

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL,  
MATERIALES Y AMBIENTE**  
CIENCIA, INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN





### **Universidad Tecnológica Nacional**

Rector: Ing. Rubén SORO

Secretario de Ciencia y Tecnología: Ing. Omar DEL GENER

Secretaria Académica y Posgrado: Mg. Ing. Liliana Raquel CUENCA PLETSCH

### **Facultad Regional Concordia**

Decano: Ing. José Jorge PENCO

Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado: Dra. Natalia TESÓN

Secretario Académico: Ing. Fabián Andrés AVID

### **GIICMA**

Director: Prof. Jorge Daniel SOTA

DIRECCIÓN DE LA REVISTA: Salta 277 - Concordia, Entre Ríos, República Argentina

**Director:** Prof. Jorge D. Sota

**Secretario General:** Ing. Exequiel H. N. Caseres

**Secretaria Académica:** Ing. Luis P. Traversa

**Comité Académico:** Ing. Fabián A. Avid, Arq. María A. Bruno, Ing. Alejandro C. García, Ing. Gustavo Larenze, Ing. Oscar D. Rico, Ing. Darío O. Vercesi, Dra. Natalia Teson, Ing. Rosana Marcossi, Ing. Carlos Blanc, Dra. Eugenia Garat, Ing. Carlos Pasquet, Ing. Juan José Jaunarena, Arq. Ángela Barrios Padula.

Los artículos son publicados con la sola responsabilidad de los autores. La Dirección no se solidariza con las opiniones vertidas en los mismos. Los artículos pueden reproducirse total o parcialmente citando la fuente. Registro Nacional de la Propiedad Intelectual N° 249.362

Imagen de tapa: Fragmentos de muestras de hormigón utilizadas en ensayos de reacciones expansivas internas. Fuente: Artículo "Hormigones de presas: estudio de los áridos por las reacciones expansivas internas".

# Sumario

*Hormigones de presas: estudio de los áridos por las reacciones expansivas internas.*

A. Gobbi, E. Langaro, E. C. Araújo, M. Farias de Medeiros

Conferencia en GIICMA UTN FRCON - 4 de noviembre de 2022 - Concordia, Entre Ríos, Argentina.

06

*Revalorización de la componente técnica en las políticas municipales aplicadas en los pavimentos urbanos.*

J. Rivera

Conferencia en GIICMA UTN FRCON - 28 de abril de 2023 - Concordia, Entre Ríos, Argentina.

15



## Grupo de Investigación en Ingeniería Civil, Materiales y Ambiente

El **GRUPO GIICMA** fue reconocido el 26 de agosto de 2010 como Grupo UTN mediante Resolución N°794 del Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Nacional.

Desde sus orígenes como Grupo de Investigación de la Facultad Regional Concordia, las actividades estuvieron focalizadas en aspectos vinculados con la durabilidad del hormigón, contando para su desarrollo con la infraestructura del Laboratorio de Tecnología del Hormigón de la mencionada Institución.

En este contexto, las líneas de investigación donde inicialmente se ha desarrollado la mayor capacitación es la caracterización de los agregados pétreos regionales para la elaboración de hormigones. Los materiales comprenden, tanto los agregados aluvionales constituidos por gravas y arenas de las cuencas de los ríos Paraná, Uruguay y Gualaguay como los triturados basálticos de las provincias mesopotámicas.

El equipamiento actualizado y la precisión interlaboratorio lograda han permitido a este Laboratorio posicionarse como centro regional de consulta para la realización de los ensayos de reactividad álcali-agregado mediante el método acelerado de la barra de mortero, Norma IRAM N° 1674. El equipamiento adquirido y el continuo entrenamiento del personal y becarios del laboratorio permitieron incorporar las metodologías de ensayo correspondientes a la variante Australiana RTA363 del ensayo acelerado de la barra de mortero y el ensayo del prisma de hormigón correspondiente al procedimiento RILEM TC 191-ARP-03, incorporado como anexo de la Norma IRAM 1700.

A los fines de verificar el desempeño del Laboratorio de Tecnología del Hormigón de la Facultad Regional Concordia, se efectuaron estudios interlaboratorio conjuntamente con el LEMIT, ICPA y el INTI, con el objetivo principal de asegurar la calidad de los resultados obtenidos. Como objetivo secundario de esta metodología se logró ajustar los protocolos de operación, manejo, registro y análisis de muestras con un interés futuro en la acreditación del ensayo acelerado de la barra de mortero Norma IRAM 1674, estando en este momento con el ejercicio de la documentación.

Por otra parte, se han ampliado los estudios de hormigones reciclados elaborados con canto rodado y basalto, para evaluar su aprovechamiento y establecer relaciones con la corrosión de armaduras y la durabilidad frente a la RAS contando en este momento con metodología y resultados como para usar estos hormigones reciclados como agregados en pavimentos.

En los últimos años, se iniciaron trabajos en líneas de investigación para el desarrollo de equipamientos de madurez en el hormigón para determinar su resistencia y medida de la presión de las expansiones dentro del hormigón. El objetivo principal de los proyectos desarrollados y en curso, abarcan determinar su reactividad potencial álcali-sílice, medir la madurez del hormigón, medir la presión interna de expansión de los hormigones por reacciones químicas o físicas en su masa.

Se han ampliado los estudios en el último año en las áreas de Hidrología, Geología Aplicada y Suelos, contando con la infraestructura del Laboratorio de Geotecnia de la Facultad. En el caso particular de suelos, se han sumado estudios de suelos viales modificados para su caracterización.

En el área de estructuras, se realizaron algunas experiencias trabajando en temas específicos como el punzonado de placas con la transferencia académica del tema, y el uso de fibras sintéticas en el desarrollo de piezas premoldeadas.

Se consolidó en el grupo el área de Química Analítica, con el laboratorio de análisis de agua para uso en hormigones y determinación de cal útil vial en la corrección de suelos viales.

Con el Proyecto "Análisis de la infiltración de agua de lluvia en hormigones porosos" para el control en origen de inundaciones el grupo de Hidráulica integra una nueva área en el grupo GIICMA.

Se incorporaron como Áreas del GIICMA el grupo de Tránsito y Transporte de la Facultad y el grupo de las Cátedras Tecnología de los Materiales y Vías de Comunicación, Áreas Tránsito y Transporte y Área Materiales Asfálticos.

En el caso del Área Tránsito y Transporte participó con un trabajo original internacional y se incorporó al Organismo Universitario Latinoamericano.

El área de Patrimonio del GIICMA, desarrolló actividades relacionadas con los convenios con la Municipalidad de

Concordia: 1) Circuito Turístico que incluya Patrimonio Histórico y Cultural, 2) Relevamiento catastral a editar en cuadernos de difusión, lo que hizo posible la participación en Congresos Internacionales y la publicación de dos catálogos de patrimonio: uno de Patrimonio Moderno y el otro de Patrimonio Histórico de Concordia.

Con la presentación del trabajo "Alkali-aggregate reaction in recycled concrete with aggregates qualified as reactivos by the ASTM C 1260 method" en el Congreso ICCAR 2017 en San Paulo, el GIICMA se colocó como referente nacional del estudio de la reacción álcali sílice.

En el año 2016 se consolidó la publicación de la Revista on-line del grupo GIICMA: CITI (Grupo Investigación Ingeniería Civil, Materiales y Ambiente; Ciencia, Investigación, Tecnología e Innovación) conteniendo los trabajos de investigación del grupo publicado en los congresos internacionales en los que participaron sus integrantes, aguarda ya el número quince, estando completo en su contenido.

El nombre de la Revista se ve consolidado por las actividades del grupo en su interdisciplina y en lo producido, que se manifiesta por el tipo y contenido de los trabajos publicados.

El avance nos obliga a mayor compromiso sabiendo que contamos con el apoyo de la Gestión del Rectorado y de la Facultad Regional como así también de organismos Nacionales con los que mantenemos convenios muy fructíferos y los locales que siempre estuvieron presentes.

**Prof. Jorge Daniel Sota**

**DIRECTOR**

# Hormigones de presas: estudio de los áridos por las reacciones expansivas internas

Andressa Gobbi<sup>1</sup>, Eloise Langaro<sup>2</sup>, Emanuel C. Araújo<sup>3</sup>, Marcelo Henrique Farias de Medeiros<sup>4</sup>

- (<sup>1</sup>) Profesora Doctora - ORCID 0000-0002-6696-3331  
Departamento de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Federal de Paraná – UFPR
- (<sup>2</sup>) Profesora Doctora - ORCID 0000-0002-0694-3531  
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Estatal de Ponta Grossa – UEPG
- (<sup>3</sup>) MSc. doctorando - ORCID 0000-0001-7825-3479  
Programa de Posgrado en Ingeniería Civil, Universidad Federal de Paraná – UFPR
- (<sup>4</sup>) Profesora Doctora - Profesor Doctor - ORCID 0000-0003-3112-9715  
Programa de Posgrado en Ingeniería Civil, Universidad Federal de Paraná - UFPR

## Resumen

Las presas son infraestructuras hidráulicas de gran relevancia socioeconómica y fundamentales para la producción de energía hidroeléctrica, contribuyendo además al abastecimiento de agua, riego, control de inundaciones, usos recreativos y otras actividades. En este contexto, las inspecciones tienen una importancia estratégica en el área de seguridad y durabilidad de las presas, en conjunto el aumento de la vida útil de las presas de hormigón trae beneficios ambientales, sociales y económicos. La mayoría de las manifestaciones patológicas que se encuentran en las presas de hormigón están relacionadas con la presencia de agregados que reaccionan con compuestos de la pasta de cemento, dando lugar a expansiones que causan daños y comprometen la durabilidad de la estructura. Entre los principales fenómenos expansivos internos se encuentran la reacción álcali-árido (RAA) y la reacción sulfática interna (RSI). A pesar del creciente número de estudios sobre las reacciones expansivas, la ausencia de un diagnóstico preciso de las causas de los fenómenos expansivos puede conducir a tratamientos o reparaciones ineficaces, menor seguridad para la sociedad y mayores costos de mantenimiento en el futuro. La verificación de la presencia de reacciones expansivas en una estructura permite la toma de decisiones para minimizar los efectos nocivos de las reacciones.

**Palabras clave:** presas, durabilidad, expansión, álcali-sílice, álcali-árido, sulfato.

## Abstract

Dams are hydraulic infrastructures of great socioeconomic relevance and fundamental for the production of hydroelectric energy, also contributing to water supply, irrigation, flood control, recreational uses and other activities. In this context, inspections are of strategic importance in the area of dam safety and durability, together with increasing the useful life of concrete dams brings environmental, social and economic benefits. Most of the pathological manifestations found in concrete dams are related to the presence of aggregates that react with cement paste compounds, leading to expansions that cause damage and compromise the durability of the structure. Among the main internal expansive phenomena are the alkali-aggregate reaction (AAR) and the internal sulfatic reaction (IHR). Despite the increasing number of studies on expansive reactions, the absence of an accurate diagnosis of the causes of expansive phenomena can lead to ineffective treatments or repairs, reduced safety for society and higher maintenance costs in the future. Verifying the presence of expansive reactions in a structure allows decision-making to minimize the harmful effects of reactions.

**Keywords:** dams, durability, expansion, alkali-silica, alkali-aggregate, sulfate.

## Introducción

La estructura de hormigón de una presa está sometida a un entorno considerablemente agresivo, ya que la mayor parte de la estructura realizará su función en condiciones sumergidas. Los principales problemas encontrados en las presas están relacionados al desgaste de la superficie debido al paso del flujo de agua, el deshielo, las grietas y la inestabilidad dimensional causada por procesos químicos expansivos.

En este contexto, el ataque interno por sulfatos y la reacción álcali-árido son mecanismos nocivos que tienen consecuencias importantes en las estructuras de hormigón, generando expansiones y grietas en el hormigón que pueden evolucionar y afectar negativamente el funcionamiento de las construcciones.

La reacción álcali-árido (RAA) es el resultado de la interacción química entre los álcalis presentes en el cemento (principal fuente) y ciertos componentes de los áridos (finos y gruesos). Los álcalis pueden estar presentes también en adiciones minerales, el agua o en el propio árido. Este fenómeno puede dividirse en dos tipos: álcali-carbonato y álcali-sílice, siendo el último el más común. En Brasil, la presencia de áridos que contienen ópalos, cherts, cuarzo microcristalino, cuarzo deformado, vidrio volcánico y vidrios reciclados, es un factor clave para la ocurrencia de la reacción álcali-sílice. Como resultado de estas reacciones, se forma un gel que se expande al absorber agua, que puede causar una expansión anormal y agrietamiento del hormigón.

Por otro lado, la reacción sulfática interna (RSI) está relacionada con la reacción entre los iones sulfato provenientes de una fuente interna y los productos de hidratación del cemento.

La contaminación por sulfuros durante la ejecución puede ser ocasionada por el agua de amasado, cemento, adiciones, aditivos o áridos contaminados. Durante estas reacciones, los productos más comunes son el yeso secundario y la etringita, los cuales generan una expansión que puede causar tensiones internas y fisuración.

Por esta razón, estudiar formas de habilitar el uso de áridos que pueden causar reacciones expansivas internas puede ser económicamente útil para casos de presas cuyos los áridos tienen este tipo de contaminante y/o reactividad sin daños futuros al hormigón.

## Normativas y ensayos en Brasil

En algunas situaciones, es necesario utilizar los áridos contaminados o con algún grado de reactividad debido a la falta de materiales cerca que sean más apropiados o para reducir costos. Para detectar la reactividad y el potencial de expansión con relación a la RAA hay ensayos normalizados disponibles. En el caso de la RSI, las normativas generalmente establecen límites máximos de concentración de sulfuros de hierro en los áridos o en el conjunto de materiales del hormigón.

En la norma brasileña NBR 7211 (2022), los áridos con la presencia de sulfuro pueden ser utilizados para la producción de hormigón si el contenido total expresado en sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) no supere el 0,1% en masa. Incluso cuando

se excede este límite, todavía se pueden usar los áridos, siempre que el contenido en  $\text{SO}_4^{2-}$  total presente en el hormigón, aportado por todos sus componentes (agua, áridos, cemento, adiciones y aditivos químicos) no exceda el 0,2% de la masa total de la mezcla, o que se demuestre el uso de cemento Portland resistente al sulfato, en cumplimiento al exigido por ABNT NBR 13583 (2014).

En Brasil, se publicaron 7 partes de la norma ABNT NBR 5577 (2018), que establecen los criterios para la evaluación, clasificación y mitigación de la reacción álcali-sílice. En la parte 3, la norma trata del análisis petrográfico para verificar el potencial reactivo de los áridos. La petrografía es un análisis que contribuye para la clasificación preliminar del árido en relación a un potencial reactivo basado en una evaluación de sus características mineralógicas, estructurales y químicas. Según la norma, los límites máximos de fases reactivas adoptadas para clasificar un árido como potencialmente inocuo son: 5% (cuarzo deletéreo), 3% (calcedonia), 1% (tridimita o cristobalita), 3% (vidrio volcánico) y 0,5% (ópalo).

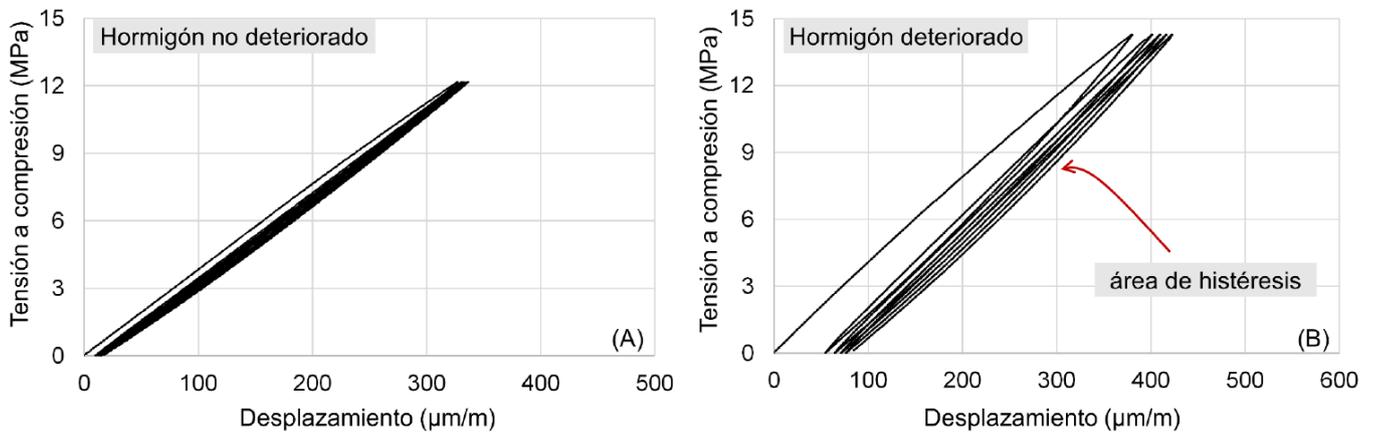
La parte 4 de la norma mencionada presenta las directrices para la determinación del potencial reactivo en barras de mortero (25 x 25 x 285 mm) en un ensayo acelerado. Para la realización del ensayo las probetas deben ser inmersas en una solución de NaOH 1N a  $80 \pm 2$  °C por 30 días, con límite de expansión < 0,19%.

Las partes 6 y 7 de la norma NBR 15577 (2018) traen los ensayos de potencial reactivo en hormigón. En la parte 6 las probetas prismáticas (75 x 75 x 285 mm) en hormigón, se almacenan en recipientes que contienen una lámina de agua en el fondo para mantener una alta humedad relativa (HR). Los recipientes se mantienen en un ambiente de temperatura controlada ( $38 \pm 2$  °C) para la aceleración de la reacción, durante un período de un año, con límite de expansión < 0,04%. Para la investigación del potencial de mitigación de un material con respecto a la reacción álcali-árido, la NBR 15577 (2018) recomienda que el ensayo en probetas prismáticas de hormigón dure hasta los 2 años.

En la parte 7, las probetas también se confeccionan y almacenan en las mismas condiciones, con diferencia de la temperatura ( $60 \pm 2$  °C) y en el tiempo de seguimiento (20 semanas, con un límite de expansión de < 0,03%).

Además de estos ensayos, existen otros métodos de ensayo desarrollados para diagnosticar estructuras que ya han sido afectadas por reacciones expansivas, que se basan en el aumento de discontinuidades en el interior del hormigón, debido al agrietamiento generado por las reacciones expansivas internas (SANCHEZ, 2014; SANCHEZ et al., 2017). La instrucción técnica de FURNAS (HASPARYK; SANCHEZ, 2021), en el que presenta y difunde un método, llamado Test de Daños por Rigidez (SDT - Stiffness Damage Test), desarrollado para evaluar el grado de deterioro del hormigón afectado por reacciones deletérea, como el RAA (SANCHEZ, 2014; SANCHEZ et al., 2016a; SANCHEZ et al., 2017). Este método ha sido ampliamente estudiado y utilizado en otros países, además se ha aplicado en normativas, como en Canadá. En Brasil, su aplicación es todavía incipiente.

El ensayo de SDT consiste en la aplicación de una car-



**Figura 1.** Hormigones sometidos al ensayo de SDT (A) no deteriorado (B) deteriorado debido a las reacciones expansivas. Fuente: los autores.

ga cíclica que evalúa la pérdida de rigidez del hormigón durante los ciclos de carga y mide parámetros como el área de histéresis, la deformación plástica y el módulo de elasticidad (Figura 1).

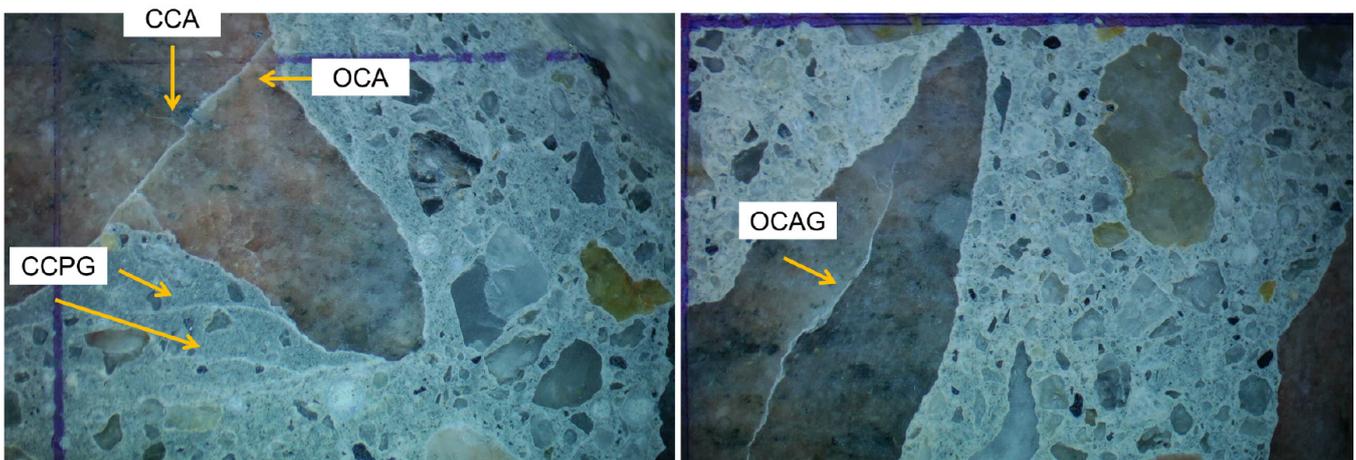
Otro ensayo que se ha difundido para evaluar el deterioro del hormigón debido a reacciones expansivas es el Índice de Calificación de Daños (DRI - Damage Rating Index) (SANCHEZ, 2014; SANCHEZ et al., 2016b). Este ensayo consiste en la evaluación y recuento de las características petrográficas resultantes de las reaccio-

nes deletéreas por medio de un microscopio óptico con aumento de 15 a 16x. Para la realización del ensayo, se corta longitudinalmente la probeta de hormigón, con la superficie pulida, se delimitan cuadrados de 1 x 1 cm. El ensayo propone la clasificación de las características petrográficas en grupos, de acuerdo con su importancia dentro del proceso de desarrollo de la reacción. El Cuadro 1 muestra la clasificación de las características petrográficas y sus factores de ponderación y la Figura 2 presenta un hormigón sometido a la RAA y algunas de estas diferentes características que se pueden encontrar.

Características petrográficas	Abreviatura	Factor de ponderación	Grupo
Fisuras cerradas en el árido ( <i>Crack in coarse aggregate</i> )	CCA	0,25	I
Fisuras abiertas en el árido ( <i>Opened crack in coarse aggregate</i> )	OCA	2,0	II
Fisuras en el árido y con presencia de gel ( <i>Crack with reaction product in coarse aggregate</i> )	OCAG	2,0	II
Árido desagregado ( <i>Coarse aggregate debonded</i> )	CAD	3,0	-
Partícula de árido desagregado/fragmentado ( <i>Disaggregate/corroded aggregate particle</i> )	DAP	2,0	II
Fisuras en la pasta de cemento ( <i>Crack in cement paste</i> )	CCP	3,0	III
Fisuras en la pasta de cemento y con presencia de gel ( <i>Crack with reaction product in cement paste</i> )	CCPG	3,0	III

**Cuadro 1.** Características petrográficas utilizadas para el análisis de DRI.

Fuente: Sanchez et al., 2015 adaptado de Villeneuve, 2011.



**Figura 2.** Hormigón sometido al ensayo de DRI que contiene características oriundas de la RAA.

Fuente: los autores.



**Figura 3.** Tinción asociada a la RSI con la presencia de coloración rosácea. Fuente: los autores.

Los ensayos de SDT y DRI, aunque han sido utilizados ampliamente para verificar el deterioro en el hormigón afectado por RAA, también se pueden utilizar para el diagnóstico de hormigón y estructuras afectadas por otras reacciones de deletérea, como la RSI.

Los ensayos anteriores son capaces de evaluar el grado de deterioro del hormigón, sin embargo, es necesario técnicas complementarias para auxiliar en la identificación de la reacción expansiva. Las tinciones selectivas, según la metodología presentada por Chinchón-Payá (2013) es un método cualitativo que ayuda a identificar áreas de interés con sospecha de fenómenos expansivos. La distribución e incidencia de las áreas coloreadas proporcionan información relevante sobre la posible reacción, complementada con pruebas adicionales de difracción de rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB) con espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDX).

El análisis MEB con EDX debe centrarse en los poros y grietas presentes en el hormigón que pueden tener depósitos de gel y etringita secundaria.

La determinación de sulfatos requiere la aplicación de os disoluciones reactivas, dando como resultado que las áreas con sulfato adquieran un tono rosáceo (Figura 3). Se debe preparar una disolución de nitrato de bario y permanganato de potasio en una proporción de 2:1 para un contenido final de sólidos del 6% (40 g de nitrato de bario, 20 g de permanganato de potasio y 940 g de agua destilada). El hormigón se humedece superficialmente en la primera disolución durante 3 minutos y luego la muestra se seca. A continuación, la muestra se sumerge durante 3 minutos en ácido oxálico. Finalmente, la superficie de la muestra se lava con agua destilada.

La tinción relacionada con la reacción álcali-árido revela áreas con alta concentración de potasio y calcio, que se encuentran en el gel producido por la RAA. Para la realización del ensayo se prepara una disolución saturada de cobaltonitrito sódico en que, la superficie de la muestra, se sumerge durante 3 minutos. Luego, la superficie del material se lava con agua destilada. El cobaltonitrito sódico reacciona con el potasio, lo que resulta en una coloración amarilla (Figura 4a). A continuación, se su-



**Figura 4.1** Tinción asociada a la RAA. Diferencia de coloración amarilla a lo largo de la muestra. Fuente: los autores.



**Figura 4.2** Tinción asociada a la RAA. Diferencia de coloración rosada a lo largo de la misma muestra.  
Fuente: los autores.

merge durante 3 minutos la superficie de la muestra en una disolución saturada de rodamina B (50 g·L<sup>-1</sup>). Posteriormente, el material se lava con agua destilada. La disolución de la rodamina B reacciona con el calcio, lo que resulta en un color rosado (Figura 4b).

### Casos de presas en Brasil

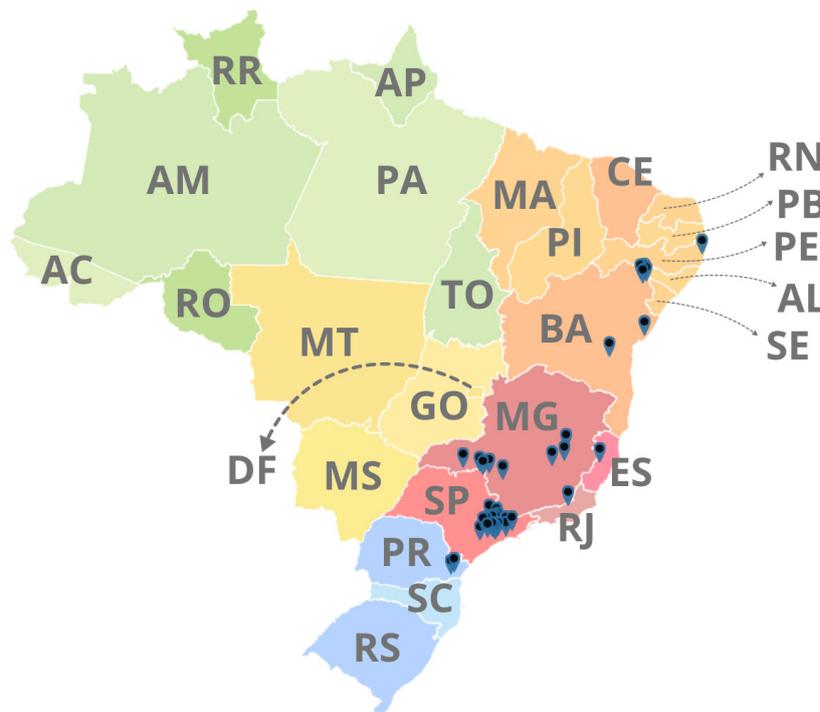
En Brasil, en 2023, hay 1303 centrales hidroeléctricas registradas, entre Microcentrales Hidroeléctricas (aquellas con hasta 1 MW de potencia instalada), Minicentrales hidráulicas (aquellas entre 1,1 MW y 30 MW de potencia instalada) y Centrales hidráulicas de gran potencia (con más de 30 MW de potencia instalada).

En 2017 y 2022 dos publicaciones (FAIRBAIRN, 2017; HASPARYK, 2022) han compilado los casos de centrales hidroeléctricas en Brasil con evidencia y posterior diagnóstico de RAA.

La Figura 5 y el Cuadro 2 muestran las ubicaciones indicadas por los autores. Varios de estos casos han sido relatados en estudios desarrollados en disertaciones y tesis en Brasil.

En el estado de São Paulo (SP), actualmente están registradas 138 centrales hidroeléctricas. De acuerdo con la información proporcionada por las publicaciones, 19 presas de estas han sido diagnosticadas con RAA, de esta forma, se convierte en el estado que más ha registrado problemas resultantes de la reacción deletérea. En el estado de Minas Gerais (MG), hay 239 presas registradas, y sólo 6 casos han sido listados en los que se ha observado problemas derivados de la RAA.

Sin embargo, además de los esfuerzos realizados para recopilar los casos de presas diagnosticadas con reacciones de deletérea, todavía hay poca información disponible en el medio técnico. Cuando se trata de la RSI,



**Figura 5** Mapa de Brasil que contiene las indicaciones de las obras hidráulicas afectadas por la RAA.  
Fuente: figura desarrollada por los autores, adaptada de las informaciones del Cuadro 2.

todavía hay menos información disponible. Según Batista (2013), una de las presas que ha sido reportada con problemas relacionados con la reacción sulfática interna

es la Presa do Rio Descoberto, ubicada en Brasilia, en el Distrito Federal.

Central hidroeléctrica/ Presa	Estado	Indicio y/o evidencia de la RAA	Tipo del árido
Central hidroeléctrica Jurupará	SP	Diagnóstico 1997	Gneis; biotita granito
Presa de Peti	MG	1964	Granito – gneis
Presa Guanhões – Central hidroeléctrica Salto Grande	MG	2001	Gneis
Central hidroeléctrica Jaguará	SP	1996	Cuarcita
Central hidroeléctrica Apolônio Sales (Moxotó)	AL	Indicios 1980 y diagnóstico 1984	Granito y biotita gneis
Central hidroeléctrica Paulo Afonso I	BA	1978	Granito, biotita gneis y biotita granito
Central hidroeléctrica Paulo Afonso II	BA	1978	Granito y anfíbol gneis
Central hidroeléctrica Paulo Afonso III	BA	1978	Granito y biotita granito
Central hidroeléctrica Paulo Afonso IV	BA	1985	Granito, biotita gneis, biotita granito, anfíbolita y anfíbol biotita gneis
Central hidroeléctrica Pedra	BA	1980	Granate granulita
Central hidroeléctrica Sobradinho	BA	2000	Cuarcita
Central hidroeléctrica Tapacurá	PE	1990	Granito y gneis cataclasitos
Central hidroeléctrica Piratininga	SP	2002	Gneis
Presa de Pirapora	SP	1998	Granito/gneis
Presa Reguladora Bilings-Pedras	SP	1992	Granito
Presa Rio das Pedras	SP	1992	Gneis/milonita
Central hidroeléctrica de Rasgão	SP	-	Granito/filita
Planta de bombeo de Pedreira	SP	2000	Gneis/milonita
Planta de bombeo de Traição	SP	1994	Milonita
Presa de Joanes II	BA	1988	Gneis, migmatita y granulita
Central hidroeléctrica Mascarenhas	ES	Diagnóstico 2003	-
Central hidroeléctrica Furnas	MG	1976	Cuarcita
Central hidroeléctrica Luiz Carlos Barreto de Carvalho	SP	1994	Cuarcita
Central hidroeléctrica Mascarenhas de Moraes	MG	1994	Cuarcita
Central hidroeléctrica Porto Colômbia	MG	1985	Basalto/guijarro de cuarzo
Central hidroeléctrica Jaguari	SP	Indicios 1985/1990 y diagnóstico 2000	Gneis milonitizado
Central hidroeléctrica Ilha dos Pombos	RJ	1991	Gneis
Central hidroeléctrica Santa Branca	SP	1995	Gneis
Central hidroeléctrica Sá Carvalho	MG	Diagnóstico 1997	Granito
Presa Atibainha	SP	1992	Biotita gneis cataclástico
Presa Cascata	SP	1992	Granito-gneis
Presa Jaguari	SP	1992	Gneis milonitizado
Presa Paiva Castro	SP	1992	Biotita granito-gneis
Presa Pedro Beitch	SP	1992	Biotita gneis
Presa Ribeirão do Campo	SP	1992	Biotita gneis cataclástico
Central hidroeléctrica Paraibuna	SP	-	Milonita
Presa de Vossoroca	PR	-	Gneis
Central hidroeléctrica Guaricana	PR	-	Milonita, granito

**Cuadro 2** Casos en Brasil de obras hidráulicas que se ven afectadas por la RAA.  
Fuente: adaptado de Fairbairn (2017) e Hasparyk (2022).

## Conclusiones

Este artículo presenta las informaciones sobre la normalización actual en Brasil de los dos tipos de reacciones deletéreas que pueden ocurrir en obras de presas hidráulicas, la reacción álcali-árido y la reacción sulfática interna. El RSI aún carece de normativas, las normas actuales solo establecen límites máximos para la concentración de sulfuros de hierro en áridos o en el conjunto de materiales del hormigón.

Recientemente, se llevó a cabo una recopilación de las presas afectadas por RAA en Brasil. La mayoría de las presas identificadas con el proceso deletéreo están ubicadas en el estado de São Paulo. A pesar del creciente número de estudios sobre reacciones expansivas, todavía hay una falta de mapeo de las obras hidráulicas afectadas por estas reacciones deletéreas, especialmente con respecto a RSI.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Federal de Paraná (UFPR), al Programa de Posgrado en Ingeniería Civil (PPGEC-UFPR) y al Centro de Estudios de Ingeniería Civil (CESEC-UFPR).

## Referencias Bibliográficas

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Requisitos.** Rio de Janeiro, p. 10. 2022.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13583: Cimento Portland — Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio.** Rio de Janeiro, p.14. 2014.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-1: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 1 - Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto.** Rio de Janeiro, p. 21. 2018.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-3: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 3 - Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto.** Rio de Janeiro, p. 10. 2018.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-4: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 4 - Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.** Rio de Janeiro, p. 17. 2018.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-6: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 6 - Determinação da expansão em prismas de concreto.** Rio de Janeiro, p. 20. 2018.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-7: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 7: Determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado.** p 20. Rio de Janeiro, 2018.
8. BATISTA, D. G. **Investigação da deterioração de concretos de uhes por reações com os agregados.** 2013. 310 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.
9. CHINCHÓN-PAYÁ, S. **Áridos reactivos en hormigones de presa. Reacción sulfática con formación de thaumasita.** Tesis Doctoral. Universidad de Alicante. Alicante, España, 2013.
10. FAIRBAIRN, E. M. R. **South and Central America. Alkali-Aggregate Reaction in Concrete: A World Review.** CRC Press, 2017.
11. HASPARYK, N. P.; SANCHEZ, L. **SDT-Método de Ensaio para a Determinação do Índice de Dano de Rigidez (SDI) e Índice de Deformação Plástica (PDI) em Concretos.** Instrução Técnica ITDSBE0011 Furnas. Goiânia, 2021.
12. HASPARYK, N. P. **Reação Álcali-Agregado no Concreto. Concreto: Ciência e Tecnologia.** vol. 2. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2022.
13. SANCHEZ, L. F. **Contribution to the assessment of damage in aging concrete infrastructures affected by alkali- aggregate reaction.** Tese (Doutorado) — Université Laval. p. 377, 2014.
14. SANCHEZ, L. F.; FOURNIER, B.; JOLIN, M.; DUCHESNE, J. **Reliable quantification of AAR damage through assessment of the Damage Rating Index (DRI).** Cement and Concrete Research, Elsevier Ltd, v. 67, p. 74–92, 2015.
15. SANCHEZ, L. F. M.; FOURNIER, B.; JOLIN, M.; BASTIEN, J.; MITCHELL, D. **Tools for assessing damage in concrete affected by AAR coming from fine and coarse aggregates.** IBRACON Structures and Materials Journal, v. 10, n. 1, p. 84–91, 2017.
16. SANCHEZ, L. F. M.; FOURNIER, B.; JOLIN, M.; BASTIEN, J.; MITCHELL, D. **Practical use of the Stiffness Damage Test (SDT) for assessing damage in concrete infrastructure affected by alkali-silica reaction.** Construction and Building Materials, Elsevier Ltd, v. 125, p. 1178–1188, 2016a.
17. SANCHEZ, L. F. M.; FOURNIER, B.; JOLIN, M.; BEDOYA, M. A. B.; BASTIEN, J.; DUCHESNE, J. **Use of Damage Rating Index to quantify alkali-silica reaction damage in concrete: Fine versus coarse aggregate.** ACI Materials Journal, v. 113, n. 4, p. 395–407, 2016b.
18. VILLENEUVE, V. **Determination De L' Endommagement Du Béton Par Méthode Péetrographique quantitative.** Tese (Doutorado) - Université Laval. p. 203, 2011.

**RUS**



*Org.*  
*"El Galpón"*  
**RIO URUGUAY  
SEGUROS®**



## LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO MULTIDISCIPLINARIO PARA LA INVESTIGACION TECNOLOGICA

### **TECNOLOGIA DEL HORMIGON**

- Estudio de materiales y componentes del hormigón armado
- Estudio de hormigones convencionales y especiales
- Durabilidad de agregados y de hormigones en distintos ambientes
- Métodos no destructivos
- Elaboración de especificaciones técnicas para obras civiles
- Evaluación de estructuras construidas afectadas por patologías
- Corrosión de armaduras



***Investigación y desarrollos tecnológicos***

***Capacitación RRHH***

***Servicios Tecnológicos a terceros***

**52 e/121 y 122 - La Plata - Buenos Aires - Argentina**  
**Tel.: (0221) 4831141/44**

**[www.lemmit.gov.ar](http://www.lemmit.gov.ar)**

# Revalorización de la componente técnica en las políticas municipales aplicadas en los pavimentos urbanos

Julián Rivera<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>) LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA, Avenida 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina.

Contacto: jrivera@frlp.utn.edu.ar

## Resumen

En la Argentina, los pavimentos urbanos son gestionados mayoritariamente a nivel municipal. Esa gestión, en escasas oportunidades se efectúa a través de un sistema formal que establezca mediante herramientas a tal fin, en función de los recursos disponibles y las necesidades imperantes, qué hacer, dónde y cuándo en relación a la conservación, rehabilitación, reconstrucción y obra nueva de los pavimentos sobre los que tiene jurisdicción dicho municipio. Específicamente en cuanto a rehabilitación, entendiendo por tal a aquella aplicable cuando la condición del pavimento se encuentra entre ciertos valores límites para devolver al pavimento su condición inicial (o al menos parte de ella), las intervenciones que se terminan materializando suelen ser las que implican menores costos. Es decir, impera la idea de economía basada en una menor inversión inicial que, como se sabe, no siempre es la más razonable a mediano y largo plazo. Esta decisión en muchos casos se debe a una real limitante en cuanto a los fondos disponibles, pero, en otras tantas veces, se debe a que en los cuerpos técnicos municipales no se cuenta con personal especializado en la materia que entienda que pueden aplicarse mejoras sin requerir de notorios mayores costos. Es decir, se suele adolecer de quien pueda llevar adelante proyectos que no impliquen sustanciales mayores recursos como si importantes mejoras técnicas, que redundan en mayores vidas útiles y decisiones "realmente" más económicas.

El presente artículo, luego de una introducción conceptual a la gestión de pavimentos, plantea un ejemplo de aplicación de una rehabilitación sobre un caso en particular, la colocación de una capa asfáltica por sobre un pavimento de hormigón deteriorado, demostrando cómo se materializa muchas veces lo precedentemente descrito. Se pretende con el mismo poner a la luz la diferencia notoria que puede existir en la aplicación de esta tarea, para que se perciba aun por quienes no sean expertos en la materia.

**Palabras clave:** Gestión vial, Pavimentos, Red vial municipal.

## Abstract

In Argentina, urban pavements are managed mainly at the municipal level. This management, on rare occasions, is carried out through a formal system that establishes, with tools for this purpose and depending on the available resources and the prevailing needs, what to do, where, and when in relation to conservation, rehabilitation, reconstruction, and new work on the pavements over which the said municipality has jurisdiction. Specifically, in terms of rehabilitation, understanding as such the one applicable to return the pavement to its initial condition (or at least part of it) when its condition is between certain limit values, the interventions materialized are usually those that imply lower costs. In other words, the idea of an economy based on a lower initial investment prevails, which, as is known, is not always the most reasonable in the medium and long term.

This decision in many cases is due to a real limitation in terms of available funds, but, on many other occasions, it is because the municipal technical bodies do not have specialized personnel in the matter who understand that improvements can be applied without require significantly higher costs. In other words, the municipalities do not have who can carry out projects that do not imply substantially more resources as well as important technical improvements, which result in longer useful lives and "really" cheaper decisions.

This article, after a conceptual introduction to pavement management, presents an example of the application of a rehabilitation in a particular case, the placement of an asphalt layer over a deteriorated concrete pavement, demonstrating how what is often materialized previously described. It is intended with the same shown the notorious difference that may exist in the application of this task so that it is perceived even by those who are not experts in the field.

**Keywords:** Road management, Pavements, Municipal road network.

## El marco conceptual de las políticas municipales en relación a los pavimentos

En la Argentina, salvo en el caso de arterias de la red nacional o provincial cuando se desarrollan en un entorno dado de urbanidad (travesías urbanas) en los cuales las reparticiones viales de esas instancias de gobierno no pierden jurisdicción, los pavimentos urbanos son gestionados a nivel municipal. Si se tiene en cuenta en cuanto a extensiones, no existen datos precisos al respecto, pero de manera descriptiva es ampliamente aceptado que esto pasa en la inmensa mayoría de la red (Tella y Potocko, 2019). En resumen, los pavimentos urbanos son gestionados a nivel local e implican un desarrollo kilométrico importantísimo.

En ciudades de envergadura en cuanto a niveles de población, ese nivel local es cubierto por cuerpos técnicos que en ocasiones cuentan con la formación y las herramientas (propias o tercerizadas) como para llevar adelante esa gestión; la cual sólo en escasas oportunidades se efectúa a través de un sistema formal que establezca mediante herramientas a tal fin, en función de los recursos disponibles y las necesidades imperantes, qué hacer, dónde y cuándo en relación a la conservación, rehabilitación, reconstrucción y obra nueva de sus pavimentos (Macea-Mercado et al., 2016). En el resto de los núcleos urbanos, que implican la mayoría de la tipología de vías en cuestión, los cuerpos técnicos adolecen de formación y herramientas en tal sentido.

Vale la pena entonces, debido a esta potencial falta de formación al respecto, definir algunos de los conceptos que se han hecho intervenir en las aseveraciones precedentes, para ilustrarlas de mejor modo. Para ello, se exponen algunos aspectos de lo que implica un sistema de gestión de pavimentos y de las diversas instancias de intervención factibles.

### 1. Los sistemas de gestión de pavimentos municipales

La gestión de pavimentos es un rubro de la gestión vial, pues esta última incluye aspectos complementarios como los de sus redes de escurrimiento, el sistema de señalamiento (semáforos, señales verticales, demarcación horizontal, etc.), el estacionamiento público, etc. (Pairone y Rivera, 2022). Esa gestión puede realizarse mediante intervenciones que surgen de políticas exógenas o a través de un sistema de gestión ad hoc.

En la Argentina, en la generalidad de los municipios se maneja el tema mediante la primera manera, lo cual no implica necesariamente un defecto en sí. No obstante, posiblemente vale la pena exponer algunos conceptos relacionados con los sistemas de gestión de pavimentos formales, que puedan ser de utilidad para ilustrar respecto de la temática del artículo y, por qué no, para que al ser expuestos surjan como potencialmente de instrumentación en alguna medida por aquellos que no los tenían en cuenta.

Estos, como todo sistema, cuentan con una serie de herramientas asociadas que guían la gestión propiamente dicha. Estas herramientas según sea el autor se pueden mencionar de diferentes maneras, aunque guardando siempre ciertas características básicas que se pasan a de-

tallar.

#### 1.1. BASE DE DATOS

Se trata de una herramienta que permite reunir y organizar los al menos 4 aspectos de los datos con los cuales se debe contar en una gestión.

El primero es el de poder distinguir un elemento sobre el cual se toma una decisión respecto de otro. Es por ello, que en la gestión de pavimentos se genera la segmentación de la red en tramos homogéneos en cuanto a las características distintivas a partir de las cuales se tomarían acciones diferentes. De este modo, pueden ser aspectos distintivos diferentes anchos de calzada, tipología de materiales, etc. Se tienen así los datos que constituyen lo que se conoce como "el inventario".

El segundo aspecto se relaciona a establecer cómo se encuentran esos elementos en cuanto a cantidad y severidad de las diferentes tipologías de deterioros observables en un pavimento. Se constituye lo que se conoce como "la condición".

El tercer aspecto se relaciona con la solicitud que se prevé tenga el tramo en cuanto a volumen, clasificación y distribución de cargas dinámicas solicitantes. Se tiene de ese modo "la demanda".

Y el cuarto aspecto necesario en cuanto a datos los constituye "la historia". Es decir, la línea de tiempo de intervenciones sobre el elemento en cuestión y de la evolución previsible.

#### 1.2. DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN

En función de la disponibilidad de la base de datos, técnicamente se pueden diseñar diversas alternativas de intervención en cada uno de los elementos componentes del inventario, que pueden ir desde la no necesidad de intervención hasta la reconstrucción mediante diversas técnicas. El arribar a esas alternativas técnicas es producto de la aplicación de esta herramienta del sistema de gestión.

#### 1.3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE INTERVENCIÓN

Esta herramienta se relaciona con el hecho de explorar las posibles fuentes de recursos y los aspectos complementarios en cuanto a necesidades, e interrelacionarlos con las alternativas técnicas de intervención. Técnicas de evaluación económica mediante análisis de sensibilidad, de árbol de decisiones, etc., se involucran por medio de la misma en sus consideraciones finales.

#### 1.4. RETROALIMENTACIÓN

La última herramienta del sistema de gestión, como en cualquier sistema para obtener su condición de tal, debe ser la de retroalimentación basada en mediciones de la aplicación de la alternativa seleccionada, de manera tal de generar un ciclo de mejora continua a tales efectos.

## 2. Las instancias de las intervenciones en pavimentos

En relación a la aplicación de alguna alternativa de acción entorno a un pavimento, existen 4 instancias que habitualmente se reconocen.

La primera de ella se suele aceptar se da ante la apertura de una nueva traza y su pavimentación, o cuando una

traza existente cambia fuertemente su condición, como es el caso de la pavimentación de una vía dada, con comportamiento estructural granular, por primera vez. Esta instancia es la que se puede denominar como de "obra nueva" y es la que en teoría reúne las condiciones óptimas iniciales por no presentar un grado de deterioro relacionado.

Cuando ese deterioro comienza a evolucionar en el tiempo, es posible aplicar ciertas intervenciones que intentan (y como veremos sólo intentan) devolver ese estado inicial. Esas intervenciones tienen su razón de ser óptima hasta cierto nivel de deterioro dado; a partir del cual, no obstante, aún pueden ser aplicadas. Esto es lo que se suele conocer como la "conservación" del pavimento.

Si el nivel de deterioro supera el punto óptimo para la aplicación de una alternativa de conservación, para buscar devolver, al menos en parte, el nivel de condiciones iniciales debe pensarse en una intervención más abrupta. Esto es lo que se conoce como la "rehabilitación" de un pavimento que, nuevamente, también posee un nivel máximo de deterioro para su aplicación de manera adecuada.

Cuando se supera ese nivel de admisibilidad para una rehabilitación, el defecto ha tomado valores tales que lo que corresponde es ya la "reconstrucción".

Esto que se ha mencionado de manera teórica es medible y dable de particularizar en cualquier tramo de pavimento ante cualquier condición imperante mediante algún sistema de modelación dado, ya sea que se lo diseñe con menor o mayor grado de complejidad.

Ahora bien, la existencia de esos diferentes niveles de intervención no debe considerarse como hechos separados, pues la gestión de pavimentos se quiera o no, corresponde a un hecho relacionable a un problema de red y no de gestión de elementos aislados. Esto se comprende mejor cuando se observa que el tránsito (o mejor dicho la demanda vial) es una expresión particular de la demanda del transporte; que a su vez se reconoce como del tipo derivada (de la necesidad de resolver una demanda primaria como la alimentación, la educación,

el trabajo, la recreación, la cultura, etc.). Dado entonces que la demanda vial es del tipo derivada por propiedad transitiva, el usuario del medio vial resolverá su necesidad primaria ajustando itinerarios de viaje de acuerdo a su conveniencia, fuertemente incidiendo por el grado de deterioro de los pavimentos. Dicho de una manera más coloquial, se circula por donde más conviene y por lo tanto no importa tanto a nivel comunidad cómo se encuentran ciertos tramos particulares de una red, sino la red en su conjunto (Rivera, 2015).

Aceptado que lo que debe gestionarse es una red, surge como probable deban gestionarse tramos en cuanto al menos más de una instancia de intervención; pero esto no es todo.

El momento de la intervención también tiene algo que decir al respecto, y sobre todo cuando se lo analiza en términos monetarios despojados de la variable tiempo (aplicando tasas de descuento) y en cuanto a la forma de evolución del deterioro. En relación a esto último, cabe señalar que la condición de un pavimento (inversa a su grado de deterioro) responde a la curva alabeada observada en la Figura 1 en traza continua negra y no a una línea recta como la volcada en gris. O sea, no hay una proporcionalidad directa constante entre la pérdida de condición y el paso del tiempo.

En esta Figura 1 también pueden observarse otros detalles de interés. Dado que la conservación se realiza de manera óptima en una ventana en cuanto a deterioro bajo, es imaginable pensar que lleva a menores costos que las otras instancias, aunque implicando alta proporcionalidad de la vida útil del pavimento; supóngase que dicha intervención tiene un costo de 1 bajo los términos monetarios ya expuestos. En los mismos términos, también es dable pensar suceda con una rehabilitación y de manera comparativa con la reconstrucción. En esos casos se suele aceptar que lo que no se pagó 1 al conservar (contándose con una ventana de tiempo amplia para la intervención), debe pagarse entre 3 y 5 veces para rehabilitar (con una ventana de tiempo intermedia), y de 30 a 50 veces para reconstruir (con una ventana de tiempo muy acotada previo a la no transitabilidad).

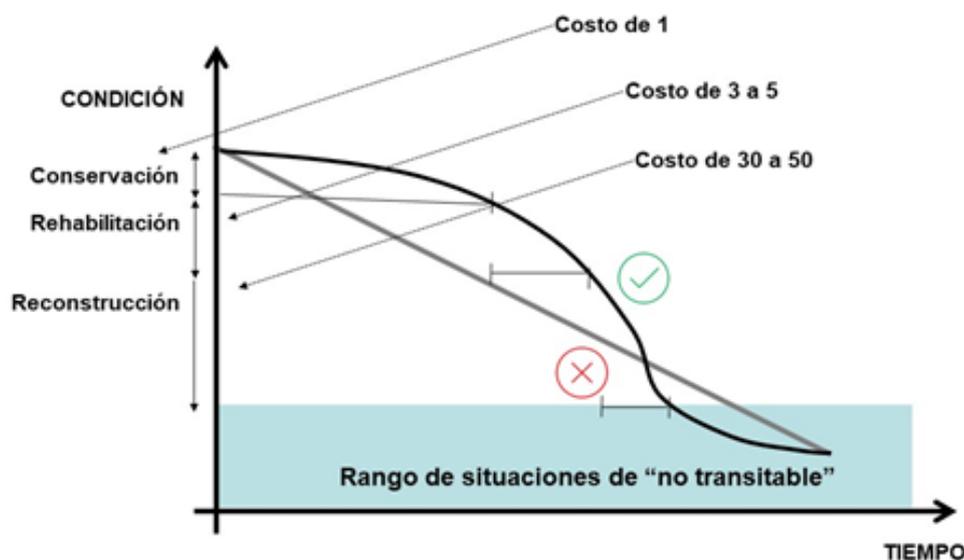
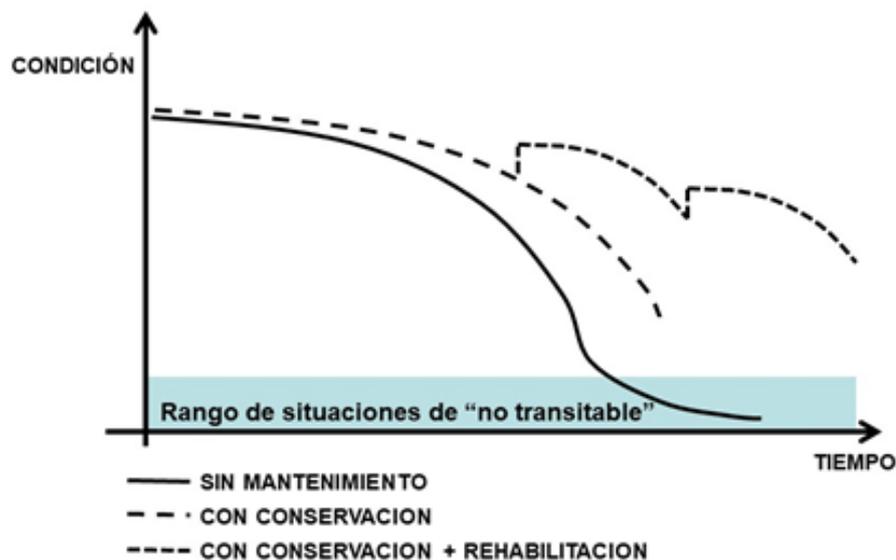


Figura 1. Oportunidades de intervención en un pavimento.



*Figura 2. Esquema de incidencia en la condición de las oportunidades de intervención.*

Si se deja de lado a la obra nueva, pues conceptualmente es posible exista una red vial en la cual no sea necesaria, entonces es posible que se piense que si de manera ideal se recibe una red vial para gestionar en la cual ninguno de sus tramos presenta deterioro, dado su menor costo relativo, es posible mantenerla en el tiempo aplicando sólo tareas de conservación. Pero el problema es que no todo deterioro inicial se resuelve con una conservación, como así tampoco todo deterioro intermedio se resuelve rehabilitando. Por ejemplo, el consumo a fatiga de un pavimento flexible (la tipología mayoritaria de lo que se conoce como pavimento asfáltico) se pone en juego generalmente en la fibra traccionada inferior de la capa ligada. Por lo tanto, se trata de un deterioro mediante una fisura que evoluciona desde la fibra inferior de la carpeta asfáltica hacia la superior y que, con las técnicas actualmente existentes, no posee una alternativa técnica/económica de aplicación para su resolución a escala municipal.

El aceptar este hecho es el principio que permite llegar a la Figura 2, en la cual se observa cómo incide en la curva de deterioro la conservación y la rehabilitación. Por un lado, se puede ver que la conservación, en cierto modo, sólo difiere en el tiempo la disminución de la condición del pavimento. Por otro lado, se ve que una rehabilitación devuelve cierta parte de la condición de manera instantánea, por lo que futuras rehabilitaciones permiten llegar a niveles de condición cada vez menores.

En resumen, a largo plazo en toda red de pavimentos que se gestione (aunque no se aplique un sistema ad hoc) se deberían aplicar en mayor o menor grado políticas de conservación, rehabilitación y reconstrucción que, como además cuentan con diferentes costos monetarios, pueden ser materializadas con menor o mayor éxito en función de la ingeniería que se ponga de por medio. Pero, complementariamente, además esa ingeniería debe ser óptima en cuanto a sus características tecnológicas; pues una buena decisión en cuanto a qué hacer, dónde y cuándo (que ya se vio es complejo de establecer) si resulta de inadecuada aplicación, implica alta probabilidad de falla del sistema en su conjunto.

Lo expresado indica a las claras que la instrumentación

exitosa de políticas de intervención municipales en cuanto a sus pavimentos requiere de una ingeniería del sistema aplicado, de las tecnologías y técnicas puestas en juego en obra, y del respectivo control. El primer componente es el que se ha expuesto hasta ahora. El tercero sería motivo de todo un artículo en sí, pero cabe señalar que un sistema de inspección propio, uno de supervisión y/o uno con controles tercerizados (como los que pueden realizarse mediante laboratorios universitarios de la disciplina) son las vías para explorar para su materialización. El segundo componente, dejado para su exposición al final ex profeso, es parte componente de lo que se conoce como la "ingeniería de pavimentos", cuya descripción en aquellos aspectos que resultan de interés a los efectos del presente artículo se aborda en el siguiente apartado.

## La ingeniería de pavimentos aplicada al ámbito municipal

Un modelo conceptual simplificado para su comprensión podría generarse en torno a dos componentes fuertemente interrelacionados, "el diseño estructural del pavimento" y "la tecnología de los materiales del pavimento". En relación al primer componente propuesto, cabe señalar que los pavimentos son una tipología de estructura que cuenta con toda una serie de particularidades que llevan a la existencia de profesionales especializados en la materia (AASHTO, 1993); nuevamente, el abordaje de las consideraciones básicas estructurales de los pavimentos es motivo para toda una serie de artículos en sí. Lo mismo pasa con el segundo componente propuesto, el de la tecnología de los materiales del pavimento, que involucra no sólo al material aplicado, sino también a las técnicas de empleo utilizadas.

El conocimiento de estas técnicas, más allá de que se las relacione con el motivo de este artículo vinculado con lo estrictamente municipal, requiere de la experiencia particular a lo largo del tiempo (individual y grupal de quienes intervengan) y de la formación continua basada en el avance tecnológico.

Es por esto por lo que se justifica el título empleado que apela a revalorizar la componente técnica en las políticas



**Figura 3.** Inadecuado tomado de juntas (a) y aplicación de un riego de liga (b).

municipales aplicadas en los pavimentos urbanos. Por ello, a manera de ejemplo que pueda ser percibido de modo general, se vuelca a continuación la descripción de un caso que muestra las implicancias de aplicación respecto de lo estrictamente tecnológico de los materiales a manera de cierre del artículo, previo a las conclusiones.

**1. Ejemplo de aplicación relacionado estrictamente con lo tecnológico de los materiales**

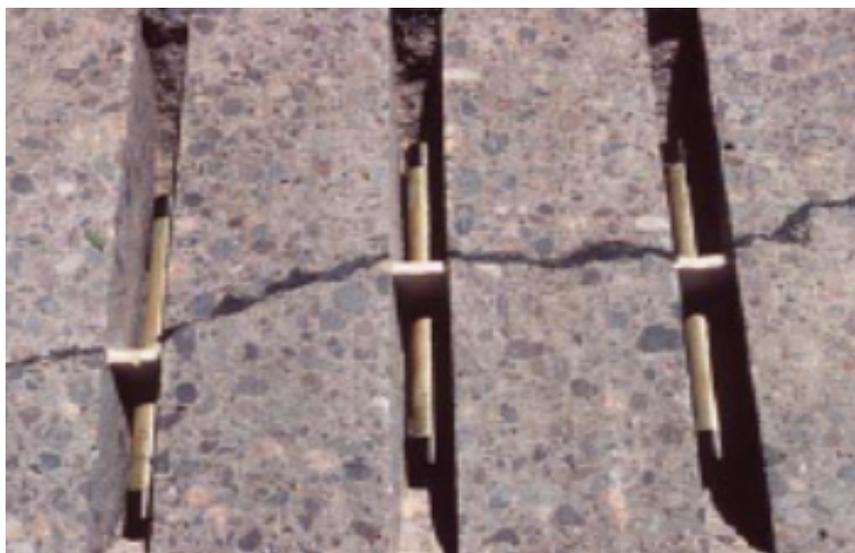
El ejemplo que se aborda se relaciona con una técnica muchas veces utilizada en las políticas de rehabilitación de los pavimentos rígidos (con superficies de rodamiento mediante losas de hormigón), pero no siempre de buen modo. Se trata de la que generalmente a nivel municipal urbano se reconoce como de "recapeo asfáltico" (o con alguna denominación coloquial análoga); y que consiste en la colocación de una carpeta de mezcla asfáltica, generalmente en caliente, sobre las losas del pavimento de hormigón que presenta ya un grado de deterioro tal, que lleva a las autoridades a la necesidad de su intervención en vistas a mejorar las condiciones de circulación.

La versión de esta intervención que generalmente se aplica a nivel municipal, y que resulta la menos afortunada, consiste en el mejor de los casos en la limpieza superficial de las losas (con juntas sin tomar o mal tomadas, Figura 3a), la aplicación de un riego de liga asfáltico (muchas veces con una "regadera" de manera manual, Figura 3b) y la colocación de la capa asfáltica con una mezcla convencional estructural (es decir, el mismo concreto asfáltico denso utilizado para pavimentación de obra nueva). El resultado de esto es al cabo de unos pocos meses la fisura refleja en la capa asfáltica (por juntas y fisuras de la losa de hormigón) y su posterior desintegración con el paso del tránsito (Figura 4).

Se entiende que ésta se percibe como la opción "más económica de intervención", pero que también es probable existan vías para que el municipio pueda destinar en cierta proporción mayores fondos iniciales a tales efectos, en vistas a que los costos totales a largo plazo sean menores. Por eso, se justifica explorar cómo se puede mejorar la aplicación desde lo tecnológico de los materiales.



**Figura 4.** Resultado de la mala aplicación de mezcla asfáltica sobre pavimentos de hormigón.



**Figura 5.** Refuerzo de fisura con pasadores (a) e inyección de losa con poliuretano expandido (b).

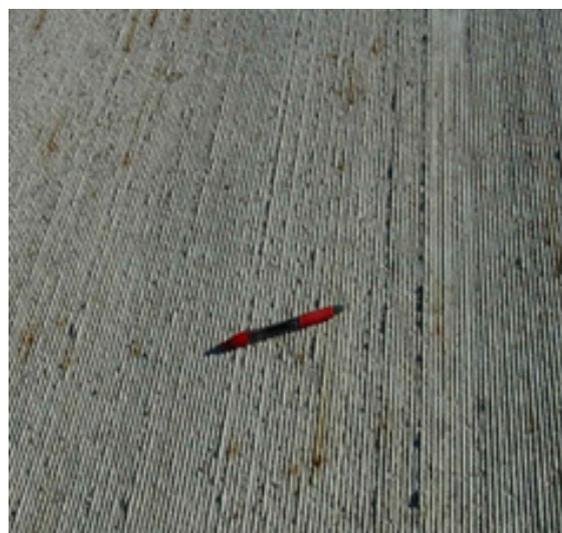
Los primero es ver qué tipo de deterioro se registra, su extensión y su severidad. Si estas características tornan el deterioro en notorio (de acuerdo a algún sistema de calificación que pueda aplicarse), entonces corresponde reconstruir y no rehabilitar; pero supóngase que no es el caso y que la rehabilitación es viable. Paso seguido, si se observan las juntas y fisuras transversales y se ve solo desplazamiento relativo horizontal, por ejemplo por dilatación y compresión, es una situación; pero si además se determina que existe un desplazamiento relativo vertical, entonces la situación es otra y es al menos necesario que se refuerce con más pasadores (Figura 5a), cuando no también que se realice la inyección de losas (se trata de técnicas de inyección a través de orificios en la losa de material de relleno en la base por huecos producidos por erosión dado el fenómeno de bombeo; puede tratarse de lechadas de cemento, poliuretano expandido, etc.) (Figura 5b).

Complementariamente, si ese desplazamiento vertical es notorio, también es probable deba ser atenuado para lograr una base de apoyo de la mezcla asfáltica lisa (requisito fundamental para que trabaje de buen modo), para lo cual pueden aplicarse técnicas de desbaste superficial

como las de microfresado o diamond-grinding (Figura 6). Estas técnicas eliminan el escalonamiento que se pueda haber generado entre losas o lados de la fisura.

Superada esta instancia o solo ante la presencia de desplazamientos horizontales, corresponde una limpieza previa a la colocación del riego asfáltico de liga. La adecuada aplicación de esta tarea debería eliminar por completo la presencia de materiales sueltos e incompresibles en las juntas y fisuras. Por esta razón, es necesario sellarlas con material y equipos adecuados inmediatamente, impidiendo el reingreso de ese material nocivo (Rivera, 2019).

Luego se aplica el riego de liga con la emulsión asfáltica, dotación y técnica de aplicación adecuadas (equipos de riego); pero es posible que entre este y la capa de rodamiento (por ejemplo, por magnitud de los desplazamientos horizontales) se decida materializar un sistema antirreflejo de fisuras; muchas veces con capas intermedias de mezcla asfáltica especial, geosintéticos (Figura 7) y/o incluso mallas metálicas (Botasso et al., 2015). Es por lo tanto la instancia ésta en la cual debe materializarse; se espera, de buen modo.



**Figura 6.** Equipo (a) y superficie terminada (b) por aplicación de diamond-grinding.



**Figura 7.** Sistema antirreflejo de fisura mediante geosintético.

Finalmente, se coloca la capa de rodamiento la cual, de no determinarse su necesidad de aporte en cuanto a lo estructural, debería materializarse con una mezcla asfáltica diferente a la convencional estructural. Por ejemplo, un microaglomerado discontinuo en caliente (no estructural), en espesores que rondan los 2 a 3 cm, es muy probable sea la opción más adecuada. Se trata de una mezcla que se diferencia de la convencional habitual por su tamaño máximo de agregados (aproximadamente 10 mm contra 19 mm), tipo de granulometría (discontinua contra continua), contenidos de vacíos (abierta contra cerrada), tipo de ligante asfáltico (modificado contra convencional), etc. O si fuera necesario lo estructural, incluso con una capa de mayores prestaciones que la convencional en tal sentido, como podría ser el caso de un stone mastic asphalt, que puede presentar contenidos de fibras de celulosa o polvo de neumático fuera de uso (Zapata Ferrero et al., 2022), como característica distintiva notoria.

Teniendo todo esto en cuenta, la probabilidad de deteriorar la fisura refleja (tal vez por muchos años) resulta notoriamente mayor, y el costo de las intervenciones a largo plazo menor en su sumatoria (Zapata Ferrero et al., 2021).

## Conclusiones y recomendaciones

En vistas a lo comentado a lo largo del artículo, las siguientes conclusiones y recomendaciones pueden generarse:

- La mayoría de los pavimentos urbanos en la Argentina son atendidos a nivel municipal mediante políticas que no se basan en sistemas de gestión formales.
- Muchas veces esto se debe no a una limitante económica, sino a una carencia en cuanto a cuerpos técnicos que entiendan en la materia.
- Adicionalmente, las intervenciones realizadas también suelen adolecer de ciertas deficiencias técnicas relacionadas con esa carencia.
- La situación global, por lo tanto, lleva a una baja

probabilidad de atención de las necesidades de los usuarios en tal sentido.

- El instrumentar una revalorización del rol técnico asociado a esto puede resultar en un ahorro en el largo plazo y un mejor servicio al usuario, sin implicar necesariamente mayores inversiones iniciales.

## Referencias

1. AASHTO (1993). **Guide for design of pavement structures 1993**. American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. Botasso, G., Delbono, H., Fensel, E., Rivera, J., & Pisano, D. (2015, November). **Desempeño de geocompuesto en una rehabilitación y valoración de su aporte estructural**. In XVIII CILA, Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, sección (Vol. 4, pp. 117-128).
3. Macea-Mercado, L. F., Morales, L., & Márquez-Díaz, L. G. (2016). **Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo**. Ingeniería, investigación y tecnología, 17(2), 223-236.
4. Pairone, S., & Rivera, J. (October 2022). **Utilización de recursos variados, para la interpretación preliminar de la movilidad urbana y su relación con el transporte, en localidades con inexistencia de información o índices específicos**. XVIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires.
5. Rivera, J. (2015). **La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país**. Obtenido de Universidad de Piura Web site: <http://udep.edu.pe/hoy/2015/la-red-vial-es-imprescindiblepara-el-desarrollo-ycrecimiento-de-un-pais>.
6. Rivera, J. J. (2019). **Estudio de riegos asfálticos de liga entre capas asfálticas para rehabilitación de pavimentos flexibles fresados**.
7. Tella, G., & Potocko, A. (2019). **Expansión urbana en Argentina: lógicas, oportunidades y desafíos**. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, FODECO.
8. Zapata Ferrero, I., Rebollo, O., Rivera, J., & Botasso, G. (November 2022). **Comportamiento a fatiga de asfaltos altamente modificados con caucho proveniente de neumáticos fuera de uso mediante el barrido de amplitud lineal**. XXI Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto, Punta del Este.
9. Zapata Ferrero, I., Rivera, J., & Botasso, G. (2021). **Análisis del ciclo de vida en pavimentos: actualidad y perspectiva**. Ingenio Tecnológico, 3.



Ministerio de Educación

**\*UTN**

**UNIVERSIDAD  
TECNOLOGICA  
NACIONAL**

Facultad Regional Concordia

**Giicma**

Salta 277 - Concordia (ER-ARG) - C.P. E3200EKE  
Tel/Fax: (0345) 421-4590 / 422-6614  
giicma@frcon.utn.edu.ar  
[www.frcon.utn.edu.ar](http://www.frcon.utn.edu.ar)