



UN ASFALTO CON MENOR IMPACTO AMBIENTAL



La reutilización de los residuos de la minería, los escombros de la construcción y las demoliciones y otros desechos reduce el consumo de grava, arena natural y derivados del petróleo en la pavimentación de calles y carreteras

Domingos Zaparolli

En el mes de marzo pasado se completó la construcción de una pista experimental de 425 metros (m) de largo en la mina Cauê, de la empresa minera Vale, en Itabira (Minas Gerais, Brasil). Durante los próximos dos años, ese lugar funcionará como campo de pruebas para evaluar el uso de una arena obtenida a partir de la reutilización de los residuos de la minería del hierro, como agregados en el pavimento asfáltico. Los áridos, como se llama en la jerga a estos materiales, tales como grava, guijarros, rocalla, piedras trituradas y arena, se utilizan como base en la construcción civil. El uso de la arena procedente de la minería con este fin podría estimular una economía circular mediante la reutilización de un material que tradicionalmente se deposita en represas o en pilas de residuos secos, y esto reduciría la necesidad de extraer grava y arena natural. La economía circular es un modelo económico que valora la reducción del uso de recursos naturales, su reutilización y su reciclado.

Según la Asociación Nacional de Entidades Productoras de Áridos para la Construcción (Anepac) de Brasil, cada kilómetro (km) de carretera pavimentada consume, en promedio, 9.800 toneladas (t) de áridos. “En una evaluación preliminar, pueden sustituirse 7.000 t de áridos por kilómetro por arenas procedentes de la minería”, estima el ingeniero civil Sérgio Pacifico Soncim, de la carrera de ingeniería de la movilidad, de la Universidad Federal de Itajubá (Unifei), a cargo de las pruebas que se llevan a cabo en Itabira.

La Anepac calcula que en 2022 Brasil tendrá que extraer 400 millones de toneladas de arena y 392 millones de toneladas de grava para abastecer un consumo de 692 millones de toneladas de áridos. La arena es el segundo recurso natural más explotado en todo el mundo, solo detrás del agua. La Organización de las Naciones Unidas (ONU)

estima que se extraen entre 40.000 y 50.000 millones de toneladas por año, generando un gran impacto en los ecosistemas ribereños y marinos.

Por otra parte, la arena representa el 80 % de los residuos de la etapa final del procesamiento del mineral de hierro, llamada concentración, en la que el hierro se separa de las impurezas. La minera Vale genera 55 millones de toneladas de arena por año. “Desde 2014 estudiamos cómo aprovechar ese material. Su utilización en la construcción civil hace posible una mejora ambiental y genera valor para la compañía”, dice André Vilhena, gerente de Nuevos Negocios de Vale.

La reutilización de la arena de la minería como árido para la pavimentación surgió en 2017, como fruto de una colaboración con la Unifei, en la que ya se han invertido más de 7 millones de reales. La primera etapa del trabajo consistió en determinar la caracterización de los desechos de la minería del hierro. En esta fase, se constató que era necesario mejorar las propiedades fisicoquímicas de los residuos.

Según la ingeniera Laís Resende, responsable técnica de la investigación en Vale, durante el procesamiento del mineral de hierro se generan los residuos arenosos. Para transformar este material en arena se crearon las rutas de proceso que incluyen las etapas de concentración, clasificación y reducción de la humedad. La arena producida por Vale contiene más de un 92 % de sílice en su composición y su aplicación podría elevar la vida útil de algunos materiales, como el asfalto vial.

La arena producida posee uniformidad granulométrica. “Es un material con un control de calidad mayor que la arena extraída de los ríos, que suele tener porciones significativas de residuos alimenticios y suelos en descomposición. Estos materiales orgánicos pueden ser la causa de una merma en la calidad de las aplicaciones”, dice Resende.

Las pruebas realizadas en la Unifei demostraron que la arena de la minería, gracias a su uni-

La autopista Imigrantes, que conecta la ciudad de São Paulo con el litoral del estado homónimo: repavimentada con asfalto de caucho



Arena reutilizada a partir de los residuos de la minería del hierro de la mina Cauê, propiedad de Vale, en Itabira (Minas Gerais)

condiciones reales confirmen los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas en la Unifei. En el mes de abril se divulgó un estudio que realizó la minera en colaboración con las universidades de Queensland, en Australia, y de Ginebra, en Suiza, que avaló, desde una perspectiva técnica, la factibilidad de la utilización de la arena de la minería para los pavimentos asfálticos y en la fabricación de ladrillos.

OTROS ÁRIDOS

Al igual que la minería, la industria siderúrgica genera desechos que se están aprovechando. El destino principal es la construcción civil, principalmente para la producción de cemento, pero también se utiliza una parte en la pavimentación. En su informe de sostenibilidad 2020, el Instituto Aço Brasil, una organización sin fines de lucro que agrupa a las empresas del sector, informa que la producción de cada tonelada de acero bruto genera unos 600 kilogramos de residuos, de los cuales el 65 % corresponde un material procedente de los altos hornos y las acerías y tiene potencial para ser utilizado como árido en la construcción. En 2021, Brasil produjo 36,2 millones de toneladas de acero bruto, que generaron aproximadamente 14 millones de toneladas de áridos siderúrgicos.

formidad y su alto contenido de sílice, proporciona un aumento de hasta un 50 % en los parámetros de rendimiento a partir de los cuales se calcula la vida útil de una carretera en comparación con la arena convencional. También reduce en un 6 % el requerimiento de cemento asfáltico derivado del petróleo, que se utiliza como aglutinante de los áridos en la capa superficial del pavimento, la capa de rodadura.

La calzada de una carretera está compuesta por varias capas de pavimento. La estructura más habitual se compone de cuatro capas: subrasante, subbase, base y recubrimiento o capa de rodadura, que puede ser de asfalto o de hormigón (véase la infografía inferior). La pista de 425 m en Itabira servirá para evaluar bajo condiciones reales los resultados obtenidos en laboratorio y para determinar la com-

posición más adecuada de la arena de minería en la mezcla de áridos de cada capa.

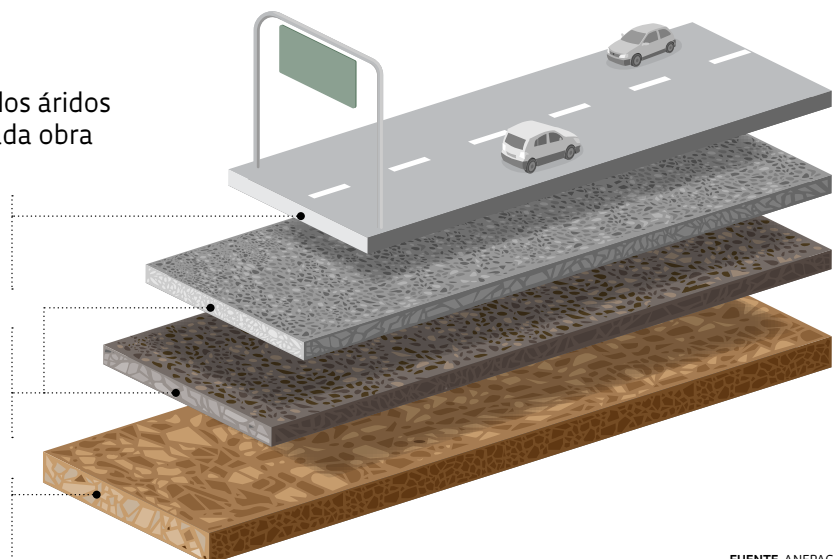
“La pista quedó dividida en cuatro subtramos, cada uno con una solución diferente en su composición”, explica Pacifico Soncim. Se instalaron 96 sensores, entre los que se encuentran medidores de deformación, de presión, de temperatura y de humedad, sometidos al tránsito constante de vehículos con cargas pesadas. Los estudios los lleva a cabo la Unifei en colaboración con el Instituto Alberto Luiz Coimbra de Posgrado e Investigación en Ingeniería de la Universidad Federal de Río de Janeiro (Coppe-UFRJ). Ambas instituciones forman parte de la Red de Tecnología en Asfaltos de Petrobras. Los resultados serán compartidos con el Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte (Dnit).

En Vale, se espera que los ensayos en

GEOMETRÍA DEL ASFALTO VIAL

La cantidad de capas y la composición de los áridos varían en función de las necesidades de cada obra

- 1 Revestimiento asfáltico**
Con 5 a 10 centímetros de espesor, la capa de rodadura está formada por asfalto y una mezcla de áridos
- 2 Base y subbase**
Compuestas por una mezcla de materiales más duros, como grava y guijarros, sirven para rectificar el suelo y estabilizar y aumentar su resistencia; y constituyen el soporte de la capa superior
- 3**
- 4 Subrasante**
La capa inferior de la calzada está formada principalmente por arena o polvo de roca y su función es similar a la de las dos capas superiores



FUENTE ANEPAC

Los materiales más empleados en todo el mundo como sustitutos de los áridos naturales en la pavimentación son los residuos de demolición de la construcción, los llamados escombros, y el material fresado, el nombre que recibe la capa asfáltica deteriorada que se retira de los pavimentos mediante máquinas fresadoras. En Brasil, sin embargo, estos materiales todavía son poco utilizados.

“Existen un desconocimiento y también hay prejuicios en relación con el uso de residuos”, dice la ingeniera civil Liedi Légi Bariani Bernucci, directora presidente del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT) de la Gobernación del Estado de São Paulo y excoordinadora del Laboratorio de Tecnología de Pavimentos (LTP) de la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo (Poli-USP). “Se considera erróneamente que es un material de baja calidad cuyo resultado serán obras deficientes, que en poco tiempo generarán problemas”, dice la ingeniera, integrante del Consejo Superior de la FAPESP. “Cuando son tratados adecuadamente, extrayendo los restos de madera, yeso y metales, los residuos de la construcción son tan eficientes como el material natural”.

Según Légi Bariani Bernucci, el problema no reside en las constructoras, que poseen información al respecto de la calidad de los reciclados, sino en la falta de idoneidad técnica de algunos administradores públicos, responsables de los contratos de pavimentación. “El constructor se adapta al pliego de contratación del servicio. Hay pocos técnicos de la administración pública capaces de diagramar un pliego de contratación que estimule el uso de material reciclado y reduzca el impacto ambiental de la obra”, comenta.

En la capa de rodadura de las calzadas se utilizan dos tipos de revestimiento: uno flexible, elaborado con asfalto de petróleo, y otro rígido, de hormigón de cemento de Portland. En Brasil, al igual que en la mayoría de los países, predomina en más del 95 % de las obras el

revestimiento o carpeta asfáltica, cuyo costo de implementación es menor, su mantenimiento es más sencillo y existe una mayor disponibilidad de prestadores de servicios calificados. La carpeta de hormigón, con todo, ofrece una mayor durabilidad. Está diseñada para una vida útil promedio superior a los 20 años, mientras que la duración del revestimiento flexible es de 10 a 15 años.

Los expertos no se ponen de acuerdo en cuanto a las aplicaciones de uno u otro revestimiento, pero la mayoría se inclina por un mayor uso del hormigón en las calzadas que reciben tránsito pesado, como los carriles para autobuses y las carreteras, y en los lugares de difícil mantenimiento, y la prevalencia del asfalto en el resto de las vías. Para la ingeniera civil Kamila Vasconcelos Savasini, actual coordinadora del LTP y profesora asociada del Departamento de Ingeniería de Transporte de la Poli-USP, tanto el asfalto como el hormigón emplean insumos que generan un gran impacto ambiental en sus procesos productivos. El mayor impacto del asfalto o del hormigón depende de un análisis del ciclo

de la cadena productiva de cada obra, que varía de acuerdo con la disponibilidad regional de los insumos, la ubicación y las características de las vías que han de pavimentarse, entre otras variables.

El consumo de asfalto en Brasil llegó a ser de 1,6 millones de toneladas en 2021, según Petrobras, una cifra inferior a la media anual previa a la pandemia de covid-19, que era de unos 2 millones de toneladas. Según Vasconcelos Savasini, cada kilómetro de pavimento asfáltico de 10 centímetros de espesor en una calzada de una sola vía de 3,5 m de ancho consume alrededor de 50 t de asfalto. “La reducción del impacto ambiental de una obra vial o urbana puede lograrse mediante la reutilización de materiales, el desarrollo de tecnologías capaces de reemplazar los insumos de alto impacto, como los derivados del petróleo, y la disminución de las distancias de transporte de los materiales”, dice la investigadora.

Los centros de investigaciones de Estados Unidos y de Europa se dedican a estudiar los bioaglutinantes, productos químicos procedentes de fuentes renovables capaces de sustituir el asfalto de petróleo como agente aglutinante de los áridos en la capa superficial de los pavimentos. Los resultados aún son incipientes.



Un bache en la calle: la falta de mantenimiento preventivo es una de las causas de la mala pavimentación urbana en Brasil

Con el apoyo de la FAPESP, Vasconcelos Savasini coordina una investigación centrada en la sostenibilidad de la pavimentación con asfalto, siendo uno de los objetivos el desarrollo de un bioaglutinante como posible alternativa al aglutinante asfáltico derivado del petróleo. El equipo a cargo del proyecto está estudiando diferentes biomásas disponibles en Brasil.

El Laboratorio de Tecnología de Pavimentos de la Poli-USP participó hace algunos años en la investigación de un bioaglutinante obtenido de un subproducto importado de la madera de pino capaz de sustituir al asfalto tradicional. Este bioaglutinante fue desarrollado junto a dos empresas, la paranaense Greca Asfaltos y la paulista Quimigel, que se especializa en aditivos asfálticos. En 2017, el nuevo producto fue probado en

la autopista BR-050, que une Brasilia con Santos (São Paulo). El resultado salió publicado en la revista *Construction and Building Materials*, en 2021.

“La eficiencia del bioaglutinante ha sido comprobada, pero no así su factibilidad económica para producirlo en Brasil”, lamenta Wander Omena, gerente de Investigación y Desarrollo de Greca Asfaltos. La producción del bioaglutinante probado en 2017, explica, depende de una sustancia que se obtiene en una biorrefinería a partir del procesamiento del licor negro, un subproducto de la industria de la celulosa. “En Brasil no tenemos tales biorrefinerías y la importación de este insumo tiene precios prohibitivos”, dice Omena.

Greca Asfaltos es la empresa que hace 21 años introdujo en el país el asfalto

de caucho, que se elabora con polvo de neumáticos en desuso. El origen de esta innovación es estadounidense, pero, en ese país, el asfalto utiliza hasta un 10 % de su peso en polvo de caucho, mientras que la versión brasileña utiliza un 15 %. Otra innovación nacional fue el agregado de aditivos para estabilizar la viscosidad del material. El caucho aumenta la durabilidad del asfalto.

Según un estudio del Laboratorio de Pavimentos de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS), esta mezcla es capaz de reducir 5,5 veces la propagación de las grietas, disminuyendo la necesidad de servicios de mantenimiento.

Otra ventaja radica la promoción de la economía circular en la industria de neumáticos. Cada kilómetro de pavimento de 7 m de ancho construido con la mezcla utiliza mil neumáticos desechados. En 2021, Greca Asfaltos llegó la marca de 13.000 km de calzadas repavimentadas con el asfalto de caucho y 13 millones de neumáticos reutilizados. En total, sumando las obras de otros proveedores de asfalto de caucho, son 17.000 km de calzadas. Su incidencia aún es pequeña, frente a los 221.000 km de carreteras pavimentadas del país.

Este material es utilizado fundamentalmente por los concesionarios privados. En São Paulo, las autopistas Anchieta e Imigrantes, que conectan la capital del estado con la costa sur del mismo, fueron totalmente reasfaltadas con el asfalto de caucho, y la concesionaria EcoRodovias está adoptando el material como su estándar para el reasfaltado de las autopistas que administra. Las concesionarias CCR y Arteris también utilizan el producto.

El precio del asfalto de caucho es alrededor de un 15 % más caro que el convencional, pero su durabilidad es mayor. A juicio de Omena, el principal obstáculo para una adopción más extendida del material en las obras públicas es el desconocimiento técnico de la mayoría de los contratistas. En el exterior, la fórmula brasileña de asfalto de caucho ya ha sido regulada en China y su uso está siendo evaluado en los países europeos. ■

PAVIMENTO DE BAJA CALIDAD

Un estudio elaborado por la Confederación Nacional de Transportes de Brasil apunta fallas en la red vial del país

La investigación Pesquisa CNT Rodovias 2021 evaluó las condiciones de 109.100 kilómetros (km) de carreteras brasileñas y reprobó el estado general del 61,8 % de la red vial analizada. Las características bajo análisis fueron el pavimento, la señalización y la geometría de las vías. Este estudio, realizado por la Confederación Nacional del Transporte (CNT), identificó la existencia de algún tipo de problema en el pavimento en 57.000 km, algo más de la mitad del total analizado. El recubrimiento asfáltico fue calificado como malo en 17.300 km, y pésimo en 6.300 km.

Según la ingeniera civil Liedi Légi Bariani Bernucci, directora del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT), de la Gobernación del Estado de São Paulo, y excoordinadora del Laboratorio de Tecnología de Pavimentos (LTP) de la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo (Poli-USP), las carreteras brasileñas son de una calidad inferior a las de Europa y Estados Unidos, pero eso no se debe al asfalto utilizado, cuyas características técnicas son similares a las que verificadas en el exterior. “Nuestros mayores problemas residen la menor vida útil del pavimento

normalmente estipulada en el proyecto, la falta de recursos tecnológicos de algunos de los ejecutores de las obras y la inspección fallida durante su ejecución”, sostiene.

La CNT también identifica entre las causas de los defectos en los pavimentos la falta de mantenimiento preventivo y la deficiente fiscalización del exceso de peso de los vehículos que transitan por las rutas. Los problemas son más recurrentes en las carreteras públicas. La investigación Pesquisa CNT Rodovias desaprobó el estado general de un 72 % de los tramos viales controlados por la administración pública y el 26 % de las autopistas gestionadas por concesionarios privados.

En los centros urbanos, la calidad de los pavimentos asfálticos también se ve afectada por la intervención desorganizada de los concesionarios de aguas, alcantarillado, gas y otros servicios, que realizan obras subterráneas en calles y avenidas. El reasfaltado de los baches compromete la integridad de la carpeta asfáltica, cuyo resultado a menudo son grietas y fisuras por donde se filtra el agua de lluvia, causando socavones y nuevos baches.