



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

## EXPERIENCIAS CON EL USO DEL ASFALTO CAUCHO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN ABERTIS INFRAESTRUCTURA

Rey Omar Adame Hernández<sup>1</sup>, Noé Hernández Fernández<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Red de Carreteras de Occidente, Guadalajara, México, [omar.adame@redoccidente.com](mailto:omar.adame@redoccidente.com)

<sup>1</sup> Red de Carreteras de Occidente, Guadalajara, México, [noe.hernandez@redoccidente.com](mailto:noe.hernandez@redoccidente.com)

### Justificación

Las estrategias para la sostenibilidad en la industria del asfalto deben estar fundamentadas en técnicas y procesos que además de ser sostenibles mejoren o igualen los desempeños presentados por los actuales productos derivados del petróleo y tecnologías mejor posicionados en el mercado e industria del asfalto. Tal es el caso del caucho de neumático como aditivo o componente de la mezcla asfáltica que mejora sus propiedades mecánicas, disminuye la cantidad de neumáticos en desuso dispuestos en tiraderos y contribuye a la economía circular.

Los países con posibilidad de recolectar, procesar e incorporar a la mezcla asfáltica los neumáticos en desuso generados por la población y usuarios de carreteras cuentan con un potencial importante para que se generen incentivos con el uso de este tipo de materiales y la práctica se convierta en habitual generando casos de éxito a favor de la sustentabilidad, tal es el caso mencionado en este trabajo de la Unidad de Negocio de Abertis en Brasil, donde la tecnología del asfalto caucho ofrece ventajas en todos los ámbitos para su implementación en las técnicas de construcción de pavimentos asfálticos. Así mismo, resaltar la importancia de las autoridades de los países y agencias de carreteras tomen como una responsabilidad el crear incentivos que promuevan el uso de materiales reciclados que reduzcan la contaminación, la huella de carbono o el costo de ciclo de vida de un pavimento.

Una vez dicho lo anterior este trabajo habla de experiencias en las que se reúnen una o varias de estas características o elementos de aplicación de sostenibilidad en la industria del asfalto, presenta un panorama que permite analizar las experiencias de otros países de Latinoamérica y México que seguramente pueden tomarse como referencia para la correcta aplicación de materiales y tecnologías relacionadas con el asfalto- caucho.

### Resumen

Este documento presenta información específica de los proyectos ejecutados en algunas Unidades de Negocio de “Abertis” (operador de referencia internacional en la gestión de autopistas de alta capacidad) en las que se ha utilizado el caucho de neumático como modificador de las propiedades del asfalto y/o de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas utilizadas en la pavimentación de carreteras, las tecnologías existentes para su aplicación, aspectos a considerar en el diseño y puntos importantes durante su gestión e implementación.

Los proyectos ejecutados en las unidades de negocio de Abertis y en el mundo en las que se ha utilizado el asfalto-caucho han resultado favorables en términos económicos, medioambientales y de desempeño, siendo una opción viable para pavimentos con prestaciones superiores.

En este documento se incluye una referencia mundial con el uso del asfalto caucho, específicamente la del estado de California en Estados Unidos de América donde desde hace décadas se tienen las mejores prácticas para el correcto manejo y uso del caucho de neumático en el asfalto y/o mezclas asfálticas. Además, de información técnica, económica y de desempeño de las concesiones (unidades de negocio en América y Europa). Tal es el caso de “Arteris” (Unidad de Negocio en Brasil) en la



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

que los últimos años esta tecnología ha resultado la opción más viable en términos económicos, de desempeño y ambiental, los incentivos fiscales y el desempeño de la mezcla asfáltica han sido factores clave para su continuo uso en la red de carreteras de la concesión, por lo que estos factores se describen de forma general en este documento.

Además, se incluye la información general de experiencias de las unidades de negocio de: Chile, España y México. países donde se han realizado tramos pilotos y proyectos con el uso de las diferentes tecnologías disponibles para el uso del asfalto caucho y en los que en el corto plazo se pretende implementar la economía circular con el uso del asfalto caucho.

Finalmente, se enlistan recomendaciones que pueden ser consideradas antes, durante y después de la aplicación del caucho de neumático en el asfalto, basadas en las experiencias del grupo de Abertis Infraestructura en sus diferentes Unidades de Negocio.

**Palabras Clave:** asfalto caucho, Abertis, unidad de negocio, propiedades mecánicas.

## 1 Introducción

El caucho reciclado de neumáticos o Recycled Tyre Rubber, proveniente de las llantas de desecho (figura 1) ha sido utilizado por la industria de la pavimentación desde la década de los sesenta del siglo pasado, a través de un proceso de molienda en el que el neumático se convierte en polvo y es usado como modificador reológico del asfalto o modificador de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica. En general, el caucho de neumático puede usarse en mezclas asfálticas mediante diferentes formas de incorporación y tipos de granulometrías en el agregado pétreo (FHWA, 2014).



Figura 1. Tiradero de llantas en México.

En la experiencia mundial el uso de la tecnología de RTR en pavimentos flexibles ha sido adoptada como una práctica habitual, especialmente en los países desarrollados. Por ejemplo: en los Estados Unidos de América (USA) y particularmente en el estado de California donde se tienen políticas y estándares bien definidos y sustentados a través de décadas de experimentación. Por su parte, Europa y Asia también han desarrollado experiencia y tecnología suficiente para su correcta aplicación en mezclas asfálticas. En general, la práctica mundial con el RTR ha tenido excelentes resultados en términos de durabilidad, agregando un aporte importante en la reducción de la cantidad de neumáticos en desuso que representan un foco de infección y/o contaminación para la humanidad.

En términos económicos durante mucho tiempo el precio del caucho de neumático ha presentado estabilidad. En cambio, el asfalto y los polímeros que normalmente son usados para su modificación han presentado fluctuaciones e inestabilidad en sus precios, provocando escases e incremento en los costos de estos materiales y por lo tanto en el costo final de fabricación de una mezcla asfáltica. Debido a esto, el asfalto caucho se convierte en un material de modificación del asfalto económicamente viable para la industria de la pavimentación en términos de estabilidad económica (CalRecycle, 2021).

Actualmente, las formas más comunes de incorporar el polvo de neumático en el asfalto son:



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

### 1) *Vía húmeda- (terminal blend):*

En este proceso el caucho se mezcla con el asfalto caliente (temperatura mayor a los 180°C) en una refinería o en una terminal de almacenamiento y distribución de asfalto, después es transportado a la planta de producción de mezcla asfáltica en caliente o al lugar de trabajo para su uso. Este tipo de asfalto modificado con caucho de neumático (rubber asphalt) puede no necesitar agitación posterior para mantener las partículas de caucho uniformemente dispersas en el asfalto.

- Para esta vía el tamaño del caucho de neumático es muy importante (de menor tamaño), por lo que comúnmente el 100% del caucho pasa el tamiz #30 (0.59 mm).
- Por medio de esta vía se puede incorporar más de 20% de caucho respecto al peso del asfalto.
- El tamaño de partícula más usado está entre la malla #40 (0.42 mm) y la malla #8 (2.38 mm).
- Se pueden incluir polímeros para la modificación de asfalto en combinación con el caucho.

#### *Vía húmeda- alta viscosidad*

Es un proceso para modificar el asfalto antes de ser incorporado a la mezcla asfáltica, para este proceso es necesario mezclar minuciosamente el polvo de neumático y el asfalto caliente y mantener la mezcla resultante a temperaturas elevadas durante un periodo de tiempo designado para permitir una interacción entre el asfalto y el caucho. Este proceso también se realiza previamente en una terminal de modificación y distribución de asfalto (CalRecycle, 2021).

- Para esta vía el porcentaje de caucho utilizado en el asfalto está entre el 18 y 22% en peso del asfalto.
- Tamaños de partículas de caucho que pasan el 100% las mallas #8 (2.38 mm) y #10 (2.00 mm).
- El ligante asfáltico y el caucho se mezclan a temperaturas superiores a los 190°C.
- Posterior al tiempo de incorporación se tiene un proceso de interacción previamente designado, el tiempo de interacción típicamente está entre 50 y 60 minutos).
- Las partículas de caucho se hinchan e intercambian aceites con el asfalto.
- La viscosidad rotacional es el principal discriminador.
- Perfil de mezclado del asfalto con el caucho (se considera una buena práctica).
  - Desarrollado para evaluar la compatibilidad entre los materiales utilizados.
  - Comprueba la estabilidad de la mezcla del caucho y el asfalto a través del tiempo.
  - Debe ser solicitado para cada proyecto.

### 2) *vía seca:*

Esta vía incluye al caucho de neumático como sustituto de un porcentaje de la arena del agregado, típicamente entre el 1 y el 3% del porcentaje en peso del agregado. El caucho actúa como un agregado en la mezcla asfáltica, es decir: ocupa un volumen, presenta absorción y tiene una granulometría definida (CalRecycle, 2021).

- El caucho sustituye el agregado pétreo entre el 1 y el 3% en la mezcla asfáltica.
- Aunque algunas partículas de caucho interactúan con el asfalto no se considera que modifica sus propiedades.
- La granulometría del caucho puede tener tamaños desde ¼ (0.63 mm) de pulgada hasta retenido en la malla #80 (0.177 mm).

### 3) *Vía semihúmeda:*

En esta vía el caucho de neumático es predigerido (proceso de absorción de asfalto por las partículas de asfalto que limita la hinchazón del grano de caucho en procesos posteriores) se fabrica con asfalto convencional y otros aditivos a una temperatura mayor a los 180°C. Posteriormente, el polvo de neumático se utiliza como un agregado fino de aporte y/o una fracción adicional en una planta de mezcla asfáltica, finalmente es dosificado en la cantidad necesaria en el pugmill o mezclador de la planta (como en la vía seca) para ser mezclado con los agregados y asfalto (Cirtec, 2023).



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

## 2 Experiencias Abertis

Abertis como operador en la gestión de autopistas de alta capacidad en el mundo a través de sus Unidades de Negocio cuentan con experiencias en el uso de caucho de neumático en su pavimentos, específicamente en algunas de las unidades el uso de este material como modificador de asfalto ha resultado con beneficios en términos medio ambientales, económicos y de desempeño. A continuación, se describen esas experiencias en las que se presentan algunos los resultados obtenidos así como los beneficios que esta tecnología ofrece.

### 2. 1 Experiencia en Brasil- Unidad de Negocio “Arteris”

Para Brasil, la utilización del asfalto caucho en la pavimentación de carreteras comenzó en el año 2001 con el primer tramo piloto en la carretera “BR 116 sur”, para el 2002 fue publicada la especificación de “Asfalto modificado con caucho de neumático” por la Agencia Nacional del Petróleo, y en 2009 se publica la segunda versión de la especificación basada en la clasificación del asfalto por viscosidad (Luiz Henrique Teixeira, 2023). Desde entonces, en Brasil se utiliza la tecnología del “terminal Blend” para incorporar el caucho de neumático al asfalto.

“CBB Asphalts” es una empresa que fabrica y distribuye en Brasil el asfalto modificado con caucho de neumático y es uno de los mayores proveedores de este tipo de asfalto para Arteris (unidad de negocio en Brasil). Su proceso de modificación comienza con el calentamiento del asfalto a una temperatura mayor a 185°C en un ambiente controlado utilizando un tanque de agitación vertical (figura 2, izquierda), cuando la temperatura del asfalto es homogénea en el tanque se añade el caucho de neumático al tanque con el asfalto en agitación, una vez añadido comienza su digestión del caucho y su incorporación en el asfalto, durante este proceso, un operador toma muestras y realiza pruebas de solubilidad para garantizar que el caucho se digiera, la solubilidad estándar del material es superior al 90 por ciento, lo que lo convierte en un material homogéneo.

Una vez modificado el asfalto, este es almacenado (si es necesario) y transportado a la planta de fabricación de mezcla asfáltica para su mezclado con los agregados. Durante el transporte (para este proceso) el asfalto se mantiene en agitación (figura 2, centro y derecha) para garantizar que el asfalto y el caucho no se separen durante el almacenamiento y transporte.



Figura 2. Agitación del asfalto en tanques de transporte (CBB, 2023)

Una vez llegado el asfalto a la planta de mezclado el proceso en la mezcla asfáltica es similar al de una mezcla convencional.

*Especificaciones y resultados*



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

El asfalto en Brasil actualmente se clasifica por viscosidad y en el diseño y control de calidad se analizan los ensayos básicos (Punto de inflamación, penetración, recuperación elástica, viscosidad, y otros). Sin embargo, para términos de diseño existen proyectos en los que se realizan estudios complementarios como: grado PG (Performance Grade), Multi Stress Creep Recovery y Linear Amplitude Sweep, ensayos que aumentan la probabilidad de éxito de aplicación de la tecnología. Para los neumáticos: su clasificación y estudio han resultado importantes para el éxito obtenido en Brasil. De acuerdo con investigaciones realizadas los neumáticos de camiones pesados tienen mejores componentes que propician al asfalto-caucho un desempeño superior en comparación de cuando se utilizan neumáticos procedentes de vehículos ligeros. Los neumáticos de “camiones pesados” contienen mayor porcentaje de caucho natural, menor porcentaje de polímeros sintéticos, menor porcentaje de negro de carbón, menor porcentaje de antioxidantes y 0% de textiles comparados con los neumáticos procedentes de vehículos ligeros (figura 3). Esto ha sido comprobado a través de estudios de termogravimetría, por lo que el distribuidor solo utiliza en sus procesos de modificación de asfalto el caucho de neumáticos proveniente de camiones pesados, obteniendo así los mejores resultados.

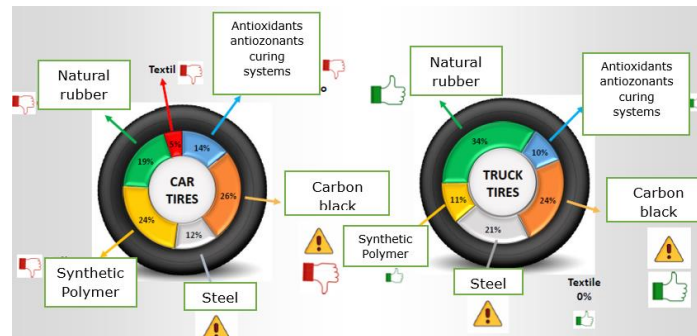


Figura 3. Comparativa en porcentaje de los componentes de un neumático de camión vs neumáticos de vehículos ligeros (Arteris, 2023).

A continuación, en la tabla 1 se presentan valores promedio de las pruebas de caracterización realizadas a muestras representativas del asfalto modificado con caucho, que fue suministrado a la Unidad de Negocio “Arteris” en Brasil.

Tabla 1. Valores promedio de la caracterización al asfalto modificado con caucho de neumático

Prueba	Resultado en muestra de asfalto	Especificación
Penetración 100 g, 5s, 25°C.	45	30-70 dmm
Punto de reblandecimiento min, °C.	56 °C	50° C min.
Viscosidad Brookfield, 175°C, 20 rpm, spindle 3.	1500	800-2000 cP
Recuperación elástica por ductilómetro, 25°C, 10 cm, min	> 65	50 min. (%)
Recuperación elástica por torsión	> 50	50% min. (%)
Punto de inflamación	> 235	235 °C min.

\*Los resultados en la tabla corresponden a valores promedio de un asfalto con 15% de caucho de neumático.

Este control de calidad del asfalto y pruebas realizadas garantizan que el asfalto modificado con caucho de neumáticos puede ser transportado, manipulado en planta, mezclado, tendido y compactado en campo.

La tecnología de asfalto modificado con caucho de neumáticos en Brasil permite su uso en cualquier tipo de granulometría, las comúnmente utilizadas son: mezclas asfálticas de granulometría abierta



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

(Open Graded Friction Course), mezclas asfálticas de granulometría discontinua (Gap Graded) y las mezclas asfálticas de granulometría densa (Dense Graded).

En el Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) de Arteris en Brasil se ejecutaron ensayos de fatiga y deformación como parte de un estudio para comparar las siguientes variables:

1. Mezcla asfáltica de granulometría densa con asfalto modificado con polímero.
2. Mezcla asfáltica de granulometría densa con asfalto convencional.
3. Mezcla asfáltica de granulometría densa con asfalto modificado con asfalto-caucho.

En estos estudios se realizaron pruebas de deformación (figura, izquierda) y fatiga (figura 4, derecha) De acuerdo con las gráficas de deformación: la mezcla con asfalto modificado con caucho de neumático soporta hasta tres veces más el número de ciclos de carga en comparación con una mezcla densa con asfalto convencional

Para la prueba de fatiga (derecha, fatigue curve) los resultados para la mezcla con asfalto caucho y la mezcla con asfalto modificado con polímero son técnicamente iguales y mucho mejores que el asfalto convencional (14 veces mejor). Estos estudios pertenecen a fórmulas de las mezclas utilizadas en las carreteras de Arteris.

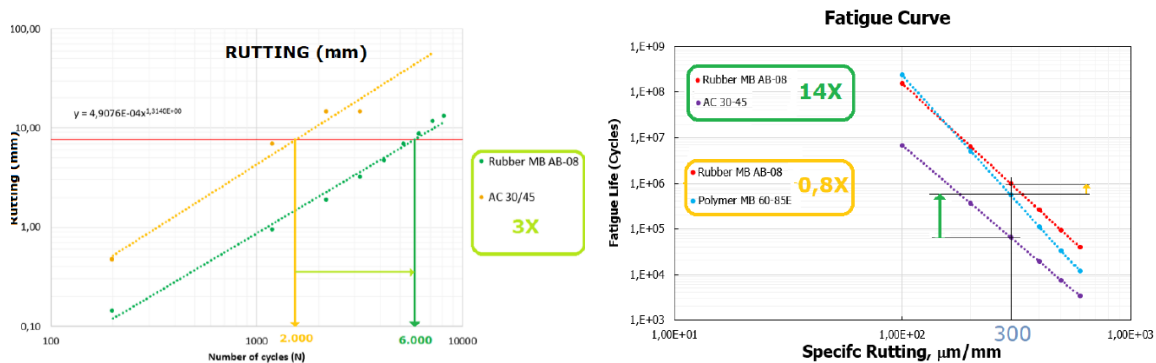


Figura 4. Gráficas de deformación y fatiga de ensayos realizados en CDT-Arteris en Brasil.

Los resultados de rueda cargada de Hamburgo obtenidos en el CDT (figura 5) de la mezcla densa con rubber asphalt presentan excelentes resultados con deformaciones por debajo de los 3 mm, esto considerando que la prueba se ejecuta con los especímenes sumergidos en agua a una temperatura de 50°C lo que significa que si se ejecuta un proceso constructivo de manera correcta la mezcla tiene una alta probabilidad de tener un desempeño exitoso.

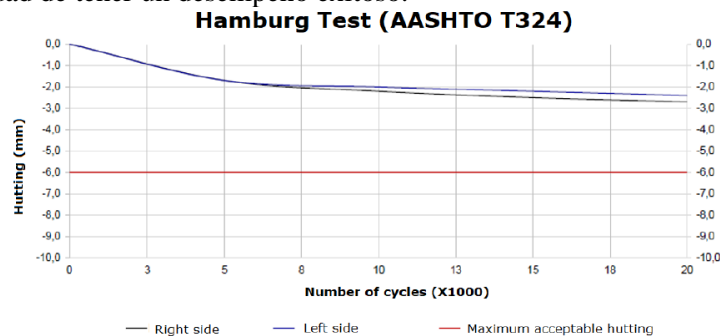


Figura 5. Gráfica de deformación vs número de pasadas en la rueda cargada de Hamburgo, ensayo realizado en CDT-Arteris en Brasil.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

### *Incentivos fiscales en Brasil por el uso de asfalto modificado con caucho de neumático.*

La implementación de políticas e incentivos en Brasil a materiales reciclados y reutilizados ha sido clave en el incremento del uso del caucho de neumáticos en el asfalto y mezclas asfálticas, el asfalto caucho puede resultar en términos de desempeño igual o mejor que el de un asfalto modificado con polímeros, mientras que en costo resulta más económico el asfalto caucho, lo que representa una alternativa importante para una administración de carreteras que percibe económicamente estos beneficios.

En el caso de Arteris como operador de carreteras, las empresas contratistas que ofrecen el servicio de colocación de mezcla asfáltica tienen la posibilidad de aplicar incentivos a través de la empresa que les suministra el asfalto, resultando en costos menores comparado con otras alternativas de mezclas asfálticas.

Para la aplicación de los incentivos existen dos variantes en el uso del caucho de neumáticos como modificador de asfalto, este incentivo depende del Estado donde se aplicará el asfalto caucho y está sustentado en un Impuesto sobre Circulación de Bienes y Servicios (ICMS, por sus siglas en portugués) publicado por el gobierno brasileño (CBB Asphalts, 2023). Específicamente, en este documento se explican de manera general la aplicación de los incentivos en dos de los estados donde Arteris cuenta con concesiones:

- 1) *Para el estado de Paraná*, existen incentivos integrales en la producción de asfalto con caucho de neumático:
  - a) El primer descuento fiscal ocurre o aplica al adquirir el asfalto con PETROBRAS, el incentivo se aplica de manera inmediata a través de un informe donde se indica la ubicación geográfica (kilometraje, carretera y tramo) de la aplicación, las toneladas a modificar con caucho de neumático, y la empresa contratista que realizará la pavimentación.
  - b) El segundo descuento es aplicado en la compra del caucho de neumático indicando su uso como modificador de asfalto.
- 2) *Para el estado de São Paulo*, existe un incentivo general que se utiliza para el asfalto modificado con caucho de neumático (informado directamente por el proveedor de la fuente productora – PETROBRAS) al igual que en el caso del estado de Paraná, es necesario indicar la ubicación geográfica y las características de aplicación.

Estos incentivos (1 y 2) entran en vigor inmediatamente después de la compra del asfalto con “PETROBRAS” (petrolera semipública brasileña de propiedad mixta y participación privada extranjera), a través de un código especial de adquisición establecido por la Fiscalía del Estado.

Para ambos estados donde Arteris tiene concesiones la suma de los incentivos por el uso del asfalto caucho puede resultar en un descuento en el precio final de hasta un 25%, esto comparado con asfaltos modificados con polímeros. Incluso, podría resultar el uso de asfalto caucho con un menor costo que el asfalto convencional (esto dependerá de la refinería). En cualquier caso, en Brasil existe una gran viabilidad técnico-económica de utilizar asfalto modificado con caucho.

Estos incentivos se aplican en Brasil desde 2006 para Paraná y desde 2021 para São Paulo bajo las especificaciones del Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte.

- DNIT 111-2009 - Producto
- DNIT 112-2009 – Servicios

La experiencia con el uso del asfalto caucho en Brasil tiene más de 15 años, en la tabla 2 se enlistan las cantidades aproximadas en toneladas utilizadas para la pavimentación en las carreteras de Arteris.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Tabla 2. características de aplicación de la tecnología para cada uno de los estados de Brasil donde se encuentra Arteris y en las que se ha utilizado el asfalto-caucho (fuente: registros de Arteris ,2023).

Estado	Comienzo de la experiencia (año)	Toneladas de asfalto-caucho utilizadas hasta el año 2023 para producción de mezcla asfáltica
Paraná	2006	85 700
São Paulo	2021	20 300

## 2.2 Experiencia en México- Unidad de negocio “Red Carreteras de Occidente”

Para México, el uso de asfalto modificado con caucho de neumático se inició a finales de los años noventa del siglo pasado y su uso fue estandarizado con la norma N-CMT-4-05-002-06 “Calidad de Materiales Asfálticos Modificados” publicada en el año 2006 por la entonces Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Sin embargo, la práctica y uso del asfalto-caucho fue perdiendo fuerza debido a las experiencias poco exitosas en los tramos que habían sido construidos con esta tecnología.

En los últimos años la tecnología del asfalto caucho volvió a tomar interés por parte de la industria de los pavimentos flexibles, debido a las ventajas que puede ofrecer en términos de desempeño, pero fundamentalmente por la tendencia mundial de utilizar materiales reciclados, disminuir la huella de carbono y reducir la cantidad de neumáticos en los tiraderos de México.

Para el año 2018 se construyó un tramo en una autopista en México en la que se tuvieron buenos resultados, en este tramo se utilizó la vía semihúmeda (descrita en el capítulo 1) la cual desde entonces ha sido la vía utilizada para producir mezclas asfálticas con caucho de neumático. Inicialmente esta tecnología utilizaba el caucho importado desde Europa, y desde el 2023 se utilizan neumáticos recolectados y procesados en México, impactando positivamente en la reducción de la cantidad de neumáticos en desuso en los tiraderos del país.

En México, particularmente en “Red de Carreteras de Occidente” (RCO), en el occidente del país existe un problema con los neumáticos desechados por los camiones con llantas viejas o en mal estado sobre la superficie de la carretera, estos neumáticos generan en primer instancia riesgo para el usuario al circular y contaminación una vez que son recopilados y almacenados. Estos neumáticos son recopilados y almacenados por el personal de RCO (figura 6), un objetivo a corto plazo es utilizar estos neumáticos en los proyectos de pavimentación a través de la vía semihúmeda mediante un convenio con la empresa que fabrica el producto que utiliza esta tecnología en el que se prevee tener un proyecto de economía circular en RCO.



Figura 6. Imágenes de almacenes temporales de neumáticos recopilados sobre la superficie asfáltica de la red de carreteras de RCO.





Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Con el objetivo de evaluar el comportamiento y viabilidad técnica-económica de esta tecnología, recientemente en RCO se construyó un tramo piloto con las siguientes, datos, condiciones y resultados de diseño y tramo de prueba:

- ✓ Punto Kilométrico (P. K) 121+000 al 120+000, tramo “Desperdicio-Lagos de Moreno”, Cuerpo B
- ✓ Ancho de la sección de prueba: 10,5m
- ✓ Longitud del tramo: 1 km
- ✓ Contenido de asfalto en la mezcla asfáltica (respecto al agregado): 5,45%
- ✓ Contenido de caucho de neumáticos (respecto al agregado): 2%
- ✓ Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla: 4%
- ✓ Deformación permanente en la prueba de seguimiento de ruedas de Hamburgo: 2,82 mm
- ✓ Tipo de granulometría: densa
- ✓ Relación de resistencia a la tracción (TSR): 85%
- ✓ Módulo resiliente (20°C, 1 Hz): 2988 MPa
- ✓ TSR de mezcla producida en planta y compactada en laboratorio: 82%
- ✓ Deformación permanente de la mezcla producida en planta y compactada en laboratorio: 2,21 mm.

Los resultados de las pruebas de desempeño TSR y rueda de Hamburgo en este tramo piloto obtuvieron buenos desempeños, por ejemplo: la deformación en rueda de Hamburgo de testigos extraídos en el tramo y ensayados en laboratorios de RCO (figura 7), muestran una deformación de 4 mm después de las 20 mil pasadas lo que significa que el porcentaje de probabilidad de éxito de este tramo piloto es alto.

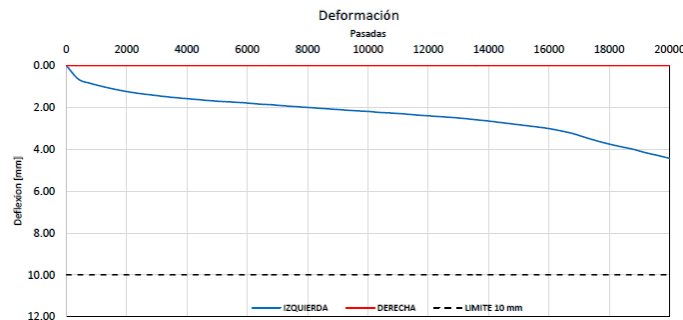


Figura 7. Resultados de la prueba de seguimiento de rueda cargada de Hamburgo de núcleos extraídos del campo en la sección de prueba (ensayado en laboratorios de RCO).



Figura 8. pavimentación del tramo piloto en RCO

De acuerdo con las experiencias en México con el uso de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas, las características y resultados comunes del asfalto modificado en México son:

- Tipos de granulometría utilizadas:



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

- ✓ Granulometrías discontinuas
- ✓ Granulometrías densas
- Tamaño nominal de la mezcla asfáltica
  - ✓ 19mm
  - ✓ 12mm
- Módulo de resiliencia @ 20°C (1 Hz) = 2500-3500 MPa

Para esta tecnología en México se utiliza el asfalto convencional, el asfalto con caucho de neumático se compara comúnmente con el asfalto modificado con polímero en términos de costos y desempeño.

### 2.3 Experiencia en Chile-Unidad de Negocio “Vías Chile”

En cuanto refiere a la experiencia en Chile, “Vías Chile” tiene varias experiencias con el uso del asfalto-caucho en sus autopistas y podemos dividirla en dos etapas:

*Primera etapa:* durante esta etapa se realizaron tramos de prueba entre el 2014 y el 2015 en dos de sus autopistas con el objetivo de evaluar su desempeño, costos y la disminución o incremento del ruido con la incorporación del caucho. Además de continuar con la tendencia mundial de utilizar materiales reciclados que contribuyan con la disminución de residuos (Jorge Villaroel, 2015). Dentro de esta primera etapa los tipos de mezcla que se evaluaron y compararon en Vías Chile fueron las siguientes:

- 1) Micro aglomerado asfáltico en frío con emulsión modificada sin incorporación de caucho.
- 2) Micro aglomerado asfáltico en frío con emulsión modificada con incorporación de caucho (3% de caucho respecto al peso del agregado).
- 3) Mezcla asfáltica en caliente con incorporación de caucho mediante la vía seca (0.5% de caucho respecto al peso agregado pétreo).
- 4) Mezcla asfáltica en caliente con incorporación de caucho mediante la vía húmeda (15% de caucho respecto al peso del asfalto).

El desempeño de la variable 2 “micro aglomerado asfáltico con caucho” en donde se utilizó una emulsión modificada y un 3% de caucho con respecto al peso de los agregados pétreos, el comportamiento no fue exitoso y el caucho tuvo problemas de incorporación.

Por otra parte, durante esta primera etapa las mezclas asfálticas en caliente (mezclas 3 y 4) se diseñaron mediante el método Marshall, con una granulometría densa con tamaño nominal de ½” (12.5 mm), los contenidos de asfalto en la mezcla fueron de entre 5.0 y 5.5% y el tamaño del caucho para ambas vías fue de tamaño máximo malla #30 (0.59 mm). En la tabla 3 se enlistan valores de las características generales de las dos tecnologías utilizadas.

Tabla 3. Características generales de las mezclas asfálticas con caucho de neumático

característica	vía de incorporación del caucho al asfalto	
	Vía seca	Vía húmeda
Porcentaje de caucho de neumático utilizado	0.5% (respecto al peso del agregado)	13% (respecto al peso del asfalto)
Tiempo de digestión adicional	2 horas sobre camión	No aplica
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2407	2379
Estabilidad Marshall (N)	16.069	10.625



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

Longitud del tramo de prueba (m)	500	500
Porcentaje de Asfalto 60/80 en la mezcla asfáltica	5% +/- 0.3	5.6 % +/- 0.3
Temperatura de mezclado (°C)	168	182
Temperatura de compactación (°C)	150° C	172 °C
Punto ablandamiento °C	50.8	55
Penetración 0.1 mm	60	73

De acuerdo con los datos obtenidos de la primera etapa y las mediciones realizadas por “Vías Chile”, se concluyó lo siguiente:

“La incorporación del caucho de neumático en un micro aglomerado en frío no genera una diferencia significativa en la pérdida de fricción comparativamente con un micro aglomerado en frío convencional. Además, la incorporación de caucho no disminuye la intensidad de ruido, por el contrario, lo aumenta 0.6 dB” (Jorge Villaroel, 2015).

“para las mezclas en caliente la incorporación del caucho de neumático por la vía húmeda genera menos ruido que la vía seca” (Jorge Villaroel, 2015).

“La fricción en los tramos en los que se utilizó la vía húmeda es menos variable que en los que se utilizó la vía seca” (Jorge Villaroel, 2015).

Vías Chile continúa realizando mediciones de los indicadores funcionales y superficiales de los tramos de prueba, en lo que respecta al IRI y coeficiente de fricción el comportamiento es similar con el uso y sin el uso del caucho de neumático en la mezcla o en el asfalto. Mientras que, en el porcentaje de grietas totales y ahuellamiento de un segmento se presentan mejores resultados en los tramos donde se utilizó el asfalto-caucho a través de la vía húmeda (figura 11).

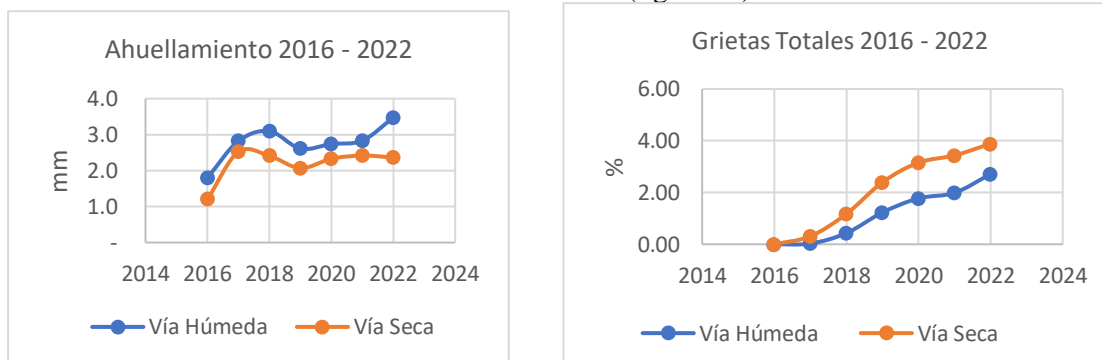


Figura 9. Gráficas de comparación para el ahuellamiento y porcentaje de grietas totales de la vía húmeda y vía seca.

*Segunda etapa:* en noviembre del 2023 se realizaron los tramos de prueba:

- 1) mezcla asfáltica de granulometría discontinua con alto contenido de asfalto no modificado y alto contenido de caucho
- 2) mezcla asfáltica de granulometría discontinua con caucho y 10% de RAP.

Estas mezclas se fabricaron a una temperatura de 170-175°C con 2% de caucho de neumático por la vía húmeda y 7.2% de contenido de asfalto en la mezcla (2% más que las pruebas de la primera etapa), compactadas a una temperatura de entre 150 y 155°C, para estos tramos se utilizó un aditivo al 4% con respecto al peso del asfalto para facilitar la modificación e incorporación con el caucho. Las



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

longitudes de los tramos fueron de 300 metros lineales para la mezcla discontinua con caucho y de 400 metros para la mezcla con caucho y 10% de RAP.

Durante el diseño se fabricaron y ensayaron probetas en la rueda cargada de Hamburgo obteniendo deformaciones menores a 5 mm en 10 000 ciclos.

Los resultados preliminares en cuanto a la emisión de ruido en el tramo con alto contenido de caucho se obtuvo una disminución de apenas 2dB con respecto a la superficie asfáltica anterior figura 10, lo cual una vez más demuestra que no hay un aporte de la reducción del nivel de ruido bajo estas condiciones.

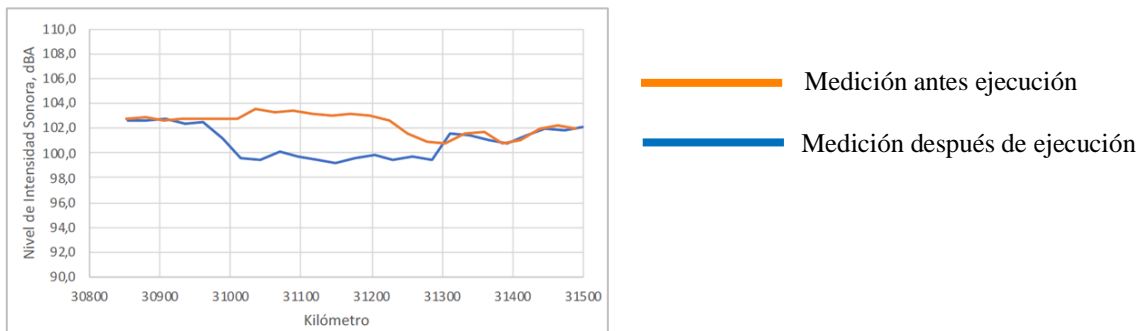


Figura 10. Gráfica de mediciones de nivel de ruido, antes y después de la ejecución, segmento construido entre el P. K. 31+000 y el P. K. 31+300

Una vez colocadas todas las variables (tipos de mezcla asfáltica) sobre la superficie, las características superficiales y estructurales fueron evaluadas para tener una idea general de las condiciones del pavimento, esto a través de las mediciones siguientes:

- Índice de Regularidad Internacional.
- Coeficiente de fricción (Mu-meter).
- Falling weight Deflectometer (FWD).
- Medición de ruido Pavimento/neumático usando el método de intensidad de sonido a bordo (OBSI, On-Board Sound Intensity).

Estos tramos estarán siendo monitoreados y evaluados durante los meses siguientes para tener conclusiones sobre su factibilidad en términos de desempeño, económicos y sustentables.

### 3 Recomendaciones Finales

De acuerdo con las experiencias mundiales y en las Unidades de negocio de Abertis la tecnología del rubber asphalt representa una opción viable en la construcción de pavimentos flexibles, específicamente en la tecnología de asfaltos y mezclas asfálticas. El caucho en cantidades optimas en el asfalto modifica las propiedades reológicas añadiendo flexibilidad y propiedades que aumentan y mejoran el desempeño de este. En la mezcla el uso del caucho mejora las propiedades de desempeño en términos de fatiga, susceptibilidad térmica y deformación. Mientras que, en términos económicos como el caso de Brasil puede llegar a ser una de las mejores opciones debido a su bajo costo y buen desempeño, además de disminuir el porcentaje de neumáticos en desuso y alcanzar todos los beneficios ambientales que esto representa.

Sin embargo, es importante seleccionar la mejor opción para cada unidad de negocio de acuerdo con las tecnologías disponibles, evaluar los costos, la disponibilidad del caucho local y la factibilidad en general de su aplicación.

*Etapa temprana*



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

- Realizar un análisis de costos del ciclo de vida con las diferentes opciones (Gap Graded, densa Graded, betún modificado con polímeros...) y tener la posibilidad de elegir la mejor opción en términos de durabilidad y costos.
- Analizar la posibilidad de reutilizar llantas fuera de uso que son desechadas cerca del área de la carretera donde utilizará la tecnología, esto ayudará considerablemente a reducir la cantidad de llantas que se desechan en vertederos y que representan una fuente de contaminación en la zona.
- Crear el uso de incentivos que promuevan el uso de materiales reciclados en las mezclas asfálticas.
- Evaluar los beneficios ambientales generados por el uso del caucho de neumáticos en las mezclas asfálticas.

#### *Etapas de desarrollo y construcción (Estudios de diseño)*

- En el diseño de la mezcla asfáltica verificar la deformación, rigidez y vida a fatiga de la mezcla para garantizar el éxito de la mezcla asfáltica, además de un control riguroso durante la fabricación, pavimentación y vida útil de la tecnología.
- Evaluar las diferentes formas de modificar o incorporar caucho de neumáticos al asfalto o mezcla que garanticen la estabilidad y almacenamiento del asfalto de acuerdo con las necesidades del proyecto.
- Proceso constructivo

#### *Etapas finales (en funcionamiento)*

- Realizar campañas de seguimiento y calidad de las mezclas utilizadas con el objetivo de compartir las experiencias y resultados obtenidos.

## **4 Referencias**

- [1] CalRecycle. (2021). *A Basic Introduction to Rubberized Asphalt Concrete Usage*, CalRecycle Technology Transfer Series.
- [2] Caltrans. (2018). *Asphalt Rubber Usage Guide*.
- [3] Cirtec. (2023). *rarx additive for asphalt rubber*. Obtenido de <https://cirtec.es/en/rarx-additive-with-tyre-powder/>
- [4] CONFAZ. (2023). *Conselho Nacional de Política Fazendaria*. Obtenido de CONVENIO ICMS 189/21: fazenda.gov.br
- [5] FHWA. (September de 2014). *The Use of Recycled Tire Rubber to Modify Asphalt Binder and Mixtures*. Tech Brief, 1-14.
- [6] Jorge Villaroel, A. G. (2015). *Aplicación y monitoreo superficial de emisiones sonoras en mezclas en caliente y frío con caucho*. Bariloche: Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto.
- [7] Jorge Villaroel, vías Chile. (2023). *Tramos de prueba*, noviembre 2023. Entrevista.
- [8] Luiz Henrique Teixeira, E. S. (septiembre de 2023). *La industria del futuro*. (R. O. Hernández, Entrevistador)