasó de 77,78% a 78,09%. (Es de destacar que la transferencia la hallan (Universidad de Ohio) como cociente entre la deflexión entre un punto a 30cm alejado de la carga y la deflexión bajo la carga. Por eso, los resultados no son próximos al 100% como inicialmente sucede al considerar cocientes entre puntos situados a 30cm de la carga, como hace GEOCISA).

La conclusión es que, en los pasadores, el tráfico hizo disminuir la eficacia de la transmisión, mientras que no lo hizo con las juntas JRI+3.

Surgió un problema superficial: el descascarille en los bordes transversales (spalling). La junta JRI+3 ha de quedar 2 o 3 cm por debajo de la superficie para no ser arrastrada por la pavimentadora por la necesidad de pasar por encima para vibrar el hormigón. En las carreteras españolas, en que se había probado el sistema, se ejecutaba una capa de asfalto para rodadura y no se había detectado el problema del acabado en hormigón. La solución era que el borde superior de las juntas coincidiera con la rasante o estuviera muy próximo a la rasante. Se quedó en resolver el problema y volver a hacer otra prueba para homologar las juntas en el Estado de Nueva York. Llegó la crisis a la Sección de I+D del Departamento de Transportes del Estado de Nueva York, en la que se despidió a todo el personal, quedando éste y otros proyectos de carreteras suspendidos temporalmente (hasta la fecha).

2.12. Prueba 12.- En el año 2009 se fabrica la primera Junta JRI+4, que da solución al problema del descascarille de los bordes transversales en los pavimentos acabados en hormigón. Es una junta con

paredes verticales que sirve para introducir en el hormigón fresco y quedarla a la cota de rasante. Tiene una plataforma horizontal (al igual que la JRI+3 que permite la transmisión de cargas permanente): La diferencia fundamental es que es posible su colocación después del vertido del hormigón, eludiendo el estorbo de su colocación previa y eliminando el descascarille, que era el objeto de su creación.

El objeto de todas ellas es dejar apoyados los bordes libres resultantes de la retracción de los pavimentos de hormigón, para transferir las cargas, de modo permanente, entre las losas adyacentes. La JRI+4 lo consigue con unas bandejas de polipropileno, alternadas y unidas lateralmente entre sí, que inducen la fisura y con una goma superior de impermeabilización de la fisura que enlaza todas las bandejas.

Como un aumento pequeño del espesor aumenta mucho la durabilidad, la opción adecuada es proyectar estructuralmente el firme para muchos años, por ejemplo, 200. La carga se transmite a través de la meseta existente en la bandeja de la junta. La eficacia para transmitir cargas verticales se debe a tener superficies horizontales o casi horizontales comunes a las losas. La inclinación adecuada de la meseta está en función de la longitud de la losa, el clima, la previsión de asentos, la anchura de la meseta horizontal y las características mecánicas del polipropileno empleado.



Fig.- 17 Bandejas montadas alternadamente y goma superior impermeable con detalle de esta



Fig.- 18 Junta JRI+4 y regla con vibradores y empujadores para su inserción en el hormigón fresco

2.13. Prueba 13.- Tramo de 30*7 metros de autovía en Indonesia en abril de 2013 de intenso tráfico de camiones (ejes de hasta 25 Toneladas) sobre arcilla con un pavimento de 1,32*1,5*0,22



Fig.- 20 Terreno arcilloso base del pavimento de 22cm de espesor y juntas transversales



JRI+ System: BALARAJA

SLAB	jarak 1,35 m		jarak 2,85m		jarak 3,75m		middle
	23-9	24-4	23-9	24-4	23-9	24-4	23-9
13	93	91	89	90	92	85	89
	90	90	89	90	92	88	89
	91	90	89	89	90	86	87
14	91	95	89	89	93	95	
	92	93	87	86	89	92	
	91	93	87	87	90	89	
15	96	95	91	92	97	93	
	98	94	90	91	92	87	
	97	93	88	91	92	88	
16	90	68	94	96	92	81	89
	91	59	94	96	92	83	84
	92	69	94	92	92	81	86
17	77	91	72	87	72	73	
	77	91	72	82	73	100	
	79	91	74	80	72	97	
18	77	94	88	92	95	90	
	77	91	87	91	91	90	
	78	88	87	93	90	90	
19	84	85	82	90	93	70	100
	84	85	83	91	89	73	99
	85	86	82	89	88	70	98
20	60	81	76	87			
	59	83	79	86			
	63	83	76	85			
21	84	92	90	91			84
	83	96	87	91			83
	84	94	87	91			81
22	85	90	82	87			80
	85	89	84	84			79
	86	91	83	85			80
	90	90	88	88	90	88	89

Fig. 21 Resultados del deflectómetro de Impacto.

Los resultados son el cociente entre la deflexión a 30cm y la deflexión bajo la carga. Es de destacar que la media en el centro de la losa es 89. Es decir, con el sistema comparativo de GEOCISA la transferencia es $90/89 = 100\%$ $88/89 = 99\%$ y $89/89 = 100\%$. No hubo cambios de septiembre 2013 a abril de 2014: De 90 a 90. De 88 a 88 y de 90 a 88 en los puntos situados a 1,35 2,85 y 3,75 metros del borde accesible a los camiones.

2.14. Prueba 14.- Tramo de autovía en Indonesia en junio de 2013. El Contratista local ejecutó 17 metros de carretera con tráfico de camiones de salida de cantera (ejes de hasta 30 Toneladas) sobre terreno volcánico con un pavimento de 1,32*1,17*0,22 (Losas muy pequeñas apoyadas en todo caso en las colindantes si el suelo falla).



MINISTRY OF PUBLIC WORKS
DIRECTORATE GENERAL OF HIGHWAYS
 REGIONAL OFFICE IV (PROVINCES OF JAKARTA METROPOLITAN, WEST JAVA, BANTEN)



Fig.- 21 Terreno volcánico de escasa capacidad de soporte, regla de sujeción de junta transversal y colocación de juntas longitudinales (goma superior solamente)

JRI+ System: SUKABUMI

SLAB	DISTANCE		
	1,05	1,75	MIDDLE
1	91	93	96
	94	91	95
	93	94	94
2	87	100	93
	89	97	96
	99	95	94
3	88	95	101
	95	97	96
	96	95	96
4	94	96	97
	98	96	97
	96	94	96
5	99	102	98
	98	97	95
	100	98	96
6	98	94	98
	98	95	95
	96	96	97
7	98	96	97
	98	97	95
	96	96	94
8	97	93	96
	98	93	96
	95	94	95
9	99	98	95
	99	97	97
	96	96	95
10	95	94	
	99	93	
	97	95	
11	93	95	
	98	92	
	95	95	
12	95	99	
	93	89	
	94	94	
	96	95	96

Fig. 22 Resultados del deflectómetro de Impacto

Es de destacar que la media en el centro de la losa es 96. En los puntos con junta transversal 96 y 95. Es decir, con el sistema comparativo de GEOCISA la transferencia es $96/96 = 100\%$ y $95/96 = 99\%$

3. Resúmenes comparativos

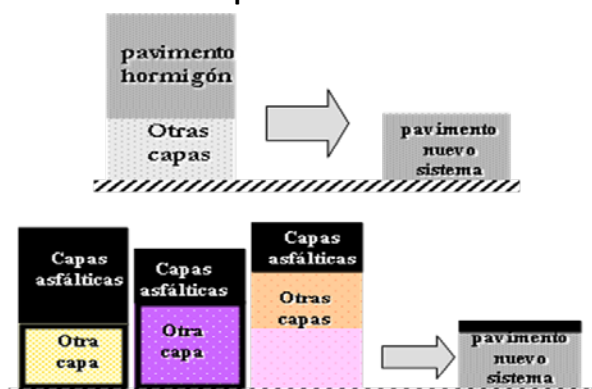


Fig.- 23 Esquema de capas de un firme convencional y un firme con JRI+

En el cuadro figuran los tipos de firme: Hormigón con pasadores, Aglomerado asfáltico y Hormigón con sistema JRI+4. Se señalan unas características técnicas y de coste que se comparan a continuación:

Firmes	Hormigón	Aglomerado asfáltico	Hormigón con JRI+4
Transferencia	100% a ¿20%?	Es continuo	100% a 98%
Bases de apoyo	Necesario	Necesario	Innecesario
Corte y sellado	Necesario	Innecesario	Innecesario
Duración	30 años	20 años	200 años
Coste m ²	50€	50€	25€
Regularidad superficial	Variable	Variable	Estable
Mantenimiento	Pequeño	Grande	Pequeño
Refuerzo, prolongación de la vida útil	Costoso	Fácil	Fácil

Fig.- 24 Cuadro comparativo de propiedades

Las posibles mejoras técnicas que produce una junta con transferencia **permanente** en el diseño de los pavimentos son:

1º Eliminación de pasadores, corte y sellado. Esto se consigue con un sistema de juntas transversales y longitudinales que sustituye a los pasadores, eliminando también el corte y posterior sellado.

2º Eliminación de todas las capas del firme debajo del pavimento. Las capas de firme no son necesarias, ya que debajo de un pavimento de hormigón continuo las tensiones que llegan al suelo son pequeñas y el sistema de transmisión funciona independientemente de la calidad del suelo. El bombeo

de finos tiene cortado el camino por una goma impermeable en el interior del hormigón y el pavimento de hormigón llega hasta el borde exterior de los arcenes.

3ª Disminución de las tensiones en los pavimentos de hormigón. Con el proyecto de losas pequeñas se alarga indefinidamente la durabilidad. Con un sistema de transmisión barato se pueden ejecutar más juntas, disminuyendo el tamaño de losas.

4.- Solución para pavimentos existentes

En el año 2012 se ideó la reparación de las juntas en los pavimentos existentes mediante la utilización de una junta JRI+4 invertida que produce efectos similares a la utilizada en la construcción. Se puede alargar de este modo la vida de un pavimento en el que la transferencia de carga ya no funciona. Si las losas se dividen por la mitad con juntas de este tipo se disminuyen las tensiones y se alarga la durabilidad.

Conclusiones:

- 1.- Se ha resuelto uno de los defectos en los pavimentos hormigón, el problema de la transferencia de cargas, de forma permanente. La solución a este problema ha generado unas expectativas inesperadas.
- 2.- Se permite diseñar de otra forma las carreteras: El primer grado de aplicación es sustituir las juntas JRI+ por los pasadores, el corte y el sellado. El segundo grado es eliminar las capas de base encima de la explanada. El tercer grado de aplicación es reducir el tamaño de las losas en planta y espesor.
- 3.- Se ha ensayado la capacidad resistente de la transmisión y se ha demostrado la permanencia de esta transmisión y la impermeabilización permanente de las juntas.
- 4.- Se ha experimentado en obras de todo tipo de pavimentos (carreteras, autopistas, tranvías-metro, explanadas,...) y obtenido resultados de transferencia con el deflectómetro mejores que con el sistema convencional de pasadores.
- 5.- Se ha comprobado el buen comportamiento a lo largo de más de 10 años en las carreteras, tranvías y explanadas ejecutadas con el sistema de transferencia de cargas permanente.
- 6.- Se han conseguido carreteras que son más económicas (ahorros del 50% en los firmes), rápidas de construir (más del doble), duraderas (¿más de 10 veces?), seguras (en la calidad y en menor accidentalidad), con menos mantenimiento (sólo la capa de rodadura), mejor servicio (no interrupción del servicio diurno) y menor agresión al medio ambiente (menor explotación de áridos, consumos energéticos y excavaciones).
- 7.- Se propone, como firme más adecuado para el futuro, una capa de pavimento de hormigón con juntas con transmisión de cargas permanente como única capa estructural y una capa de rodadura que haga más confortable la carretera.
- 8.- La segunda innovación propone el aumento de la vida útil de los pavimentos existentes, mediante la reparación de las juntas existentes con poca transferencia de cargas y la creación de nuevas juntas que disminuyan las dimensiones en planta de las losas y por tanto las tensiones en las mismas.

Referencias:

1 JRI+ FAROBEL

2 "Induction of Joints in Concrete Pavements" (San Francisco 2.008)

International Society for Concrete Pavements (ISCP)

9th International Conference on Concrete Pavement.

José Ramón Vázquez Ruiz del Árbol

3 "Induction of Joints in Concrete Pavements" (Chicago 2.008)

International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures (RILEM)

6th RILEM International Conference on cracking pavements

José Ramón Vázquez Ruiz del Árbol

4. Vazquez J.R. 2006. *Concrete Pavement Without Dowel Bars*. Brussels. 10th International Symposium on Concrete Roads

5. Department of Transportation. New York State 2005-2006. *New System to induce formation of joints in concrete pavements*. New York. Technology Transfer News.

6. Universitat Politècnica de Catalunya 2005. *Ensayo de determinación de la carga de rotura de probetas de hormigón con aplicación de carga sobre junta JRI+ (TG-LTE/1105-1)*. Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

7. Vázquez J.R. 2004. *Continuous pavement with three-dimensional joints JRI+*. Istanbul 9th International Symposium on Concrete Roads.

8. Vázquez J.R. 2004. *Pavimentos continuos con juntas tridimensionales*. VI Congreso Nacional de Firmes. León. Asociación Española de la Carretera.

9. Vázquez J.R. 2002. *Hormigón continuo con bordes apoyados y juntas estancas*. Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.

10. Puertos del Estado EROM98-1, Publicaciones de la Universidad de Valencia 1998 *Sistema de juntas de Imbricación Articulada entre Losas de Hormigón in situ*.



Abstract

This paper shows a resume of the works and tests carried out with JRI+ system so to prove the effectiveness and durability of induced shrinkage joints in concrete pavements.

The solution consists on the permanent load transfer between concrete slabs. It makes possible to construct the pavement with one single layer which is an improvement in economy, speed, durability and safety terms. It also minimizes maintenance and environment aggressions.

Another application of the system, still in a developing phase, is its use for repairing damaged pavements either providing them with permanent load transfer in its joints or creating new joints, and thus extending its lifespan.

Keywords

Load Transfer, roads, deflectometer, joints, retrofitting.