

XVII CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO
Rosario, Argentina
Octubre, 2016

Título:

**REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS CON TECNOLOGÍA RUBBLIZING:
EXPERIENCIA LOCAL.**

Autores:

Ing. Mario NOSTE ¹, Inga. Diana CAINELLI ², Ing. Juan Pablo RAFFAELLI ³

Entidad a la que pertenecen:

⁽¹⁻²⁻³⁾ ITYAC S.A.

Domicilio postal:

Riobamba 230 – 2000 Rosario, Argentina

Teléfono / Fax:

54 341 4820531

Correo electrónico:

¹ m.noste@ityac.com.ar, ² d.cainelli@ityac.com.ar, ³ j.raffaelli@ityac.com.ar

RESUMEN

La primera experiencia en Argentina de rehabilitación de pavimentos rígidos aplicando la técnica de rubblizing se llevó a cabo en la Avenida de Circunvalación de Rosario, entre los años 2010 a 2012.

El pavimento rígido existente se presentaba extremadamente deteriorado y sujeto a altos volúmenes de tránsito, con lo cual la aplicación de técnicas tradicionales en la reparación de pavimentos de hormigón resultaba muy compleja y riesgosa. A todo esto se sumaba que los trabajos deberían realizarse y habilitarse dentro de plazos breves ya que la condición impuesta por el comitente era la de nunca interrumpir el tránsito.

La opción de esta tecnología, fracturando el hormigón existente, posibilitó convertir ese pavimento desechable y heterogéneo, en una capa estructural homogénea, asimilable a un estabilizado granular de alto módulo; imponiéndose en esta obra por su eficacia en el control del reflejo de juntas y fisuras en las capas asfálticas previstas ejecutar sobre la misma, y por su eficiencia en el elevado rendimiento de ciclos diarios de triturado - repavimentación y liberación al tránsito.

A efectos de contrastar las hipótesis adoptadas y de extrapolar esta experiencia a futuros proyectos, este trabajo presenta los resultados obtenidos a partir del seguimiento e investigación en tramos experimentales representativos de esta tecnología, en las distintas etapas de ejecución y en su evolución desde su puesta en servicio (2010 a 2012) hasta la fecha (julio 2016).

1 INTRODUCCION

La rehabilitación de pavimentos de hormigón con alto grado de deterioro es un desafío al que los técnicos nos enfrentamos muy frecuentemente.

Por sus características, los pavimentos rígidos absorben un altísimo porcentaje de las sollicitaciones del tránsito y restaurar esa condición básica implica la adopción de técnicas sofisticadas, de alto costo y dudosa efectividad. Resulta muy común que al poco tiempo de restaurados los pavimentos de hormigón vuelvan a deteriorarse. Cuando a estos pavimentos se los utilizan como apoyo de capas flexibles (como es el caso de este estudio) se deben tener en cuenta aspectos fundamentales como la homogeneidad y los movimientos verticales de las losas (efecto placa). Ambas condiciones resultan de muy difícil cumplimiento.

La técnica del Rubblizing ofrece una atractiva alternativa para la solución de estos problemas. El presente trabajo analiza el camino por el que se llegó a adoptar el método para las obras de rehabilitación de los sectores con pavimentos rígidos de la Avenida de Circunvalación de Rosario, la ejecución de estas obras y el comportamiento a través del tiempo del rubblizing en servicio.

2 GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

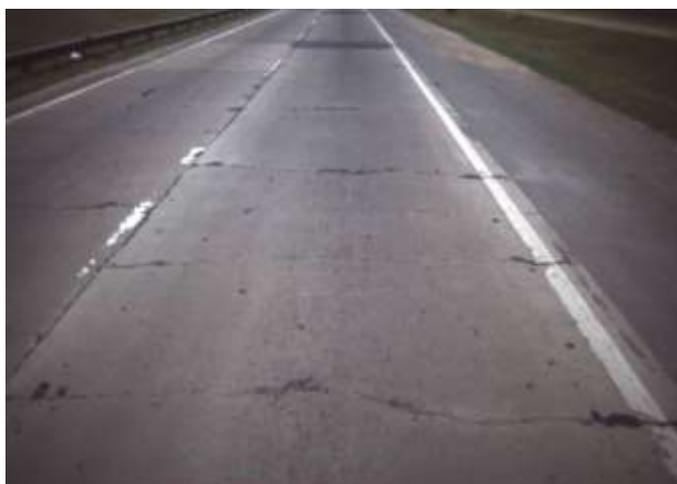
La primera experiencia en Argentina de rehabilitación de pavimentos rígidos aplicando la técnica de rubblizing se llevó a cabo en la Avenida de Circunvalación de Rosario, entre los años 2010 a 2012 [1].

La obra fue licitada por la DNV el 01/08/08, y adjudicada a la UTE B. ROGGIO E HIJOS S.A.- ROVELLA CARRANZA S.A. el 19/12/08, fecha de replanteo el 25/02/09 [2]. La elaboración del Proyecto Ejecutivo de repavimentación estuvo a cargo de ITYAC S.A. (2009) [1].

2.1 Condiciones del pavimento existente

A efectos de la elaboración del proyecto ejecutivo, se llevó a cabo un relevamiento detallado del estado superficial del pavimento rígido que componía la calzada original, de lo cual surgió el avanzado deterioro superficial de esta vía de comunicación, con las siguientes fallas y deterioros característicos presentes en toda la calzada.

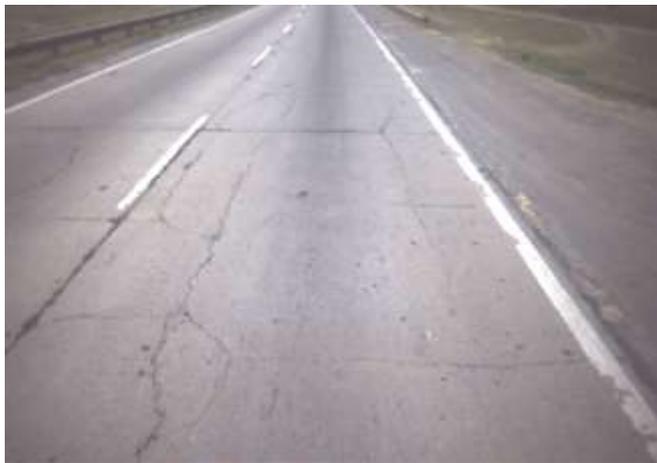
- **Grietas y fisuras**



- **Bombeo**



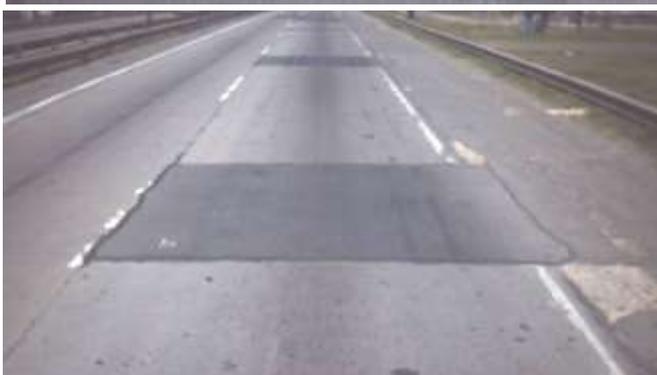
- **Fragmentación en bloques**



- **Roturas y Hundi-
mientos**



- **Reparaciones con
concreto asfáltico**



2.2 Anteproyecto

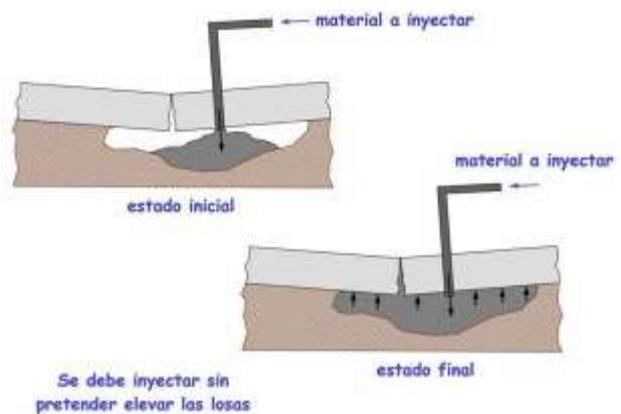
El estudio del proyecto se basó en el análisis de la propuesta estructural del anteproyecto, la cual consistía en la aplicación de capas asfálticas sobre las losas de hormigón previamente reparadas con distintas técnicas específicas. Para la construcción de un tercer y cuarto carril se planteaba la ejecución de una estructura rígida con hormigón H-38 sobre una base de hormigón H-8, que se vinculaba a la existente mediante pasadores insertados en ella.



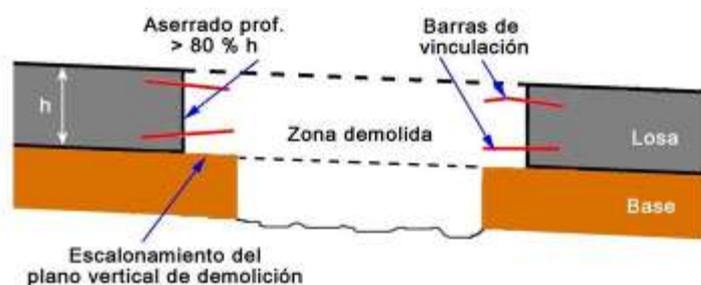
FIGURA 1. SOLUCIÓN ESTRUCTURAL DE ANTEPROYECTO

La restauración de las losas de hormigón existentes, previo a la ejecución del refuerzo asfáltico, debía efectuarse aplicando las técnicas de reparación convencionales para pavimentos rígidos, las cuales incluían como mínimo las siguientes tareas [3]:

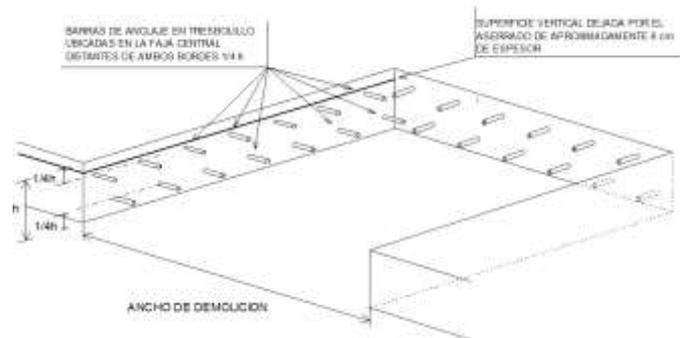
- **Inyección de losas**



- **Reconstrucción de losas**



- **Reparación de esquinas**



- **Reparación de juntas transversales**



- **Costura de grietas**



Estas tareas requieren de mucho cuidado en la ejecución, personal especializado y especial detalle en cada uno de los procesos que la componen. Adicionalmente, por ejecutarse con hormigón, los tiempos requeridos para la habilitación al tránsito son considerables. Teniendo en cuenta el alto tránsito que solicitaba a esta avenida en particular (TMDA promedio 50.000 vehículos, año 2009), esa condición resultaba altamente conflictiva.

2.3 Incertidumbres. Planteo de alternativas

Este pavimento rígido, así reparados debía, servir como apoyo de capas flexibles, lo que implicaba asegurar aspectos fundamentales como son la homogeneidad y el control de los movimientos verticales de las losas.

Considerando, el estado de la calzada de hormigón existente, la historia de reiteradas intervenciones con escaso éxito desde su construcción, como también la complejidad de ejecución de las tareas de restauración (aun respetando todas las condiciones que imponen las mismas), la incertidumbre de lograr estos objetivos resultaba muy alta.

Todo llevaba a inferir que las tareas de reparación propuestas no asegurarían:

- lograr una estructura de apoyo homogénea para las capas asfálticas
- evitar el movimiento vertical de las losas
- controlar el remonte de fisuras (fisuración refleja)
- ejecutar correctamente la obra conviviendo con el alto tránsito demandante

Ante esta situación, en oportunidad de evaluar las alternativas de rehabilitación, las mismas se orientaron hacia aquellas basadas en la eliminación total del efecto de placa de las losas del hormigón existente.

Este efecto podía lograrse, simplemente a través de la fragmentación de las losas en pequeños bloques mediante la acción mecánica.

De esta manera se procedió a evaluar las técnicas para la fracturación y trituración del pavimento rígido disponibles, las cuales consisten [4 – 5]:

- Por impacto y clavado: rotura de la losa por impacto de martillos oscilantes y/o guillotina
- Por vibración resonante: rotura de la losa por resonancia (rompedor resonante)

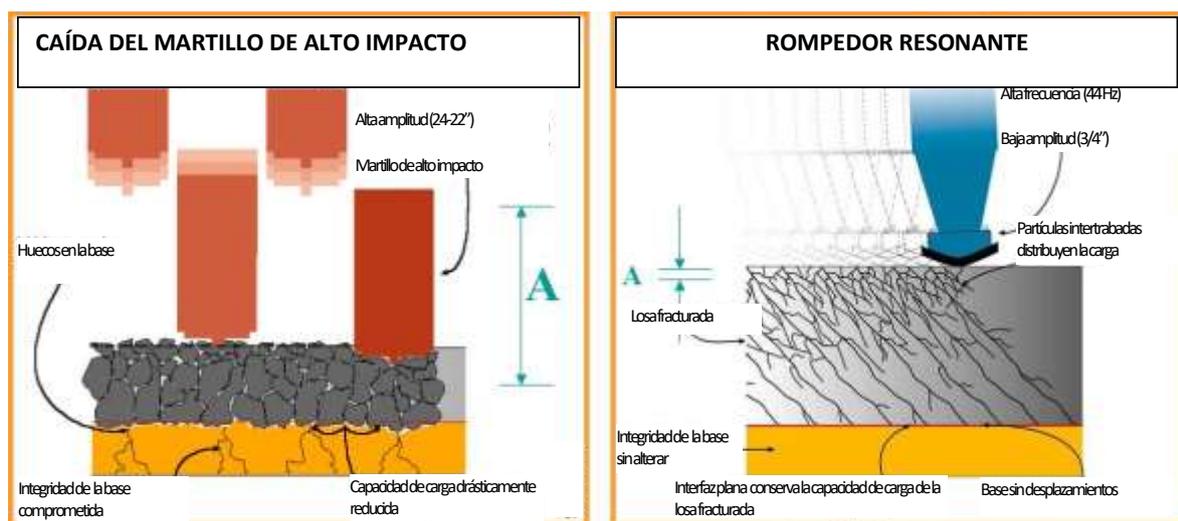


FIGURA 2. MARTILLOS MÚLTIPLES OSCILANTES - EQUIPO VIBRADOR RESONADOR

2.4 Propuesta y análisis

Si bien ambas técnicas disponibles garantizan la eliminación del efecto de placa de la losa, las mismas se diferencian en cuanto a la condición en la que queda la estructura de apoyo del pavimento de hormigón.

Mientras la técnica de impacto por martillos y guillotina rompe la estructura de hormigón afecta también las capas subyacentes, como la subbase y la subrasante; en tanto que la técnica de vibración resonante preserva las condiciones de apoyo sin perturbar a estas capas.

Teniendo en cuenta las condiciones particulares de los suelos de subrasante de la zona de emplazamiento de la obra y los estudios previos de la etapa proyecto, el empleo del rompedor resonante surgió como la metodología más indicada.

A fin de poder aplicar esta técnica al proyecto en estudio, se analizaron los antecedentes disponibles alrededor del mundo, surgiendo que a esa fecha se tenía en 21 países más de 41.000.000 de m² ejecutados, aunque fundamentalmente en los EEUU. En particular, en nuestra región se contaba con la disponibilidad del equipo, como también con una experiencia muy positiva en Chile, en la Autopista Santiago- San Antonio.

Por tanto, para valorar estructuralmente la capa de hormigón triturada o rubblized, se recurrió a la experiencia de su utilización en Chile, en base a los estudios de la Universidad Católica de Chile y contando con el asesoramiento profesional para el diseño del paquete estructural [5].

Con esas premisas se rediseñaron los espesores de concreto asfáltico a colocar sobre la capa de hormigón, ahora triturado sin el efecto de placa. Los espesores obtenidos fueron levemente superiores a los previstos originalmente sobre la losa reparada, del orden del 19%.



FIGURA 3. RELACIÓN ESPESORES DE REFUERZO

2.5 Estructura adoptada

A partir de los resultados obtenidos y fin de definir la solución a adoptar, se realizó un análisis técnico económico, en el cual participaron tanto el comitente, la empresa constructora y el proyectista.

Durante dicho análisis, se comparó el impacto que representaba el incremento de la cantidad de mezcla asfáltica a colocar sobre el hormigón fracturado, en contraposición con ejecutar los trabajos de reparación de losas y los ensanches con hormigón, tareas con altísima incertidumbre, bajos rendimientos y alta incidencia en el tránsito.

Finalmente, la solución estructural que se convino, resultó:

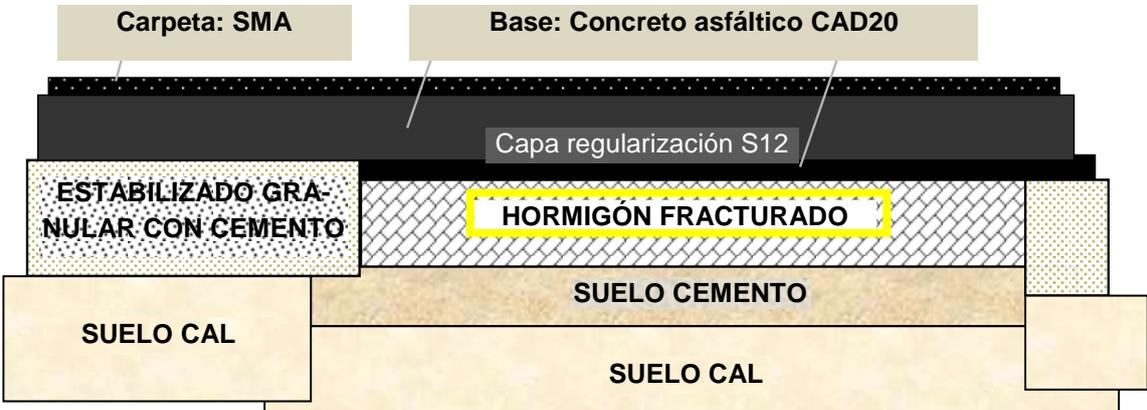


FIGURA 4. SOLUCIÓN ALTERNATIVA DE PROYECTO EJECUTIVO (AÑO 2009) [1]

2.6 Conclusiones y potenciales ventajas

Se concluyó que esta nueva condición estructural presentaba grandes ventajas respecto a la del anteproyecto:

- Se eliminaba la posibilidad del remonte de fisuras por eliminar totalmente el efecto placa.
- Se evitaba la ejecución de reparaciones complejas con la incertidumbre de obtener resultados efectivos.
- Del mismo modo al fracturar las losas desaparece la posibilidad del movimiento vertical de las mismas.
- Al contar con un mayor espesor de mezcla asfáltica se alejan las tensiones de interfase entre el material triturado y la mezcla que sería el único punto crítico de la estructura.
- Se logra una estructura homogénea, incorporando como ensanche asociado, capas de estabilizado granular con cemento.
- Se eliminan las vinculaciones de ensanche y carril adicional con pasadores insertados y tiempos prolongados hasta la habilitación al tránsito.
- Desde el punto de vista de la transitabilidad durante la construcción de la vía de comunicación, la mejora es sustancial con la posibilidad de transitar el sector intervenido a las pocas horas de construido (se trabaja en sectores de 1000 m lineales por día que se habilitan al siguiente).
- Todas las capas subyacentes a la del hormigón fracturado, permanecen en su lugar sin alterar su capacidad portante. Ya que no hay transporte o costos de eliminación de capas estructurales, este método de rehabilitación resulta altamente rentable.
- Desde el punto de vista ambiental, se reducen fuertemente emisiones contaminantes y productos de desechos sobre el medioambiente.

3 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

3.1 Equipo

El proceso de Rubblizing consiste en la aplicación de un rompedor resonante que emplea una carga dinámica concentrada, de baja amplitud y alta frecuencia [6].

El equipo a utilizar para fracturar el pavimento consiste en una unidad autopropulsada que contiene una viga de acero, fijada en dos puntos en forma de rotula al chasis del equipo. En el extremo interior de la viga tiene adosado un motor con masas excéntricas que a alta frecuencia induce vibración a la viga. En el otro extremo de la viga se apoya un martillo que transmite carga y vibración al pavimento de hormigón a una frecuencia entre 30 a 50 Hertz, y una amplitud de 1,0 a 2,5 centímetros.

En los rangos de trabajo la viga vibra a frecuencias cercanas a la frecuencia de resonancia del hormigón, transmitiendo a la losa una gran cantidad de energía concentrada que produce un fracturamiento instantáneo, de manera que el producto final resulta ser una capa granular de alta capacidad estructural sin alterar las condiciones de la base y subrasante existente.



FIGURA 5. EQUIPO VIBRADOR RESONANTE

A continuación, se describen las características técnicas del equipo empleado:

- Potencia del motor 550 HP
- Martillo rompedor..... 25 cm ancho
- Contrapeso..... 6.000 kg
- Peso total 32.000 kg
- Rendimiento aproximado 700 m²/h-> 200 ml/h de media calzada
- Amplitud de 1,25 cm a 2,5 cm
- Frecuencia de 42 A 44 hz

3.2 Metodología constructiva

Previo al proceso de fragmentación de las losas se procede al saneamiento de aquellas losas o áreas que evidencian poco soporte o que presentan fallas que puedan asociarse a un colapso de la subrasante [5 - 7].

Adicionalmente, se debe construir un sistema de drenaje, el cual debe estar terminado antes de comenzar las tareas de fracturación, ya que un drenaje adecuado es una de las claves importantes para el buen funcionamiento de la rubblization de un pavimento de hormigón

FOTO 1. SISTEMA DE DRENAJE



El proceso de fractura resonante de las losas se realiza a través del paso del equipo en sentido longitudinal en la longitud especificada y hasta completar el ancho de la trocha.

El trabajo se realiza por trochas, en una longitud de entre 500 y 1.000 metros. Cada pasada de la viga resonante cubre un ancho de entre 20 y 25 centímetros a una velocidad de 3 a 10 Kilómetros por hora.

El triturado se realizará idealmente en toda la calzada disponible. Si esto no resulta posible debido a condiciones de proyecto o de tránsito, el equipo debe siempre triturar losas hasta sus juntas longitudinales y transversales. Una losa de hormigón no puede quedar parcialmente triturada.



FOTO 2. FRACTURA DEL PAVIMENTO

El proceso de pulverizado comienza en un borde libre de la losa de hormigón; entendiéndose como borde libre la zona contigua a la banquina existente o una faja de material previamente fracturado. El proceso es secuencial, es decir, una vez que se ha pulverizado una faja, se deberá pulverizar la faja paralela adyacente, hasta completar la pista completa entre ambas juntas longitudinales.

En caso de que las armaduras que tengan las losas queden expuestas en superficie, se procede a cortar las partes emergentes, sin retirar la parte embebida en las losas demolidas.

Inmediatamente al término de la operación del paso del equipo de fragmentación, se procede al rodillado y/o aplanado del material resultante con rodillos vibratorio de 10 tn.

El planchado o rodillado consiste en efectuar al menos 4 pasadas sobre el material resultante del proceso de fracturación, con un rodillo liso vibratorio tándem, a baja amplitud y alta frecuencia. La velocidad del rodillo no superará los 6,5 km/h (1,8 m/seg). Las maniobras del rodillo deberán ser lentas y evitar giros, aceleraciones y frenados bruscos.

FOTO 3. RODILLADO DEL MATERIAL RESULTANTE



Una vez finalizado el aplanado del material triturado, se procede a la colocación de la capa asfáltica de recubrimiento y/o regularización de gálibo, en el espesor indicado en los perfiles tipo de pavimento.

El tiempo máximo que puede transcurrir entre el proceso de rubblizing y la colocación de la capa asfáltica es de 48 horas, salvo que ocurra una lluvia. En ese caso se deberá esperar el tiempo necesario para que la superficie fracturada quede debidamente drenada y seca.

Se deben cumplimentar además las siguientes consideraciones:

- a) No se requiere de la colocación de imprimación entre la capa fracturada y la primera capa de mezcla asfáltica en caliente.
- b) Cuando se asfalte en pendientes mayores al 2%, se recomienda conducir la terminadora en dirección pendiente abajo.

FOTO 4. COLOCACIÓN DE LA CAPA ASFÁLTICA



4 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RUBBLIZING EN EL TIEMPO

A partir del consenso alcanzado sobre la implementación de esta tecnología para las obras de rehabilitación del pavimento rígido de la Avda. Circunvalación, y frente a la ausencia de antecedentes en el ámbito nacional, debió recurrirse a la bibliografía y a experiencias internacionales para su adaptación a las condiciones locales.

Esto derivó, ante la incertidumbre de su desempeño en servicio y su respuesta estructural in situ, en convenir el imperioso análisis e investigación durante las obras y, desde su puesta en servicio, durante un período de “maduración”, para contrastar las hipótesis adoptadas y extrapolar los resultados a futuros proyectos en rutas de hormigón del país.

La caracterización estructural del rubblizing, debido a las particularidades de la misma, debió realizarse in situ [4-5-8], por medio de metodologías de retrocálculo con base a ensayos no destructivos, como los de equipos de deflectometría de impacto ó FWD (Falling Weight Deflectometer.): Nivel 1, para la determinación del módulo resiliente de un material no ligado (GDME Design of New and Rehabilitated Pavement Structures”, año 2004) [9].

Obtenida la caracterización en términos del Módulo Resiliente de esta capa, pudo determinarse, el coeficiente estructural del Rubblizing, a efectos de su caracterización para AASHTO 93 [10], aplicando la ecuación planteada por Witczak, que vincula dicho coeficiente con valores de módulo de elasticidad [11].

Finalmente se procedió a la valoración de la capacidad estructural lograda, aplicando la mencionada “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993 [10], a efectos de verificar las hipótesis de proyecto en términos de Número Estructural Necesario (SN_{nec}) versus el Logrado (SN_{eff}) y la proyección de vida útil de estas obras de rehabilitación [1].

4.1 Tramos de estudio. Ubicación y características

La fase experimental se desarrolló sobre tramos cuidadosamente seleccionados de la Avda. de Circunvalación de Rosario, representativos del comportamiento en servicio y de la respuesta estructural de la capa de rubblizing; en un período de tiempo que abarca la ejecución de las obras de rehabilitación (2010) y desde su puesta en servicio a la actualidad (julio de 2016). Las siguientes tabla y figura indican la localización de estos tramos experimentales.

Tabla 1 TRAMOS EXPERIMENTALES

Sección. Tramo	Calzada	Carril	Inicio	Fin	Esp. MA (cm)
II.1DC2	Descendente (4 carriles)	Central (externo 2)	Pr 10,550 (luego de AN FFCC)	Pr 10,300 (antes de BN Av. Pell. - Aut. RN9o)	21,5
II.2DE	Descendente (3 carriles)	Externo	Pr 14,650 (luego de Av. Uriburu)	Pr 14,400 (antes de AN FFCC)	18,5
III.3AE	Ascendente (2 carriles)	Externo	Pr 27,600 (Salida a Ayolas)	Pr 27,850 (AN Ayolas)	16,5
III.4DE	Descendente (2 carriles)	Externo	Pr 27,600 (Ingr. desde Ayolas)	26,850 (Ingreso desde Uriburu)	16,5
III.5DE	Descendente (2 carriles)	Externo	27,850 (AN Ayolas)	27,625 (Ingreso desde Ayolas)	16,5
III.6DE	Descendente (2 carriles)	Externo	28,750 (AN 27 de Febrero)	28,000 (AN Ayolas)	16,5

MA: Mezcla asfáltica con ligantes modificados: SMA para la carpeta y CAD20 para las bases.

Ensanches: **S-I:** tercer carril hasta Pr (RN N° 34) y luego más un cuarto carril. **S-II:** tercer y cuarto carril hasta Pr 12.800 (RNN° 33) luego solo un tercer carril. **S-III:** sin ensanche (dos carriles por calzada). Los ensanches se ejecutaron sobre una base granular cementada, al igual que las banquetas.

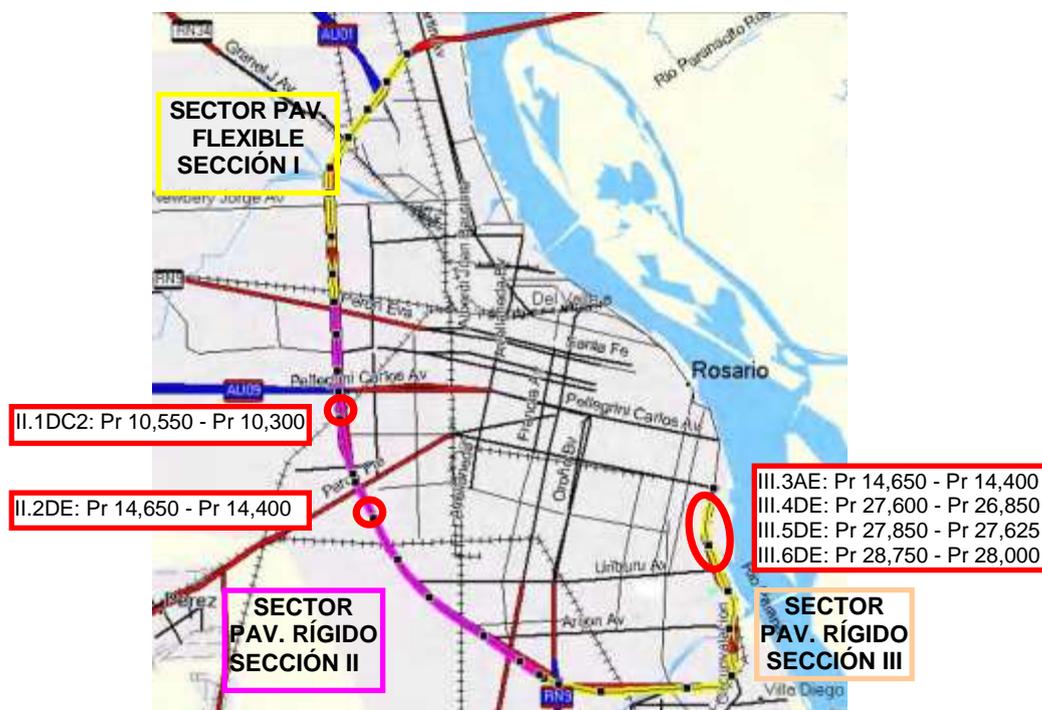


FIGURA 6. Localización tramos experimentales

4.2 Estudios de campo

Previo al inicio de las obras, se efectuaron demarcaciones sistemáticamente distribuidas y georreferenciadas para poder ser identificados en los ensayos que se ejecutarían en las distintas etapas previstas.

Sobre estas demarcaciones, antes de las obras de rubblizing se efectuaron calados de las capas de hormigón (futuro rubblizing) y suelo cemento existentes, cada 40 o 50 m, los cuales arrojaron espesores del orden de los 20 cm y 15 cm, respectivamente, en coincidencia con los antecedentes.

En los lugares de extracción de los calados, se ejecutaron ensayos con el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) a los efectos de valorar la capacidad portante de las capas no ligadas subyacentes.

Sobre los puntos demarcados se ejecutaron ensayos deflectométricos, cada 20 ó 25 m, en oportunidad de la ejecución de las capas asfálticas previstas en la obra (a los pocos días de su puesta en servicio) y en distintas oportunidades hasta la actualidad, para valorar su evolución en el tiempo.

Las tablas a continuación resumen las etapas de ejecución de ensayos de FWD en los tramos experimentales, en coincidencia con el avance de la obra y luego en servicio, donde se especifica la capa ejecutada al momento del ensayo y la fecha del ensayo.

Las capas de concreto asfáltico en caliente ejecutadas consistieron en una primera capa niveladora sobre el rubblizing (tipo S12, espesor 3 cm) y dos (2) a tres (3) capas tipo D20 (con asfaltos modificados), espesores variables en función de la estructura pre-existente y de la solicitud del tránsito [3].

Tabla 2 ENSAYO CON FWD. SECCIÓN II (T.E. II.1 DI - T.E. II.2 DE)

Pr 7.933 (RN 9o, Avda. E. Perón) - Pr 19.300 (Aut. RN 9s, Bs. As – Ros., Avda. N. Oroño).

T.E. II.1 (DC): 10,30 - 10,55 L = 250 m (cada 25 m)		T.E. II.2 (DE): 14,40 - 14,65 L = 250 m (cada 25 m)	
SOBRE CAPA	FECHA ENS.	SOBRE CAPA	FECHA ENS.
Rubblizing	23/11/2010	Rubblizing	11/11/2010
(3 S12)	24/11/2010	(3 S12)	11/11/2010
(3 S12+7,5 D20)	06/12/2010	(3 S12+7,5 D20)	12/11/2010
		(3 S12+7,5 D20)	23/11/2010
(3 S12+7,5 D20+6 D20)	06/06/2011	(3 S12+7,5 D20+8 D20)	06/06/2011
(3 S12 +7,5 D20 +6 D20 + 5 D20)	26/06/2013	(3 S12+7,5 D20+8 D20)	01/10/2013
(3 S12 +7,5 D20 +6 D20 + 5 D20)	01/10/2013	(3 S12+7,5 D20+8 D20)	16/01/2014
(3 S12 +7,5 D20 +6 D20 + 5 D20)	(*) 07/07/2016	(3 S12+7,5 D20+8 D20)	(*) 07/07/2016
11 puntos x 7 campañas = 77 ensayos		11 puntos x 8 campañas = 88 ensayos	

Tabla 3 ENSAYO CON FWD. SECCIÓN III (T.E. III.3 AE - T.E. III.4 DE)

T.E. III.3 (AE): 27,6 - 27,85 (Calle Ayolas) L= 250 m (c/ 20 m)		T.E. III.4 (DE): 26,85 (Av. Uriburu)- 27,60 L= 750 m (c/ 25 m)	
SOBRE CAPA	FECHA ENS.	SOBRE CAPA	FECHA ENS.
Rubblizing	-	Rubblizing	-
(3 S12)	-	(3 S12)	-
(3 S12 + 6 D20)	19/09/2011		
(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	23/02/2012	(3 S12 + 6 D20)	10/12/2012
(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	01/10/2013	(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	01/10/2013
(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	16/01/2014	(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	16/01/2014
(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	07/07/2016	(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	07/07/2016
12 puntos x 5 campañas = 60 ensayos		31 puntos x 4 campañas = 124 ensayos	

Tabla 4 TABLA 4.2-1. ENSAYO CON FWD. SECCIÓN III (T.E. III.5 DE - T.E. III.6 DE)

T.E. III.5 (DE): 27,60 - 27,85 (Calle Ayolas) L= 250 m (c/ 25 m)		T.E. III.6 (DE): 28,00 (Calle Ayolas) – 28,75 (Av. 27 de Febrero) L= 750 m (c/ 25 m)	
SOBRE CAPA	FECHA ENS.	SOBRE CAPA	FECHA ENS.
Rubblizing	-	Rubblizing	-
(3 S12)	-	(3 S12)	-
(3 S12 + 6 D20)	10/12/2012	(3 S12 + 6 D20)	10/12/2012
(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	01/10/2013	(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	01/10/2013
(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	16/01/2014	(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	16/01/2014
(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	07/07/2016	(3 S12 + 6 D20+ 7,5 D20)	07/07/2016
10 puntos x 4 campañas = 40 ensayos		31 puntos x 4 campañas = 124 ensayos	

En ocasión de cada auscultación deflectométrica se procedió a la medición de los espesores asfálticos de las capas efectivamente ejecutadas.

En el Laboratorio Vial del IMAE (UNR) se determinó el módulo dinámico de testigos de mezcla asfáltica, a partir de lo cual se arribó a la Curva Maestra de la mezcla (módulo dinámico respecto a la temperatura para una frecuencia de referencia de 10 Hz)

4.3 Análisis racional - mecanicista

Con la obtención, el procesamiento, el análisis y la validación de los resultados de los estudios de campo y de laboratorio, se avanzó hacia la caracterización estructural del pavimento flexible resultante de las obras con rubblizing.

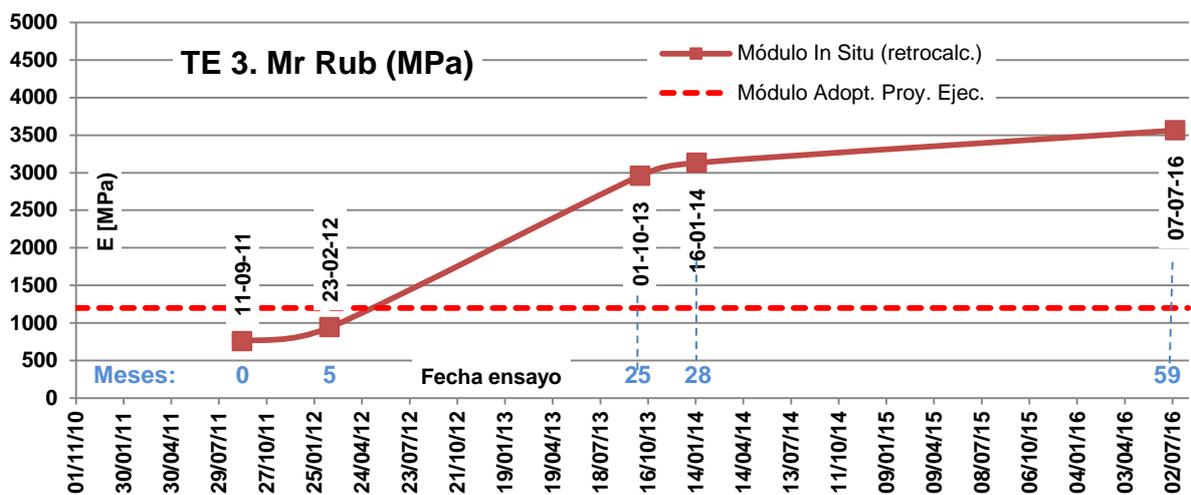
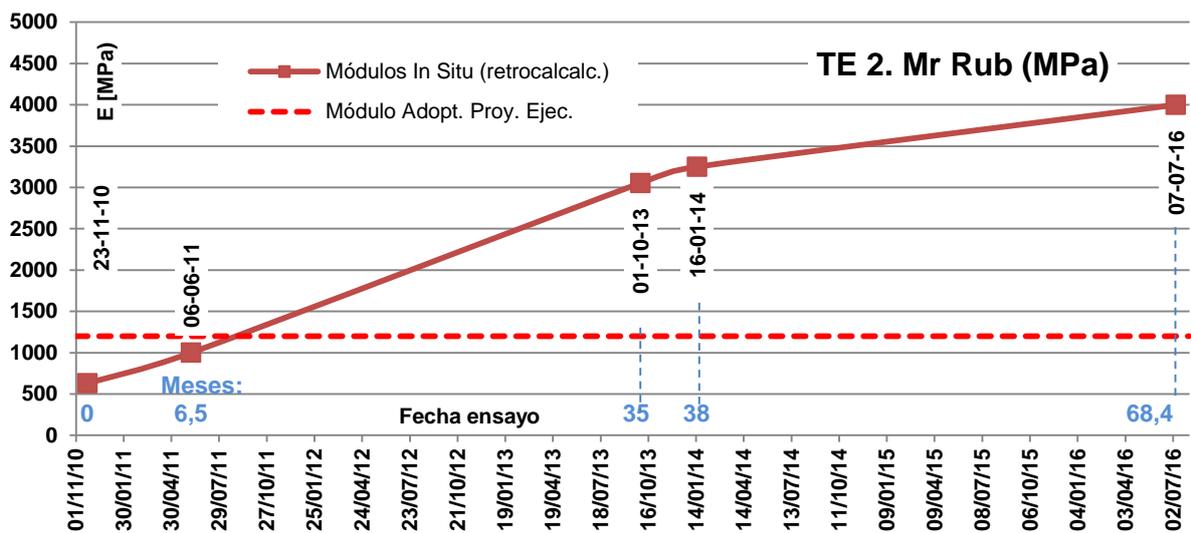
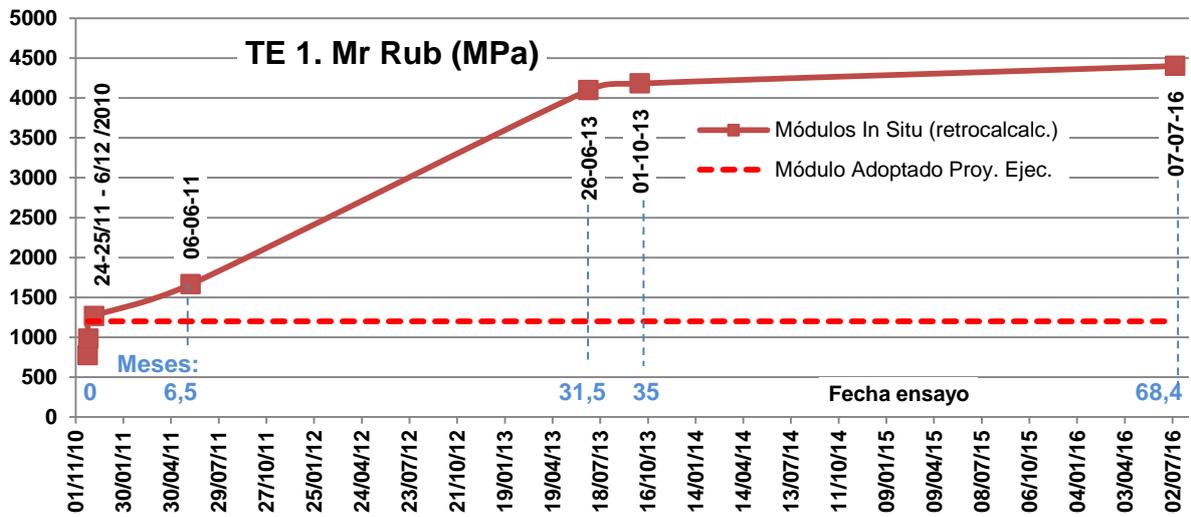
Esta caracterización se abordó aplicando una metodología de retroajuste modular [5-8-9-13] que permite conocer los módulos de trabajo de cada una de las capas integrantes del pavimento, entre las cuales se encuentra la capa de rubblizing, objeto de análisis en este estudio.

Se recurrió a las auscultaciones deflectométricas efectuadas en oportunidad de cada nueva capa asfáltica y transcurridos varios meses en servicio, con un total de más de 2.000 corridas del software BackViDe [13], para arribar a los respectivos modelos estructurales en cada punto de los tramos testigos seleccionados, identificando los módulos del rubblizing.

Las figuras a continuación reflejan los valores que caracterizan a cada tramo homogéneo, a partir de los resultados obtenidos; se indican las fechas de las auscultaciones y los meses transcurridos desde la ejecución del rubblizing, incorporándose, además, el valor de módulo adoptado en ocasión del Proyecto Ejecutivo de la obra analizada.

Los primeros valores corresponden a mediciones sobre el rubblizing y sobre las primeras capas asfálticas ejecutadas.

Se puede apreciar, claramente, el incremento con la incorporación de las capas subsiguientes y la tendencia del aumento del módulo del rubblizing con la edad (5/10, 25/30, 30/35 y 60/68 meses), hasta hacerse asintótica a un valor máximo.



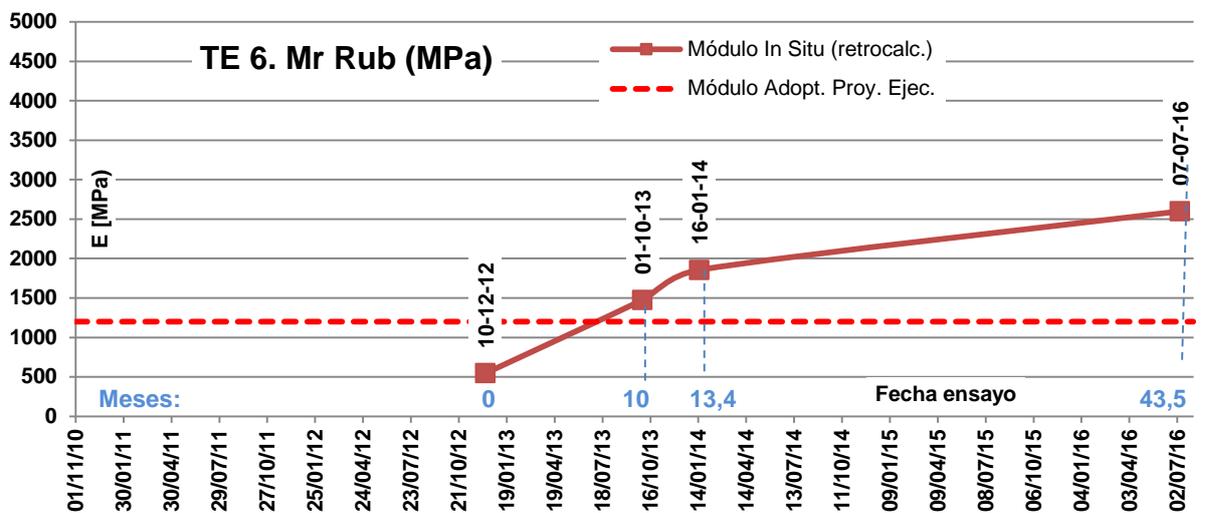
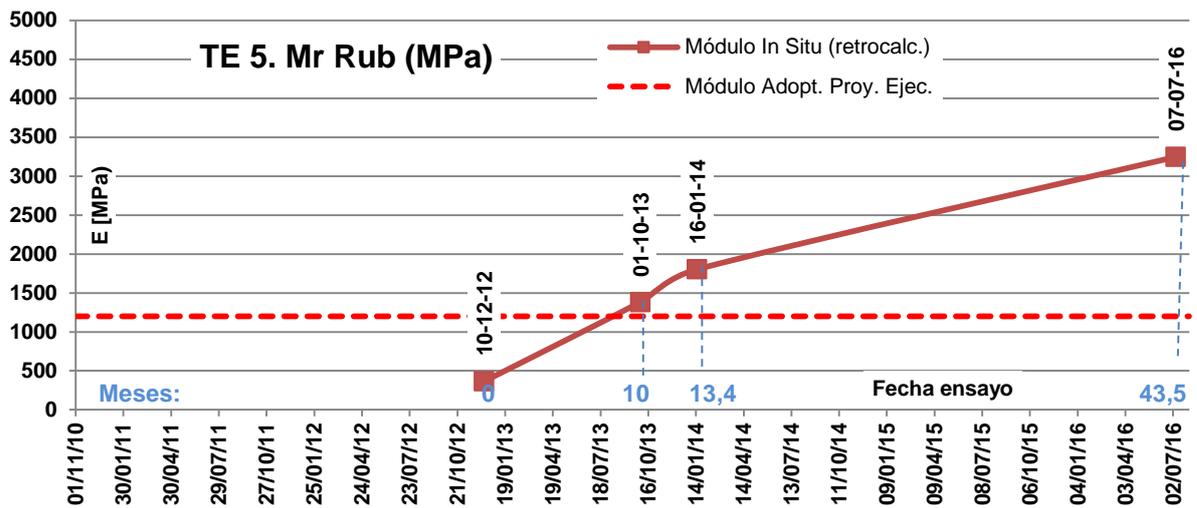
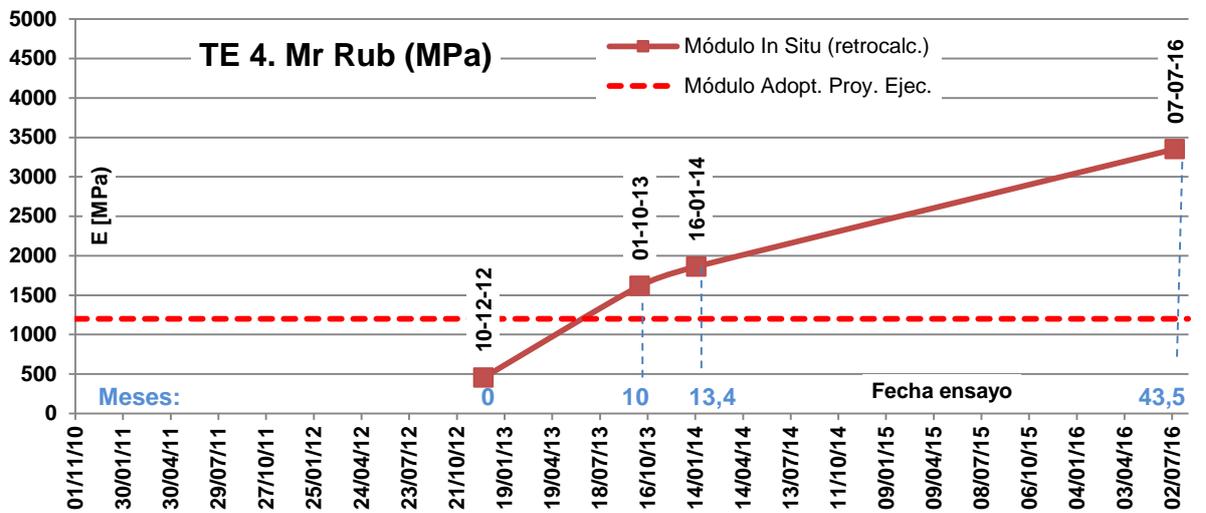


FIGURA 7. Evolución de los Módulos retrocalculados del rubblizing

Pudo observarse en el tramo experimental TE_III.6DE valores modulares más bajos que en el resto, en coincidencia con los menores valores modulares que arrojaba el retrocálculo para las capas subyacentes de suelo cemento (con escasa cementación) y de suelo cal. Esto concuerda con la experiencia en la aplicación de esta tecnología: de la influencia de la capacidad portante del resto de las capas en la respuesta estructural del rubblizing [8-12].

Por último, se realizó un análisis estadístico de los módulos de la muestra analizada, arribando al siguiente histograma. Se superpone la curva de Gauss que resulta del valor medio y la dispersión de la muestra, evidenciándose que los módulos retrocalculados de este material no responden a una distribución gaussiana. Los percentiles informados corresponden al conjunto de valores hallados y no a una hipótesis de distribución gaussiana.

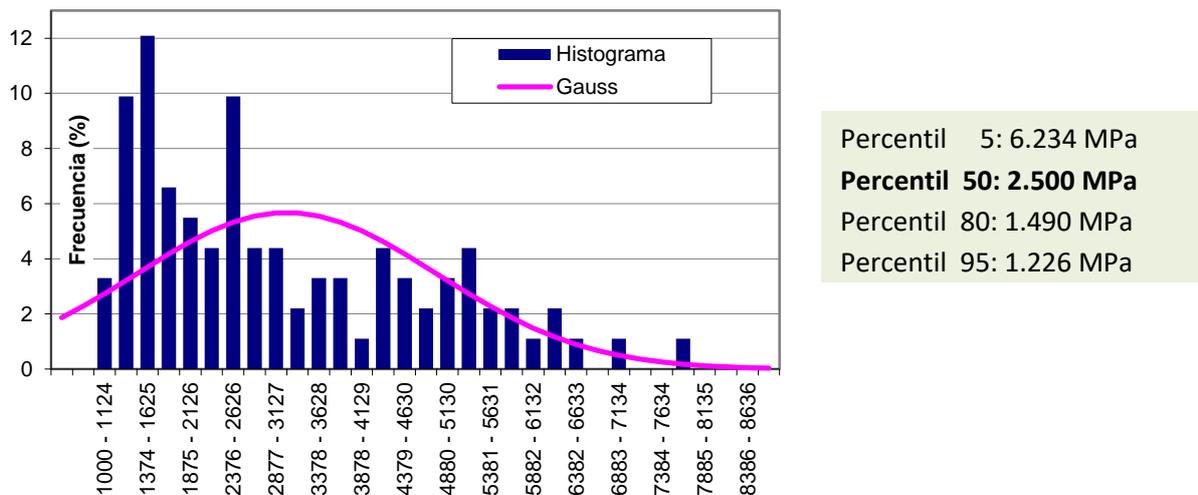


FIGURA 8. Módulo de la capa de rubblizing retrocalculado - Distribución estadística

Se comparan estos valores con el módulo de elasticidad adoptado en oportunidad del Proyecto Ejecutivo de las obras de rehabilitación [1], $E = 1.200 \text{ MPa}$.

4.4 Caracterización para AASHTO 93

Para la AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES, el diseño estructural se aborda de acuerdo a PART III. 5.5 AC OVERLAY OF FRACTURED PCC SLAB PAVEMENT [10], definiendo el número estructural del pavimento, en el cual, caracterizadas todas las capas, la incógnita es el coeficiente de aporte de la capa de rubblizing. Dicho coeficiente se determinó recurriendo a la ecuación de Witczak [5-11], en la cual intervienen los valores de módulo de elasticidad del Rubblizing retrocalculados.

$$a_{\text{Rubb}} = a_s * (E_{\text{Rubb}} / E_s)^{1/3} \qquad a_{\text{Rubb}} = 0,0045 * (E_{\text{Rubb}})^{1/3} \qquad (1)$$

a_{Rubb} [1/pulg] = coeficiente estructural del rubblizing (incógnita)

a_s [1/pulg] = coeficiente estructural de un material estándar (0,14)

E_{Rubb} [psi] = módulo de elasticidad del rubblizing obtenido por retrocálculo

E_s [psi] = módulo de elasticidad del material estándar (30.000)

Aplicando esta expresión (1) el valor de aporte estructural de esta capa de rubblizing resulta:

Para el medio (o percentil 50) de **2.500 MPa**, $a_i = 0,126 \text{ cm}^{-1}$

Para el característico (percentil 80) de 1.490 MPa, $a_i = 0,106 \text{ cm}^{-1}$

Se verifica la hipótesis adoptada en el Proyecto Ejecutivo: $a_{RUBB} = 0,098 \text{ cm}^{-1}$ (recomendaciones de la *Escuela de Ingeniería de la PUCC y Centro de Ingeniería e Investigación Vial, DICTUC S.A, Chile* [5])

4.5 Valoración estructural aplicando AASHTO 93

Finalmente se procedió a verificar las hipótesis de proyecto en términos de Número Estructural Requerido (para las solicitaciones de diseño, período igual a 15 años) versus el Número Estructural Logrado en las obras de rehabilitación, en función de las deflexiones auscultadas, aplicando la Parte III, Capítulo 5, Punto 5.3.3., de la “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993” [10]. En la Figura siguiente se observan superpuestos, los resultados de ambos valores.

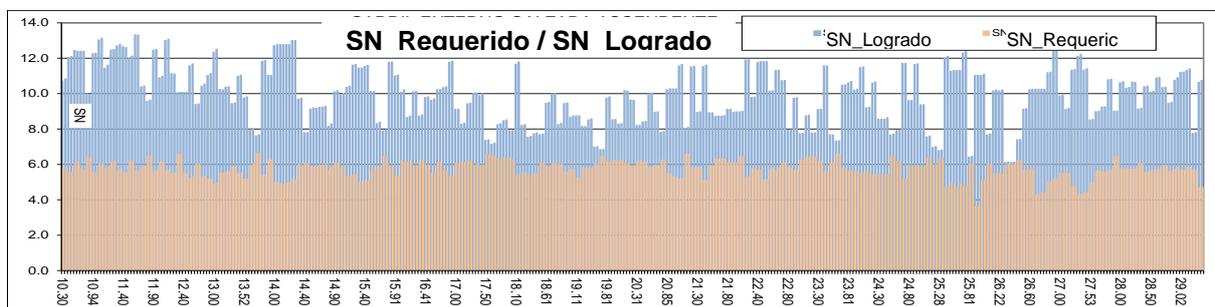


FIGURA 9. Número estructural (SN) Requerido versus Logrado

La figura siguiente representa en términos estadísticos este análisis (SN_requerido y SN_logrado)

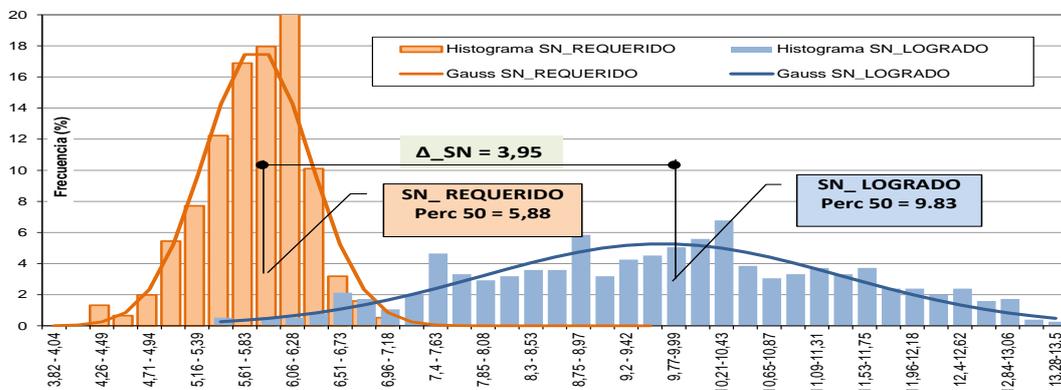


FIGURA 10. Distribución resultados de SN_Requerido versus SN_Logrado

El incremento de la capacidad estructural Lograda respecto a la Requerida es igual a 3,95 (para un percentil 50). Por último se compara el percentil 50 del SN_Logrado en las obras de rehabilitación, $SN_L = 9,83$, con los requeridos en oportunidad del Proyecto Ejecutivo: $SN_{PE} = 7,66$ (SECCIÓN II) / $6,72$ (SECCIÓN III).

5 CONCLUSIONES

Se trata de una técnica sencilla y efectiva para la fragmentación de pavimentos de hormigón, preservando la sub-base de apoyo.

Requiere de un exhaustivo análisis previo antes de su implementación.

Resulta imprescindible la implementación de drenes laterales si se utiliza esta técnica.

Se contrata "llave en mano". Los ajustes para adaptarse al pavimento a fragmentar son la clave, siendo los operadores del equipo los responsables de los mismos. La experiencia en esta obra fue muy buena en ese aspecto.

La capa de recubrimiento debe tener un espesor mínimo de 10 cm de concreto asfáltico.

No requiere riego de imprimación ni de liga para la aplicación de la capa de recubrimiento.

La obra requirió de 250.000 m² de fragmentación (Rubblizing) equivalente a 34 km de calzada de 7,30 m de ancho, sin observarse problemas durante la ejecución, ni en servicio de la estructura.

En concordancia con la bibliografía y las hipótesis adoptadas en oportunidad del Proyecto Ejecutivo, la respuesta estructural que surge de la evaluación "in situ" de la capa de rubblizing puede asimilarse a la de un granular cementado, con módulos de elasticidad que superan los 1.350 MPa (alcanzando valores de más de 5.000 MPa) y coeficientes de aportes estructurales asociados (Witczak) superiores a 0,12 cm⁻¹.

Se pudo observar el incremento de la capacidad estructural de la capa de rubblizing en cada etapa de ejecución de las capas asfálticas, así como una "maduración" con el tiempo, tanto mayor cuando más espaciada fue la medición.

Se observó una respuesta diferencial en la valoración estructural del rubblizing, en concordancia con las condiciones del resto de las capas, coincidiendo con la experiencia en la aplicación de esta tecnología y consecuente recomendación de la caracterización in situ del material resultante de la misma, fuertemente influenciado por las condiciones locales, del total del paquete estructural del pavimento.

6 REFERENCIAS

- [1] ITYAC S.A., "Proyecto Ejecutivo de la Obra: Ampliación y repavimentación de la Avda. de Circunvalación de Rosario. Tramo: Río Paraná (km 1,310) - Empalme con Avenida Belgrano (km 29,395)". Rosario Argentina, 2009.
- [2] Gerbaudo F., Bucciarelli J., Bamoneda J., Yaryez, R. - Viozzi J., Diez M. "Aplicación de la Tecnología de Trituración/ Fracturación (Rubblizing) para el Reciclado del Pavimento Rígido en la R.N. N° A-008 (Circunvalación de la Ciudad de Rosario)". XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Córdoba, Argentina, 2012.
- [3] Instituto del Cemento Portland Argentino "Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón", Argentina, 2014
- [4] NAPA: "National Asphalt Pavement Association Information Series - 132, Design and Construction Guidelines on Rubblizing and Overlaying PCC Pavements with HMA". USA, 2006.
- [5] Thenoux, G.; González, M.: "Informe Final, Proyecto Transferencia de Tecnología de Rehabilitación y Reciclado de Pavimentos de Hormigón Mediante la Técnica de Pulverización-Trituración (Rubblizing) con Rompedor Resonante", preparado para Ministerio de Obras Públicas Chile. Chile, 2007.
- [6] RESONANT MACHINES: información recuperada durante 2012 del sitio web www.resonantmachines.com. 2012.
- [7] Especificaciones Técnicas del "Proyecto Ejecutivo de la Obra: Ampliación y repavimentación de la Avda. de Circunvalación de Rosario. Tramo: Río Paraná (km 1,310) - Empalme con Avenida Belgrano (km 29,395)". Rosario Argentina, 2009.
- [8] FFA: Federal Aviation Administration Engineering, "Brief No. 66, Rubblized Portland Cement Concrete Base Course". USA, 2004.
- [9] NCHRP, AASHTO, FHA, "Guide for Mechanistic - Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures". USA, 2004.
- [10] AASHTO: Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., USA, 1993.
- [11] Witczak, M.; Rada, G.: "Asphalt Concrete Overlay Design Methodology for Fractured Portland Cement Concrete Pavements", Transportation Research Record 1374, pp. 27-35. USA, 1992.
- [12] ASPHALT INSTITUTE: "Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation", Manual Series, n° 17 (MS-17). USA, 1995.
- [13] Cainelli D., Giovanon O., Noste M., "Caracterización estructural mediante análisis mecanicista, de un pavimento rígido triturado – fracturado (rubblizing), integrante de un pavimento flexible". XVIII CILA. Bariloche, Argentina, 2015.
- [14] GIOVANON O., PAGOLA M., "Modelo mecanicista empírico para análisis de pavimentos flexibles desarrollado en argentina" XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Córdoba, Argentina, Octubre 2012