

PAVIMENTO DE HORMIGÓN CON RAS, RUBBLIZING Y REPAVIMENTACIÓN ASFÁLTICA

Autor: Ing. Jorge A. Páramo

Docente posgrado Maestría en Ingeniería Vial:

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, UNR Rosario Argentina y Uruguay
Asociación Uruguaya de Caminos. Facultad de Ingeniería, UNLP La Plata, Argentina.

Av. Santa Fe 2069 Funes, Santa Fe, Argentina j.paramo.arg@gmail.com

Resumen

Pavimento de hormigón de más de 28 años en RN8 entre Solís de Mataojo y Minas Departamento Lavalleja – Uruguay. Experimenta las consecuencias de una severa Reacción Alcalis Sílice (RAS).

Expansión del pavimento con pandeos aún durante el invierno con temperaturas inferiores a 10°C.

Provisoriamente se practican juntas de dilatación para evitar accidentes dado lo repentino de los pandeos.

Se planteó la demolición por resonancia (Rubblizing) y repavimentación con capas asfálticas.

A poco de realizados algunos centenares de metros de rubblizing se comprueba que la técnica no responde a lo esperado.

Se coloca una primera capa asfáltica con el objeto de confinar y no puede compactarse.

El pavimento demolido se expande hacia arriba perdiendo completamente capacidad de carga se desestima la demolición por resonancia.

Se practican cortes transversales a modo de juntas de expansión (sin pasadores).

Construcción de drenes transversales en los valles (zona ondulada).

Repavimentación con dos capas con cemento asfáltico modificado con SBS, incluyendo las banquetas.

Se disminuye la presencia de humedad en el hormigón, una de las tres causas de la RAS.

Se estima un mantenimiento menor en las elevaciones que se produzcan en las juntas de expansión.

Palabras Clave: Repavimentación, Rubblizing, Reacción Alkali Sílice.

1 Antecedentes

1.1 Estructura existente

La estructura pre-existente consta de los elementos que se indican en la Figura 1.

El pavimento de hormigón fue terminado en el año 1983. Se informó que la subrasante presentaba un valor soporte relativo (CBR) $\geq 10\%$.

Las losas de hormigón presentan signos de Reacción Álcalis – Sílice (RAS). Como consecuencia de ello se han producido levantamientos en correspondencia con juntas transversales.

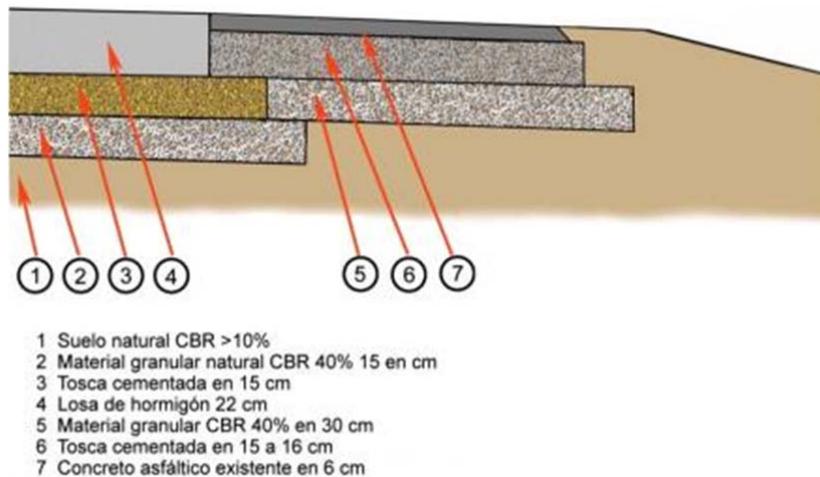


Figura 1 Semi-perfil de la estructura existente

1.2 ¿Qué es la RAS?

Es un fenómeno físico químico que se produce en morteros u hormigones. Se genera una sustancia química nociva, (gel expansivo), reacción entre iones hidroxilo (OH^-) asociados con álcalis (sodio y potasio) presentes en el cemento u otras fuentes y ciertos componentes silíceos reactivos que pueden estar en agregados gruesos o finos. Cuando este gel de sílice alcalino absorbe humedad, se expande y eventualmente produce grietas en las partículas de agregados, así como en la pasta de cemento en el hormigón.

Se deben cumplir tres condiciones para que se produzca una RAS expansiva.

1 Presencia en el agregado de una forma reactiva de sílice o silicato.

2 Suficiente álcali, sodio (Na) y / o potasio (K), principalmente del cemento disponible.

3 Suficiente humedad en la estructura del hormigón o mortero. (No menos del 85% de humedad relativa en los poros).

Si falta alguna de las condiciones anteriores, no puede ocurrir una expansión perjudicial debido a la RAS.

Las Figuras 2 y 3 ilustran sobre dos distintos estados y corresponden a fragmentos de losas obtenidos de las reparaciones practicadas.



Figuras 2. y 3. Efecto de la RAS en el hormigón

1.3 Consecuencias de la RAS

Se han producido numerosos pandeos de losas, aún en tiempo frío. Es suficientemente conocido que este fenómeno se produce principalmente por dilatación térmica. Sin embargo se ha observado este fenómeno en período invernal con temperaturas inferiores a 7°C.

Las figuras 4, 5, y 6, ilustran sobre el alcance del fenómeno, que por otra parte ocurre en forma de estallido.



Figuras 4. 5. y 6. Pandeo de losas por expansión

Este tipo de fallas resulta muy perturbador para la circulación del tránsito, particularmente el de cargas.

2 Acciones paliativas aplicadas

2.1 Juntas de alivio de tensiones

Se realizaron cortes transversales de alivio. Durante el mes de agosto de 2018 se ejecutaron los primeros cortes. Se constató que el ancho de corte del disco diamantado resultaba insuficiente, quedando trabado cuando prácticamente restaban pocos centímetros para completarlo. La tensión acumulada por la expansión del gel, hizo que esta práctica no diera resultado.

En dicha oportunidad se sugirió realizar un doble corte con sierra en espesor parcial y completar con martillo neumático de modo de obtener una abertura transversal de entre 20 y 25 cm de ancho. Las Figuras 7, 8, 9, y 10 muestran la secuencia practicada.



Figuras 7., 8., 9. y 10. Secuencia de apertura junta de alivio de tensiones

La “zanja” se rellenó con granito desintegrado (tosca en la denominación local), ligeramente tratado con cemento (tosca – cemento), hasta alcanzar aproximadamente 4 cm de la superficie de las losas.

Se contempló el relleno con mezcla asfáltica, a nivel de la superficie de las losas. La finalidad fue evitar problemas con el tránsito, particularmente en horas nocturnas.

Pese al ancho del corte, hubo situaciones que al terminar de cortar, las losas se corrían y estrechaban la zanja como se aprecia en las Figuras 11 y 12.



Figuras 11. y 12. Angostamiento de la junta por expansión

Con esta mecánica se practicaron 120 cortes en casi 22 Km de pavimento, lo significó un espaciamiento medio de 253 m y una distancia máxima de 350 m entre cortes. La separación fue menor en los valles por la mayor presencia de agua.

2.2 Sub-drenes laterales

Dado que el agua es uno de los factores concurrentes para que se produzca la RAS, se realizaron sub drenes laterales para disminuir la humedad en el hormigón. Se optó por drenes transversales adecuadamente dispuestos en las zonas más bajas de la traza.

Se desestimaron drenes longitudinales continuos por razones presupuestarias.

Para optimizar los recursos se colocaron los drenes en lugares en los que se estimó podría acumularse agua, vale decir en los valles de la traza. Las características previstas para los drenes son las que muestra la Figura 13.

La estructura de banquetas tiene una base y una sub base granulares que facilitan la evacuación del agua de la estructura no obstante, se han ejecutado en trincheras. Los drenes interesan a la base, debajo de las losas en no menos de 10 cm, posibilitando el drenaje en cotas inferiores a las losas que se someterían a rubblizing.

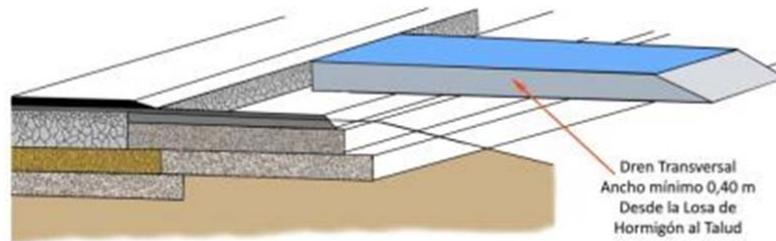


Figura 13. Sub dren lateral

El material constitutivo de los drenes se integró por piedra partida uniforme de tamaño entre 25 y 40 mm. Entre la superficie de apoyo del dren y la capa de piedra, se interpuso una membrana geotéxtil.



Figuras 14., 15., 16. y 17. Construcción de drenes laterales

El material drenante se compactó a los efectos de dotarlos de la rigidez adecuada para la colocación del espesor correspondiente de mezcla asfáltica sobre banquetas.

Las Figuras ilustran sobre la construcción de los sub-drenes. En las dos primeras, 14 y 15, se aprecia la construcción de la zanja que conduce al talud.

Durante la excavación para superar en profundidad los límites de la losa de hormigón, pudo observarse el drenaje del agua, Figura 16.

En la Figura 17., puede verse la membrana geotextil interpuesta entre el fondo de la excavación y el material drenante.



Figura 18., Dren lateral con signos de escurrimiento

Los drenes comenzaron a evacuar agua ni bien se los ejecutó corroborando que la estructura tenía acumula agua en su seno.

Luego de un tiempo de haberse colocado los sub-drenes en la mayoría de ellos quedaron vestigios del escurrimiento de agua. Ejemplo de ello es el dren del lado descendente en el Km 83, Figura 18, donde la parte blancuzca sobre el talud, corresponde a los finos adheridos a la piedra del dren. Los mismos han sido arrastrados por el agua que escurrió y luego de secado queda la evidencia sobre el desnivel.

Se ejecutaron 53 drenes a ambos lados de la calzada en correspondencia con ambas banquetas.

3.- Problemas en la demolición de losas por resonancia:

El proceso de demolición mediante Rubblizing se llevó a cabo con equipo procedente de Brasil.

Durante el proceso de fragmentación de las losas se progresó con normalidad, no obstante, se registraron algunas anomalías por sectores. Las mismas consistieron en la generación de inestabilidad al compactar y también al colocar la mezcla asfáltica.

Las Figuras 19 y 20, muestran el equipo operando en la zona inmediatamente al norte de la localidad de Solís de Matajojo.



Figuras 19. y 20. Equipo de rubblizing



Figuras 21. y 22. Equipo de rubblizing operando en cercanías de Solís de Matajojo
A continuación se llevaba a cabo la compactación con rodillo liso en modo vibratorio, con baja amplitud y elevada frecuencia, Figura 23.



Figura 23. Compactación del rubblizing

4 Colocación y compactación de la mezcla asfáltica

Seguidamente de la compactación se procedía a colocar la primera capa de mezcla asfáltica en 4 cm de espesor. Las Figuras 24 y 25, muestran esta etapa de la obra durante la distribución de la primera capa de mezcla asfáltica.

No se ejecutó riego de liga, como es habitual en este tipo de técnica, para la capa que apoya sobre el hormigón demolido.



Figuras 24. y 25. Colocación de la primera capa asfáltica

En el retroceso del camión de transporte de la mezcla, se observó el desempeño de las losas fragmentadas. Inicialmente no se apreció movimiento alguno, dando la impresión de normalidad del proceso constructivo. Lo propio ocurrió con la compactación de la capa asfáltica.

Durante las operaciones de rubblizing del día siguiente, se apreció que al efectuar la roturación del hormigón, éste se elevaba en el orden del 15 % del espesor de las losas.

En estas condiciones el proceso de compactación no fue posible en virtud de la inestabilidad que presentaba la capa fragmentada y esponjada. No obstante esta adversidad y estando los camiones con mezcla asfáltica, se decidió colocar la capa de 4 cm como medida precautoria de seguridad para el tránsito.

La inestabilidad de la capa de hormigón fracturado no permitió colocar y compactar adecuadamente la capa de mezcla asfáltica en este sector.

Las Figuras 26 y 27, muestran el perfil transversal con que quedó colocada la mezcla asfáltica, acusando deformaciones inadmisibles antes de ser liberada al tránsito.



Figuras 26. y 27. Primera capa asfáltica deformada en la colocación

5 Levantamiento del sector deformado

Como consecuencia de este resultado, se decidió levantar tanto las losas fragmentadas como la capa asfáltica recién colocada.



Figura 28. Retiro de la capa asfáltica y el hormigón de la losa fragmentada

La Figura 28 muestra el momento en que es retirada esta parte de la estructura.

Puede apreciarse que la base del pavimento de hormigón no experimentó daño alguno. Esto propio del proceso de demolición por rubblizing, la base era granular cementada.

Como consecuencia de este hecho y de las heterogeneidades observadas en el hormigón roturado, se decidió realizar una verificación estructural sobre la mezcla asfáltica colocada, mediante deflexiones con deflectómetro de impacto.

6 Evaluación modular mediante retrocálculo

La Dirección Nacional de Vialidad de Uruguay, (DNV) aportó un deflectógrafo de impacto con el que se realizaron mediciones sobre la capa asfáltica de 4 cm apoyada sobre las losas fragmentadas, Figura 29.

Se realizaron mediciones en el tramo cubierto con mezcla asfáltica siendo las mismas consignadas en sendas planillas Excel.

Se procedió a efectuar el retrocálculo para verificar los módulos efectivamente alcanzados por las capas, especialmente las losas fragmentadas.



Figura 29. Equipo FWD de la DNV

6.1 Modelización y verificación de la estructura

Previamente a la realización del rubblizing, se ha aplicado en la modelización y verificación de la estructura del pavimento de hormigón demolido por resonancia. El procedimiento utilizado es del tipo "Empírico Mecanicista" y corresponde al, desarrollado en el IMAE (UNR-Argentina) por el Dr. Ing. Oscar Giovanon, denominado BackViDe.

En el análisis se partió de los siguientes datos proporcionados para la estructura y se adoptó en consecuencia:

- Subrasante, en base al CBR mínimo 10% se estimó en 70 MPa.
- Para la sub Base de CBR 40% podría ser 190 MPa pero se acota por escalonamiento modular a 150 MPa.

Resultados del Retroajuste modular

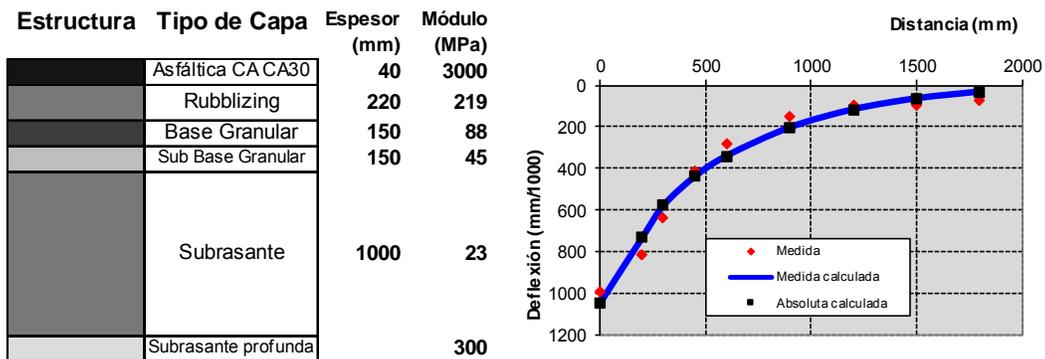
Observaciones al ajuste

Número de iteraciones 8, Convergencia de módulos,

Tipo de medición de la deformada

ABSOLUTA FWD

Distancia(mm)	Deformada (mm/1000)									Radio Curv
	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800	0 (m)
Medida	997	814	634	411	283	152	97	96	74	109
Calculada	1047	731	579	439	341	204	118	65	33	63
Error	50	83	55	28	58	52	21	31	41	Eprom 46.6



- Para la tosca cementada, se estimó que 300 MPa era conservador.

Figura 30. Retroajuste modular (1) progresivas 81+050 a 81+250

Resultados del Retroajuste modular

Observaciones al ajuste

Número de iteraciones 22, Convergencia de módulos,

Tipo de medición de la deformada

ABSOLUTA FWD

Distancia(mm)	Deformada (mm/1000)									Radio Curv
	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800	0 (m)
Medida	774	630	513	367	256	143	98	73	57	139
Calculada	802	585	480	375	295	179	103	56	27	92
Error	28	45	33	8	39	36	5	17	30	Eprom 26.8

Estructura	Tipo de Capa	Espesor (mm)	Módulo (MPa)
	Asfáltica CA CA30	40	3000
	Rubblizing	220	365
	Base Granular	150	96
	Sub Base Granular	150	51
	Subrasante	1000	25
	Subrasante profunda		416

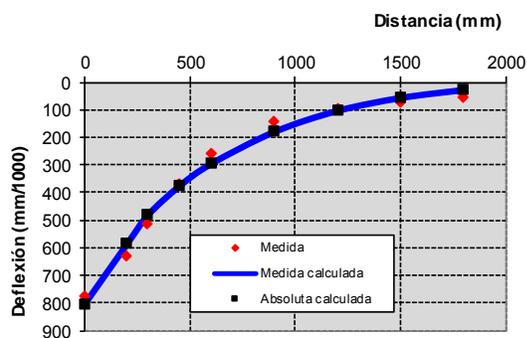


Figura 31. Retroajuste modular (2) progresivas 81+050 a 81+480

Resultados del Retroajuste modular

Observaciones al ajuste

Número de iteraciones 15, Convergencia de módulos,

Tipo de medición de la deformada

ABSOLUTA FWD

Distancia(mm)	Deformada (mm/1000)									Radio Curv
	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800	0 (m)
Medida	543	458	398	328	265	166	118	83	61	235
Calculada	552	445	391	326	271	183	121	79	52	187
Error	9	13	7	2	6	17	3	4	9	Eprom 7.8

Estructura	Tipo de Capa	Espesor (mm)	Módulo (MPa)
	Asfáltica CA CA30	40	3000
	Rubblizing	220	923
	Base Granular	150	112
	Sub Base Granular	150	63
	Subrasante	1000	32
	Subrasante profunda		166

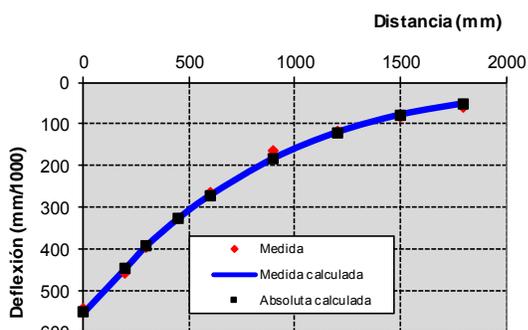


Figura 32. Retroajuste modular (3) progresivas 81+650 a 81+300

El retroajuste modular se realizó considerando la deformada medida y los espesores de las diferentes capas. El ajuste computacional permite aproximar la deformada real y la calculada, mediante un proceso computacional tomando como variable el módulo de cada capa. Cuando se produce una buena aproximación entre la defor-

mada medida y la calculada, se estima que los módulos se corresponden sensiblemente a los reales para cada capa.

Se realizó el retroajuste de los sectores a partir del cuenco medio evaluado con la carga de 40 KN, representativa del eje de referencia de 80 KN y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 1 donde se cotejan los módulos previsto en el proyecto y obtenidos en el camino:

Tabla 1. Cotejo de valores modulares

COTEJO DE VALORES MODULARES (Promedios por tramo)				
Capa	Módulo MPa			
	Retrocalc. (1)	Retrocalc. (2)	Retrocalc. (3)	Proyecto
Asfáltica 40 mm	3000	3000	3000	3000
Rubblizing 220 mm	219	365	923	1000
Base granular 150 mm	88	96	112	300
Sub base granular 150 mm	45	51	63	150
Subrasante	23	25	32	70
Long. del tramo de medición (m)	200	500	360	

Prácticamente para todas las capas, los valores de retrocálculo modular arrojaron guarismos muy inferiores a los previstos. En particular, los valores medios para la capa de losas de hormigón sometidas a rubblizing.

Se estima que estos valores modulares reducidos de la capa de rubblizing, son ocasionados principalmente por el "esponjado", proceso de desacomodamiento de los bloques comentado previamente, y en parte por la falta de sustento dado por la baja rigidez de las capas inferiores, especialmente la subrasante.

En las hipótesis del diseño, el rubblizing (material granular intertrabado con un cierto potencial de re-cementación) daba confiabilidad el valor asumido de 1000 MPa porque además no tenía un elevado escalonamiento modular con la capa inferior, circunstancia que no fue la constatada.

7 Consideraciones para una nueva estructura

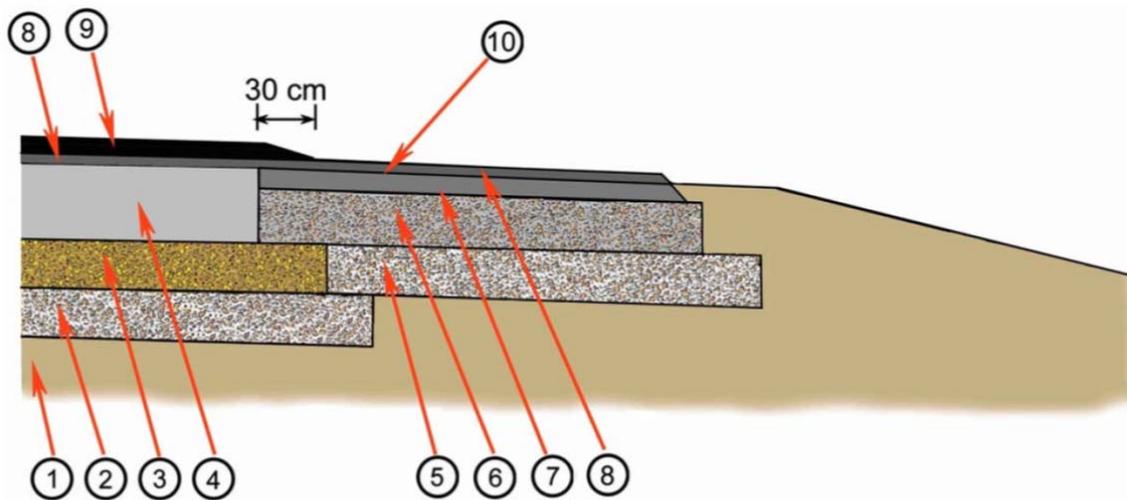
En función de lo expuesto precedentemente, se decidió prescindir del procedimiento de demolición por resonancia de las losas de hormigón. Por otra parte, la cantidad de juntas transversales practicadas, (120 cortes con un espaciamiento medio entre ellos de 253 m), posibilita la colocación de las capas asfálticas directamente sobre las losas.

En estas condiciones se estimó que la expansión se canalizará en dichas juntas. Además el agua, uno de los tres elementos que se necesitan para que se produzca la RAS, se encontrará disminuida por la impermeabilización de la superficie de las losas y banquetas más los drenes construidos.

Fuera de los problemas que origina la RAS, las losas exhiben una buena capacidad estructural.

Es por ello que la disposición de dos capas asfálticas con cemento asfáltico modificado tipo AM-2, se orientó más al retardo del remonte de fisuración reflejada y a lograr una adecuada regularidad superficial.

La estructura en consecuencia quedó conformada como lo muestra el semi-perfil que muestra la Figura 33.



- 1 Suelo natural CBR >10%
- 2 Material granular natural CBR 40% 15 en cm
- 3 Tosca cementada en 15 cm
- 4 Losa de hormigón 22 cm Existente
- 5 Material granular CBR 40% en 30 cm
- 6 Tosca cementada en 15 a 16 cm
- 7 Concreto asfáltico existente en 6 cm
- 8 Primera capa de repavimentación concreto asfáltico denso espesor 5 cm con CA AM2
- 9 Capa de rodamiento concreto asfáltico denso espesor 4 cm con CA AM2
- 10 Riego de liga

Figura 33. Semi-perfil definitivo de la estructura del pavimento

Lo que puede ocurrir con el tiempo es lo que muestra la Figura 34, (fuera de escala). El corrimiento de las losas generará una elevación de las capas asfálticas. Esto es relativamente sencillo de corregir, simplemente enrasando la superficie con una fresadora de pequeño tamaño. Hasta aquellas que son adosables a equipos como palas mecánicas.

Como generalmente no cuentan con un sistema de guiado de nivel, es suficiente adosar guías que se ubiquen al ras del tambor de fresado y hacer la operación en sentido transversal a la calzada.



Figura 34. Posibilidad de fallas y reparación en las juntas de expansión

Esta práctica de mantenimiento debe realizarse toda vez que las elevaciones causen una perturbación inadmisibles para el tránsito.

8 Conclusiones

El tramo de la RN8 entre Solís de Matajojo y Minas, presentaba problemas de pandeo como consecuencia de la expansión que produce la reacción álcalis – sílice. Luego de 28 años de construido, alcanzó un estado en el que las juntas transversales no proveyeron espacio para la dilatación, de allí el pandeo aún en invierno.

Se estima que las juntas de expansión generadas por cortes del orden de 20 a 25 cm y rellenos con tosca ligeramente cementada, proveen la capacidad de comprimirse compensando la expansión del hormigón por el efecto de la RAS.

La estructura ha quedado menos expuesta a la acción de la humedad. La cubierta con mezcla asfáltica alcanza a las banquetas y se construyeron sub drenes en las partes bajas de la traza.

La posibilidad de que los poros comunicados del hormigón, se saturen por sobre el 85% encuentra posibilidades limitadas. Si bien no resulta posible asegurar que el proceso de RAS se detenga, existen motivos para suponer una fuerte ralentización por la menor facilidad de acumular agua.