

SOLUCIONES

E INNOVACIONES
TECNOLÓGICAS DE
MEJORAMIENTO DE VÍAS
DE BAJO TRÁNSITO



Título: Soluciones e innovaciones tecnológicas
de mejoramiento de vías de bajo tránsito.
Serie informes sectoriales. Infraestructura

Depósito legal: lf74320096204779

ISBN: 978-980-6810-49-5

Editor
CAF

Vicepresidente corporativo, Infraestructura
Antonio Juan Sosa
asosa@caf.com

Director de Análisis y Programación Sectorial
Francisco Wulff
fwulff@caf.com

Especialista en Vialidad
Diego Sánchez Fonseca
dsanchez@caf.com

Especialista en Transporte
Juan Carlos Saavedra
jsaavedr@caf.com

Participaron en la realización de este informe
la Escuela Colombiana de Ingeniería
Coordinación, Sandra Campagnoli

Grupo asesor
Director, Hernán Otoniel Fernández Ordoñez
Carlos Iván Gutiérrez Guevara
Claudia Ríos Reyes
David González Herrera
Fernando Estrada Sánchez
Fernando Sánchez Sabogal
Guillermo Thenoux
Luis Guillermo Díaz Vásquez

Diseño gráfico
Gisela Viloría

Diagramación
Leopoldo Palís

La versión digital de esta publicación
se encuentra en www.caf.com/publicaciones

© 2010 Corporación Andina de Fomento
Todos los derechos reservados

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
MARCO DE REFERENCIA	8
Vías de bajos volúmenes de tránsito (BVT)	8
Niveles de acceso: transitabilidad y niveles de servicio	10
Transitabilidad	10
Nivel de servicio	10
Nivel de acceso	11
Mejoramiento de las vías BVT	13
La pavimentación como solución para mejorar la transitabilidad y el nivel de servicio de una vía de BVT	14
Vías en grava	15
Pavimentación de vías de BVT	16
Pavimentación por etapas	17
CONTEXTO GENERAL DE LOS PAÍSES ESTUDIADOS	19
Territorio y clima	19
Población y aspectos socioeconómicos	21
Infraestructura vial en los países	22
Organización institucional, recursos económicos y aspectos operativos para la gestión vial	24
Organización institucional	24
Recursos económicos para la gestión vial	24
Aspectos operativos de la gestión vial	26
Políticas, planes y programas viales para las vías de BVT	27
Chile. Programa de Caminos Básicos	27
Perú. Programa de Caminos Rurales (PCR)	27
Argentina. Ediviar y Programa de Infraestructura Vial Provincial (PIVIP)	27
Colombia. Plan Vial Regional, Plan Vías para la Paz, Plan 2500 y Programa de Mejoramiento y Conservación de Vías Terciarias	28
Paraguay. Programa Nacional de Caminos Rurales	29
Experiencias técnicas de los países en el manejo de vías de BVT	30
Normativa	30
Normativa ambiental aplicable a las vías de BVT	34
Síntesis	35
PRÁCTICAS DE MEJORAMIENTO DE CAMINOS DE BVT	38
Alternativas de mejoramiento	38

Soluciones estructurales	41
Soluciones estructurales universales	42
Soluciones estructurales innovadoras	44
Soluciones estructurales experimentales	46
Soluciones funcionales	46
Soluciones funcionales universales	47
Soluciones funcionales innovadoras	48
Soluciones funcionales experimentales	53
Empleo de materiales locales y materiales no estándar	54
Justificación y limitaciones para el empleo de materiales no estándar	55
Residuos, sub-productos industriales y otros materiales no estándar	56
Síntesis	58
RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA PRIORIZACIÓN DE CAMINOS DE BVT DENTRO DE LA RED PARA SU INTERVENCIÓN	60
Consideraciones generales	60
Análisis de costo-beneficio.	60
Análisis de criterios múltiples o multi-criterio	61
Políticas que inciden en la priorización	62
Propuesta de procedimiento para la priorización de caminos de BVT	62
Factores que afectan la priorización	63
Puntajes y coeficientes de ponderación para la priorización de las vías de BVT	64
Síntesis	66
RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO	68
Diseño Ambientalmente Optimizado (DAO)	68
Factores que enmarcan la selección del mejoramiento en un DAO	69
Metodología para la selección de las técnicas de mejoramiento	73
Establecimiento del tipo de solución general de mejoramiento	73
Orientaciones para la definición de una alternativa de mejoramiento	76
Criterios para el uso de materiales no estándar o no tradicionales	80
Síntesis	82
SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES	85
Recomendaciones	87
ANEXO	91
Ejemplo de selección de la técnica del mejoramiento	92

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es básica para desarrollar la actividad productiva, integrar al país y contribuir a la calidad de la vida cotidiana de la población, junto con otros servicios esenciales como el agua potable, la electricidad, las telecomunicaciones, la salud y la educación. La infraestructura tiene además un valor estratégico frente a desastres naturales y problemas de seguridad nacional, tanto interna como externa.

La provisión de una adecuada infraestructura vial puede ser costosa, pues se necesita una inversión inicial significativa para los estudios, el diseño y la construcción y, posteriormente, para el mantenimiento y las mejoras progresivas que se requieren debido al creciente número de usuarios. Por este motivo, les corresponde a los gobiernos asumir la responsabilidad de liderar y de proporcionar la cantidad y la calidad de la infraestructura vial y de transporte que la sociedad necesita para su progreso y bienestar. Teniendo en cuenta que el sector público tiene la competencia para invertir y gestionar la infraestructura en cuanto a planificar, regular, ejecutar, operar, evaluar y fiscalizar, y que los recursos son limitados, éste debe ser un asunto central de política y de acción gubernamental.

La mayor parte de los caminos de bajo volumen de tránsito (BVT) en los países latinoamericanos son vías en tierra y en grava, que se encuentran a cargo de las administraciones públicas de diferentes niveles de gobierno, y que en general pertenecen a las redes terciaria y secundaria (aunque algunas veces de la red principal o primaria). Por lo regular, estos caminos comprenden alrededor del 80% de la longitud de la red vial total, proveen el acceso de la población rural a sus redes sociales y son de suma importancia para el desarrollo socioeconómico de una región o de un país.

Las vías de BVT integran vastas regiones de los países y, en la mayoría de los casos, son el principal medio –a veces el único– para la movilización de la población que habita en zonas marginadas geográfica o socialmente. A pesar de estas circunstancias y de su importancia, la mayor parte de estos caminos se hallan en un estado que oscila entre regular y malo, lo que dificulta el acceso y encarece la movilización vehicular, generando sobrecostos excesivos para el transporte de personas y de mercancías, dificultando la integración social, el crecimiento de la producción, la integración a los mercados, así como el acceso a los servicios públicos de salud y a la edu-

cación. Sumado a lo anterior, los malos caminos y los caminos no pavimentados aumentan la accidentalidad y afectan el medio ambiente, perjudicando a extensas regiones.

Se percibe que a nivel gubernamental hay desconocimiento y escasa información sobre esta problemática. En consecuencia, su atención es de baja prioridad y se limita a algunos programas específicos, generalmente desarticulados de la gestión de la infraestructura vial del país. Además, es común encontrar que el mantenimiento de estas vías sea insuficiente y de mala calidad (en muchos casos prácticamente nulo), que la organización institucional y la administración sean débiles, que haya restricciones presupuestales, que la documentación técnica y normativa sea escasa –cuando existe–, que los costos de las intervenciones sean altos y que no haya herramientas operativas que faciliten un trabajo permanente y sostenible en estas vías.

Es muy factible que los recursos para la atención de vías de BVT sigan siendo escasos en el futuro previsible, razón por la cual resulta esencial desarrollar y promover métodos adecuados de ingeniería vial que brinden acceso a las comunidades en todo momento –o al menos en casi todo– a un costo razonable, e identificar factores que faciliten a las instituciones responsables la implementación de mecanismos que permitan proveer y administrar este tipo de infraestructura

Con el objetivo particular de atender, desde la perspectiva técnica, la problemática expuesta anteriormente, se proponen técnicas y estrategias para el mejoramiento de caminos en tierra y en grava, para que los países interesados puedan aplicarlas, buscando que estos caminos pasen a un estado superior y presten un servicio de mejor calidad, incorporando herramientas, métodos, técnicas y estrategias modernas de ingeniería. Se asume como hipótesis, para alcanzar los objetivos propuestos, que el conocimiento y la aplicación de las mejores y modernas prácticas de ingeniería, son los que contribuirán a la solución del problema planteado en forma eficaz, eficiente y sostenible.

Este es un objetivo que se alinea con los intereses de CAF, definidos en su agenda de gestión del conocimiento y uso de mejores prácticas, y que pretenden que los gobiernos de la región cuenten con guías técnicas especializadas, que les permitan optimizar el uso de los recursos.

Para lograr este objetivo se hizo una investigación documental que involucró la identificación de prácticas organizacionales y de gestión administrativa de redes viales de BVT, al igual que de experiencias, resultados y problemática de las prácticas y tecnologías empleadas en el mejoramiento de los caminos de estas redes en Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay y Perú, dentro de sus particularidades geográficas, climáticas y sociales. También se realizó una amplia revisión bibliográfica sobre las experiencias y las tecnologías aplicadas, para el mejoramiento de caminos de BVT, en otros países en desarrollo.

Como resultado de este trabajo se proponen recomendaciones generales para la selección de técnicas de mejoramiento que pueden aplicarse a caminos de BVT cuya superficie se encuentre en tierra o grava, de tal manera que se mejoren los estándares de circulación, garantizando su transitabilidad y el servicio vial en toda temporada. Adicionalmente, se presentan orientaciones y lineamientos generales que permitan a los directivos de las instituciones gubernamentales establecer mecanismos para administrar de un modo más eficiente los limitados recursos para el mejoramiento de los caminos de BVT.

MARCO DE REFERENCIA

Las vías objeto de estudio en este documento, las denominadas vías BVT, son vías en tierra y en grava que se encuentran a cargo de las administraciones públicas de diferentes niveles de gobierno, que forman parte generalmente de las redes terciaria y secundaria (aunque algunas veces de la red principal o primaria), en las que existe un transporte motorizado hasta de 250 vehículos por día, con un número no superior a 50 vehículos de más de 3,5 toneladas de peso bruto y que poseen obras básicas de infraestructura. Se entienden como obras básicas de infraestructura algunas modificaciones en el trazado, generalmente terraplenes para salvaguardar la calzada del agua en zonas bajas, así como estructuras permanentes de contención y drenaje superficial.

El umbral de 50 vehículos pesados no constituye un límite preciso; sólo se emplea en este documento para dar una visión precisa de las carreteras en discusión y para indicar que en las carreteras consideradas de BVT, el principal criterio de definición es el número de vehículos pesados que circulan por ellas.

La definición anterior de vías de BVT es necesaria debido a que el concepto puede tener diferentes interpretaciones en la documentación especializada. Esta definición se basa en consideraciones de tránsito y no de funcionalidad; en los países objeto del presente estudio las vías de BVT pueden ser, desde el punto de vista funcional, vías secundarias o terciarias, aun cuando en la red primaria también pueden estar presentes.

Por su enfoque, en este documento no se habla de las actividades de mejoramiento necesarias para atender la infraestructura de transporte asociada con las carreteras pavimentadas que forman parte de las redes primaria, secundaria y terciaria que tengan BVT.

Vías de bajos volúmenes de tránsito (BVT)

El término BVT se puede considerar desde diferentes perspectivas. En algunos países desarrollados es posible encontrar vías de BVT pavimentadas y con dos carriles que soportan tránsitos de 2.000 vehículos por día (vpd)¹, mientras que en algunos países en desarrollo las vías consideradas de BVT pueden tener tránsitos tan bajos como de 200 vpd.

1. *Opportunities for low volume roads - A5002: Committee on Low-Volume Roads.*
Gerald T. Coghlan, U.S. Department of Agriculture Forest Service - TRB.

La *FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION* DE ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (FHWA) define las carreteras de BVT como aquellas por las cuales transita un promedio de menos de 400 vehículos al día. Aunque este valor es, en líneas generales, el umbral que se considera en muchos países para las vías de bajos volúmenes de tránsito^{2,3}, en otras naciones el tránsito se limita a 200 ó 250 vehículos diarios para este tipo de caminos.

Las condiciones de tránsito establecidas por ejemplo en Chile, Colombia, Perú y Ecuador, para clasificar una vía como de BVT, se expresan por lo regular en términos de un valor límite del número promedio de vehículos que circulan por la carretera en un día (vpd) del primer año de servicio, valor por lo general del orden de 250 vpd, o en términos del tránsito (N), correspondiente a las repeticiones de un eje simple equivalente con sistema de rueda doble, de 8,2 toneladas (E.E.), que se espera que circulen por el carril de diseño durante el período de diseño (n), valor que comúnmente no supera el millón de ejes equivalentes (1×10^6 E.E.).

De esta manera, los límites establecidos en cuanto al número promedio de vehículos que circulan diariamente difieren del establecido por la FHWA para definir una vía como de BVT, lo cual resulta lógico si se consideran las condiciones de desarrollo de los países involucrados.

Aunque las carreteras de BVT tienen aspectos diferentes, dependiendo del contexto en el cual se desarrollen, presentan una serie de características comunes, como las siguientes:

- Alineamientos horizontales extremadamente contrastantes, que pueden ser muy sinuosos o muy rectos, con un perfil longitudinal que se mantiene muy próximo a la topografía del terreno natural con el propósito de evitar, hasta donde sea posible, el movimiento de tierras.
- Calzadas con superficies de circulación en tierra como resultado de la explanación o movimiento de tierras ejecutado para construir el camino, o con una capa de grava o material granular para proteger la superficie y garantizar la circulación permanente. Cuando están pavimentados poseen capas asfálticas delgadas, tales como sellos, tratamientos superficiales o mezclas asfálticas que no exceden los cinco centímetros de espesor. Por lo general, estas estructuras se han construido sobre capas granulares de bajo espesor o incluso directamente sobre el terreno natural, sin ningún mejoramiento de su capacidad de soporte, por lo que sus deterioros obedecen principalmente a las deformaciones de la subrasante.
- Estado de la calzada para la circulación vehicular de regular a malo, determinado por una serie de factores propios de países en vías de desarrollo. Entre estos factores cabe destacar diseño insuficiente, calidad de construcción y materiales utilizados fuera de normas, sobrecargas de tránsito, conservación inadecuada y sistemas de drenaje insuficientes.

2. *Evaluation of low volume roads* (2008). Rodrigo Archondo Callao, The World Bank.

3. *Low volume roads engineering - Best management practice field guide* (2003). Gordon Keller & James Sherard.

Niveles de acceso: transitabilidad y niveles de servicio

El objetivo de cualquier vía es proveer acceso (accesibilidad) y, dentro del contexto del presente documento, es brindar acceso a vehículos motorizados, en toda temporada. Es clave que el gestor vial defina con claridad los objetivos que busca en el momento de planear el mejoramiento de una vía; para ello, resulta fundamental considerar los dos componentes que determinan el concepto de accesibilidad: transitabilidad y nivel de servicio.

La calificación de la transitabilidad y del nivel de servicio de una vía depende del tipo de vehículo que se tome como referencia; una vía puede ser transitable para un vehículo no motorizado, pero no para un camión de más de dos ejes, por ejemplo. Por lo tanto, la calificación debe hacerse para cada vía en particular y en función de los vehículos típicos que hagan uso de ella.

TRANSITABILIDAD

El término transitabilidad se define como la posibilidad de llegar a los sitios que sirve la vía; resolver problemas de transitabilidad debe ser el primer objetivo de un plan de mejoramiento vial. La vía (o un tramo de ésta) puede ser intransitable, transitable sólo algunos meses del año o transitable durante todo el año.

Es difícil definir, desde el punto de vista técnico y de manera objetiva cuándo un tramo de vía se vuelve intransitable⁴; por ejemplo, los operadores de los vehículos toman decisiones de circular o no en función principalmente de su apreciación subjetiva sobre el grado de riesgo que corren sus vehículos, los pasajeros o la carga que transportan o sobre los tiempos esperados de circulación. En todo caso, las interrupciones del tránsito por falta de acceso confiable afectan notoriamente el bienestar y la forma de vida de la población.

NIVEL DE SERVICIO

El nivel de servicio, que está asociado a la seguridad y comodidad del tránsito, se relaciona con la rugosidad y velocidad (tiempo de transporte). Además de los aspectos que controlan la transitabilidad, el nivel de servicio depende sobre todo del trazado geométrico y de las características de la superficie de rodado, aspectos que determinan las velocidades de circulación de la vía. Los niveles de servicio tienen que relacionarse necesariamente con esas velocidades medias de operación, y deben definirse para cada tipo de vehículo o sistema de transporte que use la vía. En algunos textos internacionales se utiliza el concepto de movilidad para referirse en particular a la facilidad que otorga la vía para desplazarse en menor tiempo entre dos puntos.

Desde el punto de vista exclusivo de los pavimentos, se pueden definir los siguientes niveles de servicio:

- *Deficiente*: cuando la circulación de los vehículos se hace en condiciones inseguras, o cuando se altera significativamente y de manera adversa la velocidad de circulación.

⁴. *Design and appraisal of rural transport infrastructure: Ensuring Basic Access for rural communities* (2001). WBTP 496, Lebo.

En este caso, la velocidad se ve afectada en forma sustancial y suele ser necesario cambiar de carril o frenar para pasar algunos puntos críticos.

- *Adecuado*: cuando la velocidad de circulación es muy similar a la velocidad de diseño (no se reduce en más del 30%) y no se afecta la seguridad de la conducción; sin embargo, la velocidad de diseño es reducida debido a las condiciones geométricas de la vía.
- *Óptimo*: cuando se puede transitar por la vía a las velocidades definidas durante el diseño, las cuales son altas y están asociadas a vías diseñadas y construidas con elevados estándares de diseño geométrico.

Otro factor que debe tomarse en cuenta dentro del nivel de servicio de vías de BVT es la generación de polvo, producida por la circulación de vehículos por las carreteras en grava. La generación de polvo en temporada seca puede acarrear, además de contaminación del aire, problemas de salud y de seguridad a los vecinos de las vías y perjuicios a labores productivas, en particular las relacionadas con la agricultura y la ganadería, entre muchos otros efectos negativos.

Los resultados de diferentes investigaciones realizadas en carreteras en grava han demostrado que, en promedio, un 30% de las partículas presentes en el ambiente es atribuible al polvo de la carretera y que un vehículo que circula un kilómetro una vez al día durante todo el año genera entre 0,2 y 0,6 toneladas de finos; en otras palabras, durante una temporada seca pueden retirar unas 25 toneladas de polvo por kilómetro de una carretera no pavimentada cada año. En la temporada de lluvias, el escurrimiento de finos dentro de las corrientes de agua produce serios impactos en la transitabilidad, exigiendo un alto mantenimiento de los sistemas de drenaje. Así mismo, en temporada de invierno se afecta seriamente la calidad del agua de ríos y lagos.

El nivel de servicio óptimo corresponde a vías pavimentadas o cuya superficie tenga algún sistema de protección, de modo que la generación de polvo no sea un problema asociado a éstas.

NIVEL DE ACCESO

El concepto de acceso está ligado simultáneamente a los conceptos de transitabilidad y de nivel de servicio. El acceso se puede clasificar por niveles en acceso parcial, acceso deficiente, acceso básico (con restricciones o sin ellas), y en acceso total, en función de la calidad del servicio que presta a los vehículos típicos que usan la vía.

De manera resumida, los tipos de acceso se pueden definir así:

- *Acceso parcial (transitabilidad durante algunos meses del año con nivel de servicio variable)*. Permite el acceso durante algunas épocas del año, con interrupciones por períodos sustanciales (principalmente durante la temporada de lluvias).

- *Acceso deficiente (transitabilidad durante todo el año con nivel de servicio pobre)*. Permite el acceso durante todo el año, pero en condiciones poco confiables o incómodas; se pueden presentar períodos de inaccesibilidad limitados (máximo una semana).
- *Acceso básico (transitabilidad durante todo el año con nivel de servicio adecuado)*. Permite el acceso ininterrumpido durante todo el año, de manera confiable y con comodidades mínimas. Este nivel de acceso puede presentar períodos de inaccesibilidad limitados (máximo de 24 horas).
- *Acceso total (transitabilidad durante todo el año con nivel de servicio óptimo)*. Corresponde a un acceso de alta calidad e ininterrumpido durante todo el año.

Los niveles de acceso que se persiguen con el mejoramiento de las carreteras de BVT consideradas en este documento corresponden al básico y al total, como se detalla a continuación.

Acceso básico

Una vía con este nivel de acceso es aquella en la que los vehículos pueden transitar todo el año, con excepción de períodos de interrupción cortos (máximo 24 horas, asociados generalmente a lluvias fuertes), sin que los conductores, pasajeros y otros usuarios de la vía corran el peligro de ser lastimados, sin que haya riesgo de daño para el vehículo o la carga que transportan y sin causar daño en la vía más allá del desgaste normal de ésta, aun cuando esté lloviendo. En general, la velocidad de circulación de los vehículos no se debe reducir significativamente con respecto a la razonable para el nivel de servicio definido como adecuado.

Acceso total

Una vía con nivel de acceso total es aquella que se encuentra completamente diseñada aplicando criterios de ingeniería, con secciones transversales consistentes a lo largo de su alineamiento y cruces de corrientes de agua con altos estándares. Vías con este nivel de acceso presentan baja rugosidad y permiten una alta velocidad de circulación.

Acceso básico como objetivo primordial de desarrollo y bienestar

Se considera que el acceso básico corresponde al mínimo nivel de servicio requerido en una vía de BVT para mantener la actividad socioeconómica y acceder a los servicios básicos, tales como la salud y la educación. Éste debe cumplir con criterios mínimos de confiabilidad, de accesibilidad adecuada a las redes de mayor nivel, a los servicios socioeconómicos y a las actividades domésticas y de transitabilidad de los medios de transporte prevaecientes.

El objetivo de todo proyecto de mejoramiento debería apuntar, como mínimo, a la obtención de un nivel de acceso básico. Sin embargo, hay ocasiones en que algunas de las características del acceso básico no son indispensables o no se pueden conseguir de manera razonable y los objetivos del mejoramiento se pueden redefinir con menores estándares.

No es posible establecer unos estándares únicos para el nivel de acceso básico; su definición es, finalmente, un asunto de políticas que dependen de los objetivos de desarrollo, de las limitaciones presupuestales y de los ambientes sociales y físicos existentes en cada país o región. En las naciones en vías de desarrollo, las especificaciones de diseño para este nivel de acceso pueden hacer más énfasis en la transitabilidad y la durabilidad que en ancho de la vía y velocidad de operación⁵.

En general, las condiciones de rugosidad y de velocidad no constituyen parámetros importantes de diseño entre los estándares para acceso básico, aunque sí se establecen ciertos valores límite que no se deben superar para evitar accidentes o el daño de los vehículos. Existen recomendaciones que limitan la velocidad a un máximo de 30 km/h, teniendo en cuenta la variedad de usuarios del camino (personas a pie o en bicicleta, animales, etc.), hasta valores de máximo 80 km/h en algunos países desarrollados. En vías de BVT que presentan este tipo de acceso es razonable encontrar velocidades de operación de 40 a 60 km/h, rango en el cual se puede transitar con valores de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de 5 a 6 m/km.

Dependiendo de las circunstancias, la generación de polvo puede ser un factor determinante para que el servicio que presta una vía no alcance el nivel de acceso básico.

Mejoramiento de las vías de BVT

En este documento, el término mejoramiento se refiere a la implementación de soluciones de ingeniería diferentes de las utilizadas en la construcción original, con el fin de mejorar el nivel de acceso (transitabilidad, nivel de servicio) o reducir la emisión de polvo. El término mejoramiento involucra actividades realizadas para incrementar el estándar de la superficie de rodadura del camino y, en consecuencia, el nivel de servicio.

Aunque los mejoramientos en una vía pueden ser puntuales –si se realizan solamente en sitios críticos–, en este documento se presta atención a los mejoramientos continuos, es decir, a los efectuados de manera continua en tramos relativamente largos. En la literatura se cuenta con referencias especializadas⁶ en los denominados “mejoramientos puntuales” o *spot improvements*, las cuales pueden consultarse cuando se desee implementar este enfoque.

Los mejoramientos continuos están relacionados, principalmente, con el mejoramiento del nivel de servicio mediante una intervención generalizada en la superficie de rodadura de la vía, que por lo regular conducen a la supresión sistemática del polvo. Esta clase de mejoramiento se aplica comúnmente en vías que proporcionan por lo menos un nivel de acceso básico.

5. *Why road maintenance is important and how to get it done*. The World Bank.

6. *Spot Improvement Manual for Basic Access* (2006). ANE,TRL. Junio.

La pavimentación como solución para mejorar la transitabilidad y el nivel de servicio de una vía de BVT

Desde hace más de una década, los investigadores de muchos países han venido sugiriendo que la viabilidad de utilización de grava como superficie de rodadura en caminos de BVT se está reduciendo. En ese orden de ideas, se están imponiendo cada vez con mayor amplitud las superficies selladas que incluyen diferentes alternativas, como los tratamientos superficiales, los sellos bituminosos, los empedrados, pavimentos en bloques y otras tecnologías de reciente desarrollo⁷.

En los países objeto de análisis, las carreteras con superficies en tierra o grava constituyen la mayor proporción de la longitud de la red vial total, que normalmente es superior al 80%. Esta cifra aumentaría si se tuviera en cuenta la vasta longitud de caminos vecinales y de penetración que no se encuentran registrados.

Además de la generación de polvo en la temporada seca, otro aspecto ambiental importante asociado a las carreteras con superficie en grava es la sostenibilidad de un recurso no renovable. Las gravas de buena calidad para la construcción y el mantenimiento vial son cada día más escasas. En muchos lugares, las carreteras en grava sufren un deterioro insostenible, ya que las velocidades de pérdida de material de la superficie de la carretera superan, en muchos casos, las consideradas razonables.

La administración de la red de carreteras de BVT en los países en desarrollo presenta un amplio rango de retos para los responsables de administrarlas y operarlas. Situaciones tales como altos niveles de precipitación, inundaciones y elevados niveles freáticos estacionales, materiales disponibles de baja calidad, problemas de transporte asociados con cargas vehiculares muy variables –incluyendo sobrecargas–, así como la imposibilidad de proveer un mantenimiento oportuno debido a problemas de financiación, operacionales, de gestión y otras limitaciones, son aspectos que imponen retos a los diseñadores y a los administradores viales que, a la vez, tienen una demanda social exigente por brindar accesos mejorados y adecuada movilidad para que las comunidades rurales puedan avanzar hacia los objetivos de desarrollo, mejorar las condiciones socioeconómicas y reducir la pobreza⁸.

Se han efectuado varios estudios, principalmente en el sureste de Asia y en el sur de África, con el propósito de determinar la mejor manera de administrar los recursos disponibles para mejorar el acceso y las condiciones de las redes de BVT. Aun cuando estas experiencias se han llevado a cabo en ambientes específicos, muchos de los principios y lecciones allí aprendidas pueden aplicarse en otros lugares, con la debida consideración del ambiente local y la adaptación necesaria. En muchas de las experiencias conocidas, los análisis de los costos del ciclo de vida de los pavimentos han mostrado que mientras las superficies de rodadura en grava tienen bajos costos iniciales, los costos para su mantenimiento y rehabilitación pueden oscilar entre los más bajos y los más altos, dependiendo principalmente de las distancias de

7. *Planning roads for rural communities* (2007). M. Plessis-Fraissard. Director, Transport & Urban Development Department-The World Bank. Low volume roads conference. Junio.

8. *Key management issues for low volume rural roads in developing countries*. R. Petts, J. Cook, D. Salter. Incotals (2008). *South Asia moves forward*, 28 de julio, Colombo.

transporte. En ciertas condiciones, los costos de mantenimiento más reducidos de otras alternativas de superficie pueden aventajar rápidamente el menor costo inicial que presenta la grava, dando lugar a menores costos totales durante el ciclo de vida⁹ y en definitiva un mejor estándar relativo.

La regla simplista de “emplear superficies en tierra para tránsitos hasta de 50 vehículos por día, superficies en grava para tránsitos entre 50 y 200 vehículos por día y sellar o pavimentar la carretera para tránsitos superiores”, puede resultar equivocada en muchas situaciones¹⁰. Esta regla desconoce la incidencia de factores ambientales locales, la disponibilidad de materiales, las distancias de acarreo, los alineamientos de la carretera y otros aspectos localizados e incluso sociales, que controlan los costos relativos y el deterioro de las carreteras y, por lo tanto, deben influir en la selección de la tecnología de mejoramiento más apropiada. Lo anterior lleva a que, dependiendo de las condiciones no sólo del tránsito, sino también del clima, del suelo, de la topografía, del drenaje y de las condiciones sociales, el sellado de una carretera con tránsito tan bajo como 50 vehículos por día puede resultar justificable.

El análisis de la literatura sobre el asunto confirma que mientras existe documentación abundante para la toma de decisiones en relación con el manejo de vías con estructuras típicas de pavimento asfáltico o de hormigón de cemento pórtland, hay escasez de criterios o de orientaciones en cuanto al tipo y la oportunidad de mantenimiento o mejoramiento de carreteras en tierra o en grava, en particular con la determinación del tipo o de los tipos de superficie de rodadura apropiados, en carreteras de BVT.

VÍAS EN GRAVA

El término grava se aplica en este documento a cualquier material granular natural, procesado o sin procesar (selección, mezcla o trituración de formaciones rocosas).

Las superficies en grava han sido, por muchos años, las opciones preferidas de superficie cuando se trata de mejorar los caminos en tierra. Entre las condiciones que podrían hacer viable la utilización de una superficie en grava se incluyen disponibilidad de cantidades suficientes de grava que cumplan con las especificaciones o requerimientos técnicos mínimos, distancias de transporte del material al proyecto relativamente cortas (menos de 10 km), pendientes longitudinales de la vía inferiores al 6% y niveles de precipitación que no superen los 1.000 mm/año, tránsito inferior a 200 vpd, reducida generación de polvo durante la temporada seca y, adicionalmente, disponibilidad de recursos para las reposiciones periódicas de material que sean necesarias y para el mantenimiento rutinario. Lamentablemente, no todas estas condiciones corresponden a las que prevalecen en las redes viales de BVT, por lo que otra clase de superficie de rodadura podría resultar más apropiada para garantizar una adecuada transitabilidad y nivel de servicio vial en cualquier temporada.

9. *Sustainable Maintenance for Vietnam* (2002). R. Weatherell, T. Son, Piarc, *Rural transport seminar. Cambodia*. Mayo.

10. *Paving the way for rural development & poverty reduction* (2002). C. Gourley, A. Greening, D. Jones, R. Petts. *20th conference of Asean Federation of Engineering Organizations. Cambodia*. Septiembre.

SUPERFICIE EN GRAVA-CARRETERA EN HUARAL-PERÚ



Estudios realizados en el sur de África y en países del sureste asiático^{11, 12}, han establecido que dependiendo de factores tales como el tránsito, el clima y la topografía, la velocidad de pérdida de grava de la superficie del camino se encuentra típicamente entre los 30 y 50 mm por año, y si no se hace la reparación oportuna con adición de más material, se puede perder una capa de 100 a 120 mm de grava en un lapso de tan sólo tres a cinco años. Por otro lado, dependiendo entre otros aspectos del ancho y del espesor de la capa, de la calidad de la grava, de la distancia de transporte, de las condiciones de acarreo, de la tecnología usada y de la localización de la carretera, los costos para la adición de grava de manera periódica y para el mantenimiento rutinario de este tipo de superficie pueden ser bastante altos, encontrándose normalmente por fuera de la capacidad de financiación de muchos gobiernos de los países en desarrollo.

PAVIMENTACIÓN DE VÍAS DE BVT

Entre las ventajas de proveer una superficie de rodadura de calidad superior a una vía de tierra o grava se encuentran sellar su superficie contra la infiltración de la lluvia y proteger la base y la sub-rasante, eliminar problemas de generación de polvo, disminuir la rugosidad y mejorar el nivel de servicio, así como permitir la circulación de más tipos de vehículos.

11. *Development of an Economic and Practical Alternative to Traditional Bituminous Surface Treatments*. Charles Overby & Michael I. Pinard (2007). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1. No. 1989. Washington: *Transportation Research Board of the National Academies*, pp. 226-233. DOI: 10.3141/1989-26.

12. *Rural roads surfacing research for sustainable access and poverty reduction in south East Asia* (2007). Ta Van Giang, Nguyen Huu Duc, Robert Pett. *Proceedings of the Eastern Asia Society for transportation Studies*, vol. 6.

Algunos de los motivos que pueden incidir en la decisión de proveer una superficie de rodadura mejorada en una vía que se encuentra en tierra o grava incluyen un tránsito alto y requerimientos de mantenimiento frecuente –incluyendo reposición de grava–, altas pendientes que generan insuficiente tracción a causa de la pérdida de grava, cercanía con zonas habitadas que hacen que la generación de polvo por el paso de los vehículos presente problemas para sus habitantes y sus cultivos, escasez de grava para actividades de reposición, e incapacidad para mantener una adecuada transitabilidad y nivel de servicio en el camino.

Sin embargo, pavimentar no es siempre la mejor opción para una vía de BVT. Las vías sin pavimentar, con un buen material granular como superficie de rodadura, pueden presentar varias ventajas, entre las que se cuentan menores costos de construcción y algunas veces de mantenimiento, facilidad en su mantenimiento debido a las relativamente bajas necesidades tecnológicas y de mano de obra requeridas, facilidad para la realización de reparaciones puntuales y, en ciertas ocasiones, menor accidentalidad en razón de las menores velocidades de operación que estas vías generalmente tienen. En las condiciones ideales, una buena vía en grava puede prestar un excelente servicio por muchos años.

Por lo dicho anteriormente, la decisión de mejorar una vía en tierra o grava debe analizarse y justificarse con cuidado. Para tomar dicha decisión, la FHWA¹³ recomienda lo siguiente:

- Hacer un plan de gestión de la red vial, en un período de 5 a 10 años, para usar los recursos de la manera más eficiente posible, definiendo claramente las prioridades y necesidades.
- Llevar a cabo programas de mejoramiento de vías cuando el tránsito lo demande, cuando se hayan definido estándares de diseño, construcción y mantenimiento, cuando se hayan considerado aspectos de seguridad, cuando se hayan mejorado la base y el drenaje, utilizando técnicas correctas de construcción y materiales apropiados.

Es fundamental que antes de tomar la decisión de mejorar una vía, se haga un análisis económico que incluya los costos de construcción, vida útil y mantenimiento, los costos para los usuarios, y que además se considere la opinión de los usuarios potencialmente afectados.

PAVIMENTACIÓN POR ETAPAS

En los países objeto del estudio, la pavimentación del camino tendrá no sólo el efecto de mejorar la accesibilidad para el tránsito actual, sino que también puede dar inicio a un desarrollo sostenido de un área o región que a su vez genere un incremento significativo en el tránsito. Debido a su condición de vía de BVT, este aumento puede ser tan importante con respecto al tránsito inicial como para marcar una diferencia sustancial en el momento de escoger y diseñar la solución de mejoramiento o pavimentación; incluso, puede llegar a cambiar la categoría de vía de BVT a vía de un nivel de tránsito medio o alto.

13. *Gravel Manual-Maintenance and Design Manual* (2000). *South Dakota Local Transportation Assistance Program (SD LTAP)*, Federal Highway Administration (FHWA).

Al igual que en las vías de medios y altos volúmenes de tránsito, en el diseño hay que considerar los tránsitos atraídos y generados. Si no se tienen en cuenta, o si el incremento de tránsito no se calcula correctamente, la vida útil del pavimento se puede reducir de modo significativo y requerir una intervención mayor (rehabilitación) en un período de tiempo corto.

En virtud de la limitación en recursos para este tipo de vías y al hecho de que el incremento de tránsito sea a veces difícil de calcular, tanto en magnitud como en progresión en el tiempo, es interesante considerar la opción de pavimentar la vía por etapas o en forma progresiva. En una pavimentación por etapas hay que considerar al menos los siguientes criterios:

- a) Las especificaciones de la vía (ancho de calzada, radios de giro, pendientes, etc.) deben considerar desde un comienzo no solamente los tipos de vehículos actuales sino los que en un futuro puedan transitar.
- b) La estructura de pavimento inicial se debe diseñar y especificar para permitir su fácil adaptación a una estructura futura de mayor capacidad. Esto quiere decir, por ejemplo, que una capa de base construida para la estructura inicial con un sello debe ser adecuada para servir de base o sub-base de un futuro pavimento, bien sea en su estado inicial o mediante un sistema planeado de mejoramiento, como una estabilización.
- c) Hay tipos de pavimento que no se prestan para una pavimentación por etapas. Es el caso de las losas de hormigón de cemento pórtland, cuyo refuerzo para permitir un mayor nivel de tránsito no es práctico y resulta excesivamente costoso.

En estos casos, el diseño del mejoramiento de la vía de BVT debe contemplar el análisis tanto técnico como económico de al menos dos períodos de diseño: el de la primera etapa (estructura inicial mejorada) y el de la segunda etapa (primera adaptación o refuerzo de la estructura inicial).

La solución de pavimentación por etapas debe quedar consignada en el informe de diseño de la estructura con el mejoramiento inicial, junto con un programa de seguimiento formal de la evolución del tránsito que permita identificar el momento oportuno para efectuar la siguiente intervención; en esta forma, se deja constancia de las necesidades de inversión futura que requiere la vía, lo cual debería servir para hacer la correspondiente previsión de recursos en el tiempo para la ejecución de las etapas futuras.

CONTEXTO GENERAL DE LOS PAÍSES ESTUDIADOS

La investigación se focalizó en Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay y Perú, por considerar que la información y la experiencia existente en los últimos años en estos países suramericanos aportarían de manera significativa al propósito de este trabajo, sin que lo anterior signifique que en un futuro este estudio pueda ampliarse a Brasil, Uruguay y Venezuela. Posteriormente podrá estudiarse la inclusión de las experiencias de los países centroamericanos y del Caribe.

Para establecer estrategias y técnicas que se puedan aplicar en el mejoramiento de las vías de BVT, en los países de la región contemplados en el estudio, fue necesario identificar primero diversas características que en una u otra forma pueden incidir en la utilización de diferentes tipos de técnicas de mejoramiento vial (p.e., características geográficas y climáticas, aspectos socioeconómicos y características de sus redes viales, por mencionar algunos), así como también conocer, de manera general, las prácticas y estrategias administrativas que cada país utiliza para la gestión de sus caminos, específicamente los correspondientes a las redes viales de BVT. Con el mismo propósito, se identificaron las técnicas de mejoramiento de vías de BVT empleadas generalmente en cada uno de los países.

Territorio y clima

El territorio donde se localiza la infraestructura vial objeto del análisis es amplio y diverso, pues se extiende desde las islas y costas colombianas en el mar Caribe, hasta la Patagonia y la región polar sur de Argentina y de Chile. Incluye las zonas costeras de Colombia, Ecuador, Perú y Chile en el océano Pacífico y la zona costera de Argentina en el océano Atlántico, al igual que la cordillera de los Andes desde el extremo sur de Argentina y Chile, atravesando Bolivia, Perú y Ecuador, y cubriendo finalmente gran parte del territorio habitado de Colombia. Asimismo, comprende los altiplanos de Bolivia, Chile, Ecuador y Perú, amplias regiones de llanura en Argentina, Bolivia, Colombia y Paraguay, y parte de la Amazonia.

En la zona norte de la cordillera de los Andes se encuentran diferentes tipos de rocas: de origen sedimentario, no volcánico, en la cordillera Oriental de Colombia; rocas ígneas y

metamórficas en las cordilleras central de Colombia y Oriental de Ecuador, y un núcleo de granodioritas cubierto por sedimentos volcánicos de los períodos cretáceo y jurásico en las cordilleras occidentales de Colombia y Ecuador. Las montañas de las cordilleras orientales de Perú, Bolivia y Argentina están compuestas por diferentes tipos de rocas sedimentarias, mientras que la más joven región occidental de Perú y Chile, y las cordilleras principales de Argentina y Chile, tienen gruesas capas de rocas de origen volcánico. Los tipos de roca que predominan en las cordilleras occidentales de Perú y Chile, desde la región norte de Perú hasta Tierra del Fuego, incluyen granito, granodiorita, cuarzo-diorita y diorita. La región del altiplano de Bolivia y Perú está formada principalmente por sedimentos y piro clastos. De particular interés es la región norte de Chile, entre las cordilleras Occidental y principal, cubierta de sedimentos y partículas volcánicas terciarias y cuaternarias, donde se encuentran amplios depósitos superficiales de sales de cloruro, nitrato y sulfato.

La región sub andina presenta diferentes tipos de roca, incluyendo sedimentos cuaternarios en la cuenca del Orinoco (llanos orientales de Colombia), sedimentos terciarios de material fino en la cuenca amazónica (algo más gruesos en la región cercana a la cordillera de los Andes) y sedimentos de origen marino y continental en la llanura chaco-pampeana.

La pluviosidad en Suramérica refleja la dirección de los vientos y su relieve. La pluviosidad promedio anual en la desembocadura del río Amazonas supera los 3.000 mm, al igual que en la costa pacífica de Colombia, en tanto que la cuenca del río Amazonas hacia los Andes, el sur de Chile, y algunas regiones al sur de Brasil, superan los 2.500 mm. Casi todo el resto del territorio de los países analizados tiene una pluviosidad promedio anual superior a 1.000 mm, con excepción del desierto de Atacama en Chile y las regiones occidentales de Bolivia y Perú, con menos de 250 mm anuales, y una pequeña región al norte de Colombia, donde se presentan entre 250 y 1.000 mm anuales de lluvia. Cabe destacar la alta pluviosidad que se registra particularmente en el departamento de Chocó, en Colombia, la cual puede superar los 9.000 mm anuales.

En razón de la gran extensión del territorio en cuestión y su ubicación desde la zona tropical del Ecuador terrestre hasta la zona polar del sur, la necesidad de disponer de vías de comunicación terrestre se presenta en una gran variedad de climas y condiciones ambientales, incluyendo zonas desérticas, regiones de alta montaña, amplias llanuras, zonas selváticas y de alta precipitación, donde las condiciones de soporte y los materiales disponibles para la construcción de caminos tienen características particulares y diversas, incidiendo de manera notable en la provisión y el mantenimiento de la infraestructura vial.

Esta gran diversidad en clima, topografía y condiciones de materiales rocosos, presentes en los países de la región, ha dado lugar a una muy variada gama de soluciones para el mejoramiento de los caminos de BVT, cuando éstos se intervienen a partir de una condición inicial en tierra o en grava.

Población y aspectos socioeconómicos

La población de los países objeto de análisis se encuentra distribuida en un amplio territorio; en general, más del 50% de la población de cada país se concentra en asentamientos urbanos, siendo Argentina y Chile los países que presentan una mayor incidencia de este fenómeno (89 y 86% del total de la población, respectivamente, concentrados en zonas urbanas).

En la mayoría de los países de la región, la proporción de población con altos niveles de pobreza o las elevadas tasas de desempleo podrían contribuir a sustentar la implementación de algunas técnicas de conservación de la infraestructura vial con altos componentes de mano de obra, que ya se utilizan con reconocida eficacia en la modalidad de microempresas o cooperativas, para mantener en condiciones aceptables de transitabilidad los caminos y, muy posiblemente, mejorando la calidad de vida de la población residente en las zonas de influencia de los proyectos que se realicen. Vale la pena señalar que aunque es posible que en algunos casos concretos la mano de obra pueda emplearse no sólo en actividades de conservación sino también en actividades de construcción de diferentes técnicas de mejoramiento vial, en la mayor parte de los casos los niveles de homogeneidad necesarios en los procesos constructivos para el desempeño satisfactorio de la vía no pueden alcanzarse de modo artesanal; por este motivo, y con el valor agregado de generar una fuente de empleo estable en el tiempo, es factible que la disponibilidad de mano de obra local se use preferiblemente para la ejecución de actividades de conservación y mantenimiento rutinario (p. e., limpieza de drenajes, corte y poda de vegetación, mantenimiento de señalización, etc.), absolutamente necesarias para garantizar la vida útil de cualquier solución de mejoramiento vial.

Algunos indicadores de extensión territorial, sociales y demográficos de los países objeto del estudio se incluyen más adelante (ver Cuadro 1).

CUADRO I. TERRITORIO, POBLACIÓN Y SITUACIÓN SOCIAL

País	Población					Empleo Tasa desempleo (%)	Pobreza		
	Territorio km ²	Total (millones de habitantes)	Urbana (%)	Rural (%)	Lugar de mayor concentración de población		Total (%)	Urbana (%)	Rural (%)
Argentina	2.700.000	40,10	89,00	11,00	Llanura pampeana (77%)	8,80	N.D.	13,90	N.D.
Bolivia	1.098.581	10,20	65,00	35,00	La Paz, Santa Cruz, Cochabamba (>70%)	7,70	62,70	47,00	81,70
Chile	756.102	16,60	86,00	14,00	Región metropolitana de Santiago	10,80	13,70	N.D.	N.D.
Colombia	1.141.748	45,50	74,00	26,00	Región andina y costa caribe (aprox. 93%)	12,60	46,00	30,70	65,20
Ecuador	283.600	14,00	65,00	35,00	Región andina y costa pacífica (aprox. 95%)	8,30	35,00	23,00	58,00
Paraguay	406.752	6,80	56,70	43,30	Región oriental (aprox. 97%)	5,70	37,90	33,70	48,80
Perú	1.285.216	28,20	76,00	24,00	Costa Pacífica y región andina (aprox. 87%)	7,91	36,20	23,50	59,80

1. Tasa de desempleo en Lima Metropolitana para el último trimestre de 2009 (Instituto Nacional de Estadística e Informática). N.D.: no disponible.

Las actividades económicas relacionadas con la agroindustria, la minería y la industria petrolera son, quizás, las que más contribuyen a las economías de los países objeto del estudio. El estado de desarrollo de Chile y Argentina contrasta con el del resto de países, especialmente con Bolivia y Paraguay, quizá las naciones con los indicadores macroeconómicos más desfavorables. Es de esperar que la crisis económica global del año 2009 incida de modo negativo en las economías de la región en los próximos años, posiblemente más en unas que en otras. En momentos difíciles como los que atraviesa la economía mundial, la capacidad de ser competitivo puede ser la diferencia entre asumir las situaciones adversas que se presenten como limitaciones y obstáculos o como oportunidades para el desarrollo. Teniendo en cuenta que las actividades agroindustriales son fundamentales en los países en cuestión, el establecimiento y la implementación de estrategias y programas de mejoramiento y conservación de vías de bajos volúmenes de tránsito es imperativo. Algunos indicadores económicos de los países objeto de estudio se incluyen en este documento (ver Cuadro 2).

CUADRO 2. INDICADORES ECONÓMICOS DE LOS PAÍSES OBJETO DE ESTUDIO

País	PIB ¹					INB ² per cápita (USD) PPP ³	Principales actividades económicas
	PIB (USD × 10 ⁹) Precios corrientes	Crecimiento del PIB (%)					
		2000	2005	2007	2008		
Argentina	328,38	-0,8	9,2	8,7	7,0	14.020	Agroindustria, industria manufacturera
Bolivia ⁴	16,58	2,5	4,4	4,6	6,2	4.140	Minería, petróleo, gas
Chile	169,46	4,5	5,6	4,7	3,2	13.270	Minería (cobre), agroindustria
Colombia	242,27	2,9	5,7	7,5	2,5	8.510	Petróleo, minería, agroindustria
Ecuador	52,57	2,8	6,0	2,5	6,5	7.760	Petróleo, agroindustria
Paraguay	15,98	-3,3	2,9	6,8	5,8	4.820	Agroindustria
Perú	127,43	3,0	6,8	8,9	9,8	7.980	Minería

1. Datos oficiales obtenidos del *World Development Indicators Database* del Banco Mundial, actualizados en septiembre de 2009.

2. INB: Ingreso Nacional Bruto (GNI: *Gross National Income*).

3. PPP: *Purchase Parity Index*.

4. Datos oficiales del PIB obtenidos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Infraestructura vial en los países

El desarrollo de la infraestructura vial está directamente relacionado con la distribución espacial de la población, así como con el avance económico y social de las regiones en los diferentes países. En las zonas donde se concentra mayor población se genera un mayor tránsito vehicular y, en consecuencia, se han construido grandes autopistas y carreteras que constituyen parte de la red vial primaria de los países. Igualmente, las redes viales secundarias y terciarias son, en su mayoría, de bajos volúmenes de tránsito y, por lo general, sirven para comunicar e integrar las distintas regiones.

El desarrollo vial en cada país es heterogéneo y lo mismo ocurre si se hace la comparación entre países (Cuadro 3).

La densidad vial, definida como la relación de la longitud de vías en metros por kilómetro cuadrado de territorio (m/km^2), es baja para todos los países analizados, lo cual es explicable en parte por su gran extensión territorial, aunque es importante resaltar la gran diferencia de este indicador con países desarrollados (como Alemania y Francia). La longitud total de vías en kilómetros por millón de habitantes y de longitud de vías pavimentadas por millón de habitantes muestra también diferencias significativas entre Argentina y Chile, en relación con los demás países. Cabe señalar que aunque estos dos países están de alguna manera mejor ubicados que sus contrapartes suramericanas, existe un gran camino por recorrer para llegar a los niveles encontrados en países considerados como plenamente desarrollados.

CUADRO 3. INDICADORES ECONÓMICOS DE LOS PAÍSES OBJETO DE ESTUDIO

País	Territorio (km^2)	Población (millones de habitantes)	Longitud total de vías (km)	Longitud de vías pavimentadas (km)	Densidad vial longitud/ territorio (m/km^2)	Longitud total vías/población (km/millón de habitantes)	Longitud de vías pavimentadas/población (km/millón de habitantes)
Argentina	2.700.000	40,1	230.137	72.047	85	5.739	1.797
Bolivia	1.098.581	10,2	67.440	4.757	61	6.612	466
Chile	756.102	16,6	80.528	17.269	107	4.851	1.040
Colombia	1.109.104	45,5	164.183	24.639	148	3.608	542
Ecuador	276.841	14,0	43.670	6.420	158	3.119	459
Paraguay	397.302	6,8	60.000	4.507	151	8.824	663
Perú	1.279.996	28,2	84.744	10.190	66	3.005	361
<i>Alemania</i>	<i>357.022</i>	<i>82,3</i>	<i>644.480</i>	<i>644.480</i>	<i>1.805</i>	<i>7.831</i>	<i>7.831</i>
<i>Francia</i>	<i>549.970</i>	<i>64,1</i>	<i>951.500</i>	<i>951.500</i>	<i>1.730</i>	<i>14.844</i>	<i>14.844</i>
<i>Haití</i>	<i>27.750</i>	<i>9,0</i>	<i>4.160</i>	<i>1.011</i>	<i>150</i>	<i>462</i>	<i>112</i>
<i>Afganistán</i>	<i>652.230</i>	<i>28,4</i>	<i>42.150</i>	<i>12.350</i>	<i>65</i>	<i>1.484</i>	<i>435</i>

Fuente: CIA *World Fact Book*. Actualizado en febrero de 2010 (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>).

En general, la red vial total de los países analizados se encuentra dividida en una red principal (denominada también básica, nacional, estatal o fundamental) y en una red, por lo regular más extensa, caracterizada como “no principal”, compuesta por un conjunto de caminos que forman las redes secundaria y terciaria (identificadas en algunos países como red provincial, departamental o regional, y como red municipal, cantonal, rural o vecinal, respectivamente).

Al observar la distribución general de la red vial de los países analizados, según su jerarquía (ver Gráfico 1, p.24) es evidente que en todos, la mayor parte de las vías pertenecen principalmente a las redes secundaria y terciaria. Vale la pena anotar que la gran mayoría de las vías pertenecientes a estas redes se encuentra sin pavimentar, con una significativa proporción de caminos en tierra (ver Gráfico 2, p. 24). La distribución general de las vías, según su jerarquía y tipo de superficie, para cada uno de los países incluidos en el estudio se puede apreciar en el Cuadro 4 (ver p. 25).

Organización institucional, recursos económicos y aspectos operativos para la gestión vial

ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL

Generalmente, la organización institucional para la administración de la red vial total de cada país depende y está conformada de acuerdo con la estructura organizativa del Estado. En los países objeto de este análisis existen dos sistemas de organización para la gestión de sus respectivas redes viales: sistema centralizado y sistema descentralizado.

En el sistema centralizado, una sola entidad vial nacional administra la red. Es éste el caso de Paraguay, donde el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones es responsable de toda la red vial del país, y el caso de Chile, donde el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección Nacional de Vialidad y de las Direcciones de Vialidad Regionales, se encarga de la administración de toda la red de carreteras.

En el sistema descentralizado, cierto tipo de redes viales se ponen bajo la jurisdicción de un determinado nivel de gobierno para que éste se responsabilice de su administración en lo que se refiere a planificación, gestión, ejecución y operación vial. El caso más frecuente es aquel en el cual la red vial nacional o primaria está a cargo de un organismo gubernamental del orden nacional; la red vial secundaria es responsabilidad del segundo nivel de gobierno, que corresponde a provincias, regiones o departamentos (según la organización política de cada país), y la red vial terciaria, vecinal o rural, está a cargo del tercer nivel de gobierno (municipio, distrito, cantón o provincia, según la estructura estatal de cada país). El sistema descentralizado se utiliza en Argentina, Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú.

En los sistemas descentralizados es conveniente contar con un ente centralizado para promover políticas, gestionar recursos, estructurar planes y programas generales, unificar criterios de diseño, elaborar normas y especificaciones, estandarizar la calidad de las obras, controlar, en parte, y efectuar seguimiento para el uso eficiente de los recursos. En algunos, quizá sea conveniente atender la construcción, reconstrucción y rehabilitación de algunas vías. En cualquier caso, es recomendable que las entidades gubernamentales del segundo y tercer nivel de gobierno atiendan la conservación de los caminos por estar más cerca para identificar y resolver los problemas que se presenten.

RECURSOS ECONÓMICOS PARA LA GESTIÓN VIAL

La escasez o insuficiencia de los recursos económicos ha sido frecuentemente uno de los principales obstáculos para garantizar la adecuada circulación vehicular en los caminos de bajos volúmenes de tránsito en estos países. Tal limitación de recursos es, por supuesto, una consecuencia de la indefinición de políticas y de planes gubernamentales para atender dichos

GRÁFICO 1.
DISTRIBUCIÓN DE LA RED VIAL DE LOS PAÍSES ANALIZADOS, SEGÚN SU JERARQUÍA
(Longitud de vías (x 1.000 km))

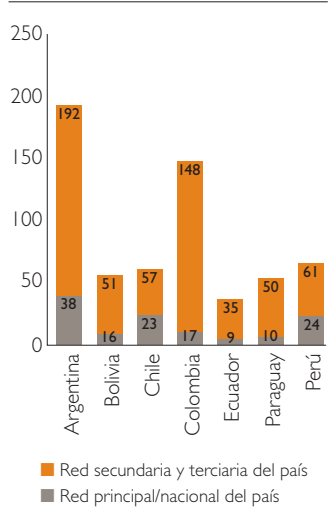
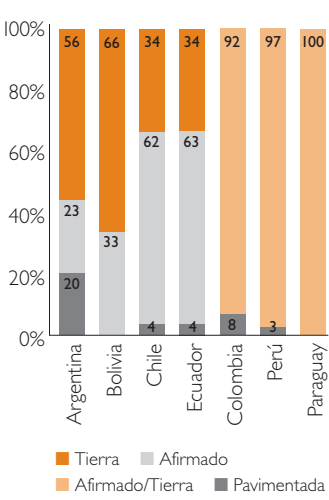


GRÁFICO 2.
PORCENTAJE DE LA RED VIAL SECUNDARIA Y TERCIARIA, SEGÚN SU TIPO DE SUPERFICIE



caminos. Sin embargo, hay varios programas en ejecución que se orientan a mejorar la transitabilidad de las vías secundarias y terciarias.

En general, las fuentes de recursos para invertir en los caminos de BVT provienen del tesoro nacional, de crédito externo, de regalías por explotación de petróleo, gas o minerales y, además, de los aportes de la comunidad.

En algunos presupuestos nacionales se incluyen partidas para vías terciarias, como es el caso del Instituto Nacional de Vías de Colombia y la Dirección Nacional de Vialidad de Chile. Por otra parte, la transitabilidad de los caminos se logra, en cierta forma, con recursos de presupuestos departamentales, provinciales o regionales, así como con partidas incluidas en los presupuestos municipales.

Los créditos externos y el apoyo institucional, en particular del Banco Mundial (BM), del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y de CAF, han sido elementos claves para diseñar e implementar diferentes programas en algunos de los países de la región. En los próximos años se espera seguir contando con el apoyo económico de los organismos internacionales.

Las comunidades, al igual que algunas organizaciones gremiales de agricultores y de la industria de explotación mineral, también han venido contribuyendo con recursos para la reparación y mantenimiento de caminos de BVT. Sobre el particular, es de mencionar que los dineros provenientes de regalías por la explotación de petróleo, gas y minerales son muy importantes para algunas regiones, provincias o departamentos donde éstos se extraen, y son la base para la construcción, mejoramiento y conservación de la infraestructura vial.

La sostenibilidad financiera que garantice los recursos requeridos para atender la transitabilidad de los caminos de bajos volúmenes de tránsito no está garantizada a mediano y largo plazos, porque en la mayor parte de los países analizados depende de recursos de crédito externo, y con excepción quizá de Chile, no hay fuentes de recursos propios o mecanismos de financiamiento con tal propósito. Un caso para destacar es el de Bolivia, donde la Administradora Boliviana de Carreteras ha establecido una Cuenta Nacional de Carreteras con recursos provenientes de los peajes y de los impuestos a los hidrocarburos, que permite garantizar la conservación rutinaria con microempresas en la mayor parte de la Red Vial Fundamental.

ASPECTOS OPERATIVOS DE LA GESTIÓN VIAL

Las modalidades operativas empleadas para ejecutar el mejoramiento y la conservación de las vías de BVT son, principalmente, la administración directa, la contratación con terceros, el establecimiento de convenios con otras instituciones y a través de la participación comunitaria voluntaria.

Políticas, planes y programas viales para las vías de BVT

En la última década se ha reconocido la importancia social y económica de las vías de BVT, motivo por el cual en algunos países se han definido políticas y planes para su mejoramiento y conservación. Al respecto, cabe destacar como pioneros los casos de Chile y Perú, aunque vale la pena mencionar también las iniciativas más recientes de Colombia, Argentina y Paraguay.

CHILE. PROGRAMA DE CAMINOS BÁSICOS

Con el propósito de mejorar la transitabilidad de las vías de bajos volúmenes de tránsito en toda temporada, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) de Chile, a través de la Dirección Nacional de Vialidad, estructuró e impulsó en el año 2003 un programa para el mejoramiento de 5.000 km de caminos no pavimentados, denominado “Programa de Caminos Básicos 5.000”.

Este programa se concibió para ejecutarlo desde el año 2003 hasta marzo de 2006, constituyendo un desarrollo que ha sido calificado como “la segunda revolución vial” en Chile, debido a que innovó la forma de hacer mantenimiento, mejorando el nivel de servicio de los caminos, reduciendo los costos para su conservación y contribuyendo a mejorar la calidad de vida, no sólo de los usuarios directos de los caminos sino también de las personas que habitan en su entorno. De acuerdo con las cifras consolidadas a mayo de 2009, dentro del programa se habían intervenido 10.000 km de vías. Es importante destacar que el cumplimiento de las metas se logra en gran medida gracias a la participación conjunta del ministerio, de los centros de investigación y el sector privado, que permitió a Chile hacer uso de nuevos materiales y nuevas tecnologías. Gran parte de los proyectos se llevaron a cabo con el empleo de tecnologías intermedias y no con el uso de mano de obra artesanal.

PERÚ. PROGRAMA DE CAMINOS RURALES (PCR)

El PROGRAMA DE CAMINOS RURALES (PCR) ha sido un programa cofinanciado por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), el BID y el gobierno del Perú, iniciado a mediados de la década de los noventa y orientado a la disminución de la pobreza y a propiciar el desarrollo en las zonas rurales, mediante la provisión de infraestructura vial, la construcción, rehabilitación o conservación de caminos vecinales o rurales y de caminos de herradura, la sostenibilidad financiera del mantenimiento, la descentralización de la gestión vial y la promoción de la participación del sector privado.

ARGENTINA. EDIVIARY PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA VIAL PROVINCIAL (PIVIP)

Aunque este programa no se creó específicamente para vías con bajos volúmenes de tránsito, hay que mencionar el Esquema Director Vial Argentino (EDIVIAR), ya que contempla pro-

puestas de soluciones técnicas a las necesidades de las distintas redes, abarcando desde el mejoramiento de las calzadas naturales hasta la construcción de autopistas. Este programa busca integrar la red vial argentina y reducir efectivamente los costos de transporte, aumentando tanto la productividad como la competitividad global y sectorial de los productos nacionales. Es de anotar que diferentes organismos de financiación multilaterales, como CAF, el BID y el BM, en algunas ocasiones condicionan sus préstamos a que los proyectos que se van a financiar se encuentren incluidos en el Ediviar.

El PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA VIAL PROVINCIAL (PIVIP), financiado mediante un préstamo del BIRF (BIRF 7301-AR), busca incrementar la eficiencia en la gestión vial provincial para mejorar la transitabilidad de las redes viales provinciales mediante la priorización económica de las necesidades de inversión, la introducción de Contratos de Rehabilitación y Mantenimiento (CREMA) en redes priorizadas económicamente, la rehabilitación de tramos de la red vial provincial —que, por sus características, no se puedan incluir en contratos CREMA, pero que son esenciales desde el punto de vista de la productividad provincial—, el incremento en la eficiencia en el uso de los recursos disponibles para el sector y el fortalecimiento institucional de las provincias participantes, para encaminar la gestión vial hacia una gestión por resultados, apoyando la preparación de nuevas provincias para su futura incorporación al programa. La ejecución de los contratos CREMA incluye intervenciones de rehabilitación (tales como obras de reconstrucción de base, reacondicionamiento de superficie o colocación de capas de concreto asfáltico) y trabajos de mantenimiento por un período de cinco años, dentro de la modalidad de contratación por resultados.

COLOMBIA. PLAN VIAL REGIONAL, PLAN VÍAS PARA LA PAZ, PLAN 2500 Y PROGRAMA DE MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE VÍAS TERCIARIAS

En los últimos años se han venido desarrollando en Colombia varios programas para el mejoramiento y la conservación de las vías de bajos volúmenes de tránsito, incluyendo el Plan Vial Regional, el Plan Vías para la Paz, el Plan 2.500 y el Programa de Mejoramiento y Conservación de Vías Terciarias.

El Plan Vial Regional, con la coordinación del Ministerio de Transporte, tiene por objeto apoyar y fortalecer a los gobiernos departamentales para mejorar la red vial secundaria a su cargo, brindando apoyo técnico e institucional, así como facilidad de acceso a crédito externo, con garantía soberana de la nación, para financiar las actividades sobre la red vial departamental. Las fuentes de financiación incluyen créditos con la banca multilateral, recursos propios de las entidades territoriales, cobros de aportes por valorización, sobretasa a los combustibles, regalías y recursos obtenidos a través de peajes, por mencionar algunas. Adicionalmente, el plan contempla la financiación de proyectos de cooperación técnica, por lo regular con organizaciones internacionales de cooperación, como por ejemplo la Agencia de Cooperación Alemana (GTZ, por su sigla en alemán).

De acuerdo con datos de la Oficina de Planeación del Ministerio de Transporte de Colombia, a principios de la década actual se estableció que era necesaria la pavimentación de aproximadamente 5.000 kilómetros de vías. A finales del año 2004, programas como el denominado “Corredores de Mantenimiento Integral”, donde se entregaron alrededor de 700 km de vías, y una fase inicial de reactivación de las concesiones viales, en la que se entregaron otros 700 km, sirvieron para reducir este déficit en 1.400 km. Adicionalmente, el programa Vías para la Paz, cofinanciado por el gobierno nacional de Colombia y CAF, entregó 1.100 km, dando como resultado un parcial ejecutado de 2.500 km.

Con los propósitos simultáneos de eliminar este déficit y consolidar la red vial interna, el gobierno nacional estructuró el Programa de Infraestructura Vial para el Desarrollo Regional, conocido como el Plan 2500, para pavimentar 2.500 km de vías de orden primario, secundario y terciario, distribuidas en 31 departamentos del territorio nacional, con la finalidad de facilitar la accesibilidad y conectividad a las regiones apartadas, contribuyendo con el desarrollo y la integración regional, y mejorando la competitividad de los sectores de la economía que dependen de la infraestructura de transporte terrestre. Para llevar a cabo este programa, la nación gestionó recursos por COP 2.500.000 millones (USD 1.250 millones).

El PROGRAMA DE MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE VÍAS TERCIARIAS es un programa que se inició en el 2009 con el liderazgo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP), para generar empleo de mano de obra no calificada a través del mejoramiento y la conservación de los caminos a cargo de los municipios. En este programa, el MHCP otorga a cada municipio un crédito hasta por COP 120 millones (USD 60.000) para realizar intervenciones en las vías municipales, condenable si las intervenciones se hacen con eficacia.

PARAGUAY. PROGRAMA NACIONAL DE CAMINOS RURALES

Durante los últimos cinco años, la recuperación y el mantenimiento de los caminos vecinales se han venido realizando por medio del Programa Nacional de Caminos Rurales, mediante el cual se ejecutan obras iniciales de construcción y se atiende el mantenimiento durante un período de tiempo establecido. El programa lo ha venido ejecutando el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) a través de la Dirección de Caminos Vecinales (DCV) por medio del Plan de Gestión de Mantenimiento (PGM), y ha contado con recursos de crédito del BID.

Una de las principales innovaciones en la gestión del mantenimiento vial del PGM es la utilización de la modalidad denominada por niveles de servicio, definidos como medidas referenciales o estándares de las buenas características físicas y operativas que debe presentar una vía, como consecuencia de una adecuada recuperación y un buen mantenimiento. Dichos estándares sólo son aceptables si cumplen con los requisitos mínimos que se han establecido previamente. En general, los estándares se utilizan para garantizar ciertas condiciones de la vía en cuanto a transitabilidad, seguridad, comodidad y economía para los usuarios.

Experiencias técnicas de los países en el manejo de vías de BVT

En general, dentro de los países objeto del estudio se utilizan diferentes técnicas para el mejoramiento y la conservación de las vías de BVT. En Argentina, Chile y en ciertas zonas de Perú, por ejemplo, las condiciones climáticas y ambientales particulares de ciertas regiones permiten la utilización de tecnologías que no son viables en otras regiones, limitando la aplicabilidad de algunas soluciones a condiciones muy particulares a nivel local.

Adicionalmente, la falta de normatividad y de experiencia en el uso de cierto tipo de técnicas, o el pleno desconocimiento de su existencia, hace que su aplicación no sea generalizada y que se dé preferencia, en múltiples ocasiones, a técnicas tradicionales como la colocación periódica de material granular, y algunas veces, a la colocación de capas de hormigón asfáltico. Por otra parte, las técnicas de mejoramiento y conservación usadas con frecuencia a nivel local, y que a juicio de los interesados cumplen satisfactoriamente su función, son reproducidas en una mayor proporción en sus zonas de influencia (p. e., el empleo de empedrados en Paraguay y las placas-huellas en Colombia).

Las técnicas de mejoramiento y conservación utilizadas con relativa frecuencia en los países analizados se pueden ver más adelante (ver Cuadro 5).

NORMATIVA

La mayoría de los países objeto del estudio poseen una normatividad relativamente bien establecida para todas las actividades relacionadas con obras de infraestructura vial. Aunque muchas de las normas existentes no están orientadas necesariamente a la problemática de las vías con bajos volúmenes de tránsito, existen iniciativas interesantes que tratan estos caminos de manera específica. Algunos documentos guía para trabajos relativos a vías de bajos volúmenes de tránsito se han publicado en Argentina, Chile, Colombia, Ecuador y Perú, aunque en algunos casos estos documentos no se han actualizado desde hace más de una década.

Argentina

En lo referente a los aspectos normativos, la Dirección Nacional de Vialidad es la entidad encargada de proponer normas técnicas y legales tendientes a unificar y simplificar la gestión vial, e instrumentar el marco regulatorio sobre las acciones, obras y operaciones para garantizar al usuario seguridad, economía y confort.

El INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (IRAM-20) fija normas de ensayo de materiales que se van a utilizar en diferentes aplicaciones, entre ellas las normas viales. Las especificaciones particulares de los proyectos establecen esta normatividad para la realización de los ensayos de control y aseguramiento de la calidad en diferentes proyectos. Dentro de la normatividad ambiental para proyectos relacionados con la infraestructura del

**CUADRO 5. TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN USUALES
EN LOS PAÍSES OBJETO DE ESTUDIO**

País	Técnicas utilizadas con mayor frecuencia
Argentina	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilizaciones de material granular con cal, cemento y asfalto. • Aplicación de sales o cloruros para estabilización de material granular o como supresor de polvo. • Estabilización de conglomerados calcáreos con material asfáltico. • Tratamientos superficiales tradicionales.
Bolivia	<ul style="list-style-type: none"> • Material granular: enripiado. • Empedrados.
Chile	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de sales o cloruros para estabilización de material granular o como supresor de polvo. • Sellos asfálticos o tratamientos superficiales. <ul style="list-style-type: none"> Tratamientos superficiales tradicionales (TSD,TSS). Tratamientos superficiales no tradicionales (sello de Otta, sello del Cabo). • Estabilización química del suelo disponible.
Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Placa-huella. • Material granular: afirmados. • Estabilización química del suelo disponible. • Utilización de asfaltos naturales. • Empedrados.
Ecuador	<ul style="list-style-type: none"> • Empedrados. • Tratamientos superficiales tradicionales (TSD,TSS). • Colocación de material grueso (rajón). • Material granular: lastrado. • Estabilización química con cal o cemento.
Paraguay	<ul style="list-style-type: none"> • Empedrado. • Material granular: enripiado. • Tratamientos superficiales. • Mejoramiento de suelos mediante estabilización química con cemento o cal.
Perú	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilización de suelos con cemento. • Tratamientos superficiales tradicionales. • Sellos con lechadas asfálticas (slurry seal). • En la actualidad se proponen otras formas de sello asfáltico experimentadas con éxito en otras latitudes, como los sellos del Cabo y de Otta.

Fuente: elaboración propia.

transporte, la Dirección Nacional de Vialidad provee el Manual de evaluación y gestión ambiental de obras viales.

En lo relativo a vías con bajos volúmenes de tránsito, la región litoral argentina cuenta con un Manual de diseño para bajos volúmenes de tránsito, en el que se presenta un procedimiento de diseño para calles y caminos de bajos volúmenes de tránsito, basado en las condiciones del suelo, el tránsito y las características de drenaje. Está fundamentado en desarrollos del Laboratorio Vial del Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras de la Universidad Nacional de Rosario.

Chile

Los trabajos relacionados con la vialidad de Chile están regidos técnicamente por el Manual de carreteras de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. Este manual constituye un conjunto documental normativo, cuyo propósito es establecer y uniformizar procedimientos y servir de guía a profesionales y técnicos en las principales áreas que desarrolla la vialidad (planificación, diseño, construcción, conservación, operación de las carreteras y caminos nacionales, seguridad vial y protección ambiental).

La Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas ha encargado diversos estudios de investigación y desarrollo de normas en materia de infraestructura vial, dentro de los que se destaca la Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito, la cual se viene aplicando desde el año 2002.

Muchos aspectos relacionados con la normatividad vial, específicamente con los procesos de control de calidad, con la actualización y la difusión de las especificaciones, los métodos de muestreo y ensayo y con el desarrollo de nuevas tecnologías, se han efectuado y apoyado gracias a investigaciones llevadas a cabo en el Laboratorio Nacional de Vialidad, que tiene la responsabilidad de revisar proyectos y estudios de ingeniería y de mantener vigentes los métodos de diseño de pavimentos.

Colombia

Las características de los materiales utilizados para la construcción de carreteras con fondos públicos están regidas por las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). A través de esta normatividad, el gobierno nacional define la forma en la que se deben ejecutar las actividades relacionadas con los trabajos en los proyectos viales, incluyendo criterios sobre calidad de los materiales, control de calidad, aceptación y pago, etc.

A nivel local, algunas administraciones han fijado normas y especificaciones que se aplican exclusivamente a trabajos ejecutados con fondos municipales, las cuales son, en algunas ocasiones, más exigentes que las establecidas por el gobierno nacional.

El Distrito Capital de Bogotá cuenta con unas Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público en Bogotá, D.C., por las que se deben regir los trabajos realizados en la ciudad.

En Colombia se han hecho algunos trabajos técnicos para la uniformización de los aspectos relacionados con las vías de bajo tránsito, como por ejemplo el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, publicado por el Invías en el año 1997, versión de la cual se realizó edición actualizada en el 2007. Las normas de ensayo y las especificaciones de construcción recomendadas en este manual son las mismas establecidas para todos los proyectos viales a niveles nacionales relacionados con el Invías, aunque es importante recalcar que aplican exclusivamente las correspondientes a un bajo nivel de tránsito.

Ecuador

Los trabajos relacionados con la construcción de vías en el Ecuador están regidos por las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, mientras que los ensayos de control de calidad de los materiales utilizados en este tipo de proyectos se ejecutan de acuerdo con normas de ensayo fijadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Las especificaciones mencionadas anteriormente establecen que cuando el ensayo prescrito no se encuentra reglamentado por el INEN, se deben seguir los protocolos de ensayo relevantes definidos por la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Por medio de esta normativa, el gobierno de Ecuador determina la forma en la que las actividades relacionadas con los trabajos en los proyectos viales deben ejecutarse, incluyendo criterios de aceptación y pagos, calidad de los materiales, control de calidad, etc.

Para el diseño y construcción de caminos con bajos volúmenes de tránsito, generalmente pertenecientes a las redes provincial y cantonal, se utiliza como guía el Manual de diseño de caminos vecinales, publicado en 1985 por el entonces Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Ecuador, como resultado de un programa de asistencia técnica para caminos vecinales. En este manual se incluyen temas relacionados con los aspectos geométricos, con el análisis de tránsito, con las características de soporte de la estructura y de los materiales que se van a usar en su construcción, con alternativas de estabilización de suelos, con la metodología de dimensionamiento estructural, con el diseño hidráulico y de obras de drenaje, y con la estimación de costos. En la actualidad, las recomendaciones de esta guía se complementan con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, sobre todo en lo que se refiere a las prácticas constructivas y a los estándares de calidad de los materiales. Adicionalmente, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas cuenta con un Manual de mantenimiento vial. Cabe recalcar que dicho manual no es de uso específico para caminos de bajos volúmenes de tránsito, y data de 1979.

Perú

El MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC) del Perú promovió una serie de estudios y publicaciones sobre normatividad relacionada con el sector vial, entre los que se destacan el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, el Reglamento de Jerarquización Vial, la actualización del Clasificador de Rutas del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), el Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, el Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, el Manual de especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, el Manual para la conservación de caminos de bajo volumen de tránsito, el Manual de diseño de caminos pavimentados de bajo volumen de tránsito, y las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras. Estos documentos se adoptaron en 2008.

Entre los documentos relacionados con bajos volúmenes de tránsito se contemplan los criterios de diseño para vías pavimentadas y no pavimentadas, criterios de uniformidad y consistencia en partidas de uso frecuente en este tipo de proyectos, y criterios para su conservación y mantenimiento, entre otros.

El conocimiento y la experiencia del Perú, como lecciones aprendidas para generar soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento y conservación de vías con bajos volúmenes de tránsito (BVT) son valiosos en muy variados aspectos, entre los que se destacan el interés por reglamentar y documentar la construcción, la conservación y el mejoramiento de carreteras, lo que se evidencia en el volumen importante de reglamentos, manuales, guías y especificaciones relacionados con la infraestructura vial, específicos para las vías de BVT. Igualmente, se percibe en los últimos años un notable impulso para el desarrollo de innovaciones tecnológicas en los programas de conservación vial y esfuerzos importantes para efectuar cambios de los caminos rurales y departamentales afirmados hacia otros estándares tecnológicos.

Normativa ambiental aplicable a las vías de BVT

En general, todos los países objeto del estudio consideran los mismos temas que deben tomarse en cuenta en un estudio ambiental para una obra de infraestructura vial, y aspectos como los físicos (agua, suelo y aire), bióticos (flora y fauna) y sociales, los trata cada entidad responsable con mayor o menor grado de profundidad. Vale la pena señalar que, salvo Perú y parcialmente Chile, ningún país contempla reglas ambientales para las vías en función del volumen de tránsito a las que puedan estar sometidas.

Algunas particularidades de Argentina, Chile, Colombia y Ecuador se mencionan a continuación:

Del Mega (Argentina) se destaca la sección dedicada al control de especies invasoras. Es, de todos los manuales consultados, el único que contiene recomendaciones en tal sentido, siendo éste un tema de gran interés, en especial si se enfoca hacia las vías de bajo volumen de tránsito, ya que en ellas es muy factible encontrar lugares donde el potencial de invasión vegetal y animal puede ser importante.

En Chile se consideran en forma clara las acciones y actividades de carácter ambiental para el mejoramiento y rehabilitación de vías, consideradas complemento de las actividades generales de construcción de un proyecto vial. Específicamente para vías de BVT se ha publicado el texto Guía para caminos básicos, aunque su alcance en el aspecto ambiental es muy limitado.

El INVÍAS (Colombia) ha considerado implementar un Programa de Adaptación de las Guías Ambientales (PAGA), cuyo objetivo es ajustar las recomendaciones y exigencias a la dimensión y características propias de cada proyecto. Esta adaptación se convierte, luego de su aprobación oficial, en un documento de obligatorio cumplimiento. Dicha flexibilidad es una característica muy interesante, pues al tener en cuenta las condiciones específicas de cada proyecto y su ubicación permite la ejecución de las actividades de una manera más eficiente, ya que se encuentran diseñadas especial y específicamente, evitando el desperdicio de recursos en la ejecución de actividades estipuladas en un manual general que posiblemente sean innecesarias.

En el caso de Ecuador se destacan, dentro de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, consideraciones sobre el manejo de explosivos como material de excavación. Además de las condiciones de orden técnico general, se encuentran apartes de los aspectos ambientales.

Síntesis

En razón de la gran extensión del territorio en cuestión y su ubicación desde la zona tropical del Ecuador hasta la zona polar del sur, la necesidad de disponer de vías de comunicación terrestre se presenta en una gran variedad de climas y condiciones ambientales, incluyendo zonas desérticas, regiones de alta montaña, amplias llanuras, zonas selváticas y de alta precipitación, donde las condiciones de soporte y los materiales disponibles para la construcción de caminos tienen características particulares y diversas, incidiendo de modo notable en la provisión y el mantenimiento de la infraestructura vial.

Esta diversidad se hace aún más relevante si se tiene en cuenta que la gran mayoría de los caminos pertenecientes a las redes secundaria y terciaria se halla en la actualidad en grava o en tierra, haciendo imperativa la implementación de soluciones de movilidad que sean permanentes y de mejor calidad, y que se ajusten a las condiciones particulares de cada país. Es importante anotar que la disponibilidad de mano de obra podría sustentar la implementación de algunas técnicas de conservación de la infraestructura vial con altos componentes de utilización de personal, preferiblemente para la ejecución de actividades de mantenimiento y conservación rutinaria de los caminos (p. e., limpieza de drenajes, rocería, mantenimiento de señalización, etc.), absolutamente necesarias para garantizar la vida útil de cualquier solución de mejoramiento vial. De esta manera es factible no sólo garantizar las condiciones de accesibilidad y transitabilidad de las regiones particulares, sino también generar fuentes de empleo estables en el tiempo.

Por lo regular, la organización institucional para la administración de la red vial total de cada país está conformada de acuerdo con la estructura organizativa del Estado, con un sistema eminentemente centralizado en algunos países, y descentralizado en otros. Prácticamente todos los países han reconocido la importancia social y económica de las vías de bajos volúmenes de tránsito, motivo por el cual en algunos de ellos se han definido políticas y planes para su mejoramiento y conservación. Al respecto, vale la pena destacar como pioneros los casos de Chile y Perú, aunque también merecen mención especial las iniciativas más recientes de Argentina, Colombia y Paraguay.

La mayor parte de los países objeto del estudio poseen una normatividad relativamente bien establecida para todas las actividades relacionadas con obras de infraestructura vial. Aunque la mayoría de las normas existentes no están dirigidas necesariamente a la problemática de las vías con bajos volúmenes de tránsito, existen iniciativas interesantes que tratan estos caminos de manera específica. Algunos documentos guía para trabajos relacionados con vías de bajos volúmenes de tránsito se han publicado en Argentina, Chile, Colombia, Ecuador y Perú, aunque en algunos casos estos documentos no se han actualizado desde hace más de una década.

En general, todos los países utilizan técnicas de mejoramiento de caminos de BVT que se han empleado tradicionalmente en diferentes partes del mundo con efectividad, incluyendo las estabilizaciones con cemento o cal, y los tratamientos superficiales bituminosos. Algunos países, sin embargo, han usado soluciones un poco menos conocidas, como sales y cloruros para la supresión de polvo en Chile, los empedrados en Bolivia, Colombia, Ecuador, Paraguay y Perú, y la utilización de asfaltos naturales en Colombia, por mencionar algunos. En general, no se identificaron planes formales, estructurados y estables en el tiempo para el seguimiento del desempeño de las técnicas de mejoramiento implementadas, lo que dificulta, en gran

medida, la potencial identificación de los factores que afectan la vida útil de las soluciones.

Teniendo en cuenta el contexto socioeconómico general de los países analizados, existen tres preguntas estratégicas, relacionadas con las técnicas que se deberían utilizar o incentivar para la construcción de caminos de bajo volumen de tránsito, que vale la pena considerar: ¿se debería incentivar el uso de mano de obra artesanal e intensiva, haciendo hincapié en el empleo de materiales locales?, ¿se debería fortalecer el desarrollo de técnicas tradicionales y conocidas internacionalmente, de modo tal que se pueda asegurar calidad, eficiencia y efectividad de los proyectos? y finalmente, pero no menos importante, ¿se debería buscar la innovación de manera que se puedan hallar técnicas más económicas o de mayor durabilidad? Estas tres preguntas deben analizarse en un contexto amplio, estudiando los conceptos que puedan incidir en su respuesta, incluyendo ventajas y desventajas, sustentabilidad, etc. Algunos de estos conceptos se discuten en las siguientes secciones.

PRÁCTICAS DE MEJORAMIENTO DE CAMINOS DE BVT

Además de las técnicas existentes en los países de la región para el mejoramiento de caminos de BVT cuya superficie se encuentra en tierra o grava, es fundamental identificar otras que, aunque a veces no se emplean necesariamente de manera generalizada en los países analizados, se han identificado como alternativas de mejoramiento viables y exitosas en otros lugares, y que podrían ser útiles y de relativa fácil implementación para las condiciones particulares de cada país. Algunas de estas alternativas pueden ser innovadoras desde el punto de vista de la tecnología utilizada para su aplicación, o por el tipo de materiales usados. Desde esta perspectiva, y teniendo en cuenta que la disponibilidad de materiales es en muchas ocasiones un problema mayor, es importante mencionar aspectos relacionados con la utilización de materiales no estándar, y cómo puede implementarse su uso en el contexto de las vías de BVT.

Cabe señalar que aparte de los aspectos puramente técnicos, el éxito de cualquier técnica de mejoramiento utilizada depende de que se consideren otros factores, relacionados éstos con el entorno de la carretera (naturales, operacionales, y otros), si se desea que las mejoras hechas sean sostenibles y que tengan rendimientos económicos favorables. Algunas recomendaciones para la consideración de este tipo de factores se discutirán en detalle en las Recomendaciones generales para la selección de técnicas de mejoramiento.

Alternativas de mejoramiento

La acepción que se da al término mejoramiento en este documento se refiere a la implementación de soluciones de ingeniería diferentes de las que se usaron en la construcción original del camino. En particular, el mejoramiento está orientado a incrementar el estándar funcional de la superficie de rodadura existente, incluyendo las actividades necesarias para adecuar previamente la capacidad estructural del pavimento, cuando éste lo requiere. Desde esta perspectiva, las intervenciones de mejoramiento pueden ser de tipo funcional, cuando no contribuyen al mejoramiento de la capacidad estructural del camino, o de tipo estructural, cuando su objetivo primordial es aumentar la capacidad del camino de soportar las cargas del tránsito.

Dependiendo de las condiciones del camino, la selección de la técnica o técnicas de mejoramiento estará sujeta a la problemática específica que impide que se alcancen los estándares de transitabilidad y nivel de servicio deseados; si los problemas son producidos por la incapacidad del camino para soportar las cargas del tránsito, habrá que aplicar técnicas de mejoramiento que solucionen primero este problema; por otra parte, si los problemas de movilidad no se deben a baja capacidad estructural, las técnicas de mejoramiento tendrán que solucionar el problema de funcionalidad específico presente. En otras palabras, aunque pueden existir infinidad de razones para su ejecución, la escogencia del tipo de técnica de mejoramiento debe responder al tipo de problema que se quiere solucionar (funcional o estructural). Es importante resaltar que la técnica utilizada –o la combinación de éstas– debe solucionar la problemática de movilidad en su totalidad; en otras palabras, de nada sirve que exista capacidad estructural si no se garantiza la funcionalidad deseada en el camino.

Existen hoy en día numerosas técnicas de mejoramiento de vías de BVT que se encuentran en tierra o en grava, y abundan los estudios y reportes detallados relacionados con el tema publicados por diferentes organismos multilaterales, como el BM, la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR), la OIT, el DFID, e investigadores reconocidos a nivel mundial. Teniendo en cuenta el espíritu y el ámbito de aplicación del documento, y en aras de la brevedad, en este capítulo se hace únicamente una descripción general de las técnicas de mejoramiento cuya aplicación se considera, en una u otra forma, de mayor viabilidad en los países de la región; sin embargo, el lector interesado encontrará información más detallada en las memorias del presente trabajo.

Las técnicas de mejoramiento de caminos en tierra o grava de BVT pueden clasificarse de acuerdo con su carácter primordialmente funcional o primordialmente estructural, aun cuando algunas de ellas solucionan de manera conjunta problemas estructurales y funcionales, e incluyen alternativas basadas en técnicas simples que hacen uso intensivo de materiales tradicionales, equipos sencillos y mano de obra local, así como alternativas de gran sofisticación en materiales y equipos, que requieren habilidades especiales y un alto nivel de capacitación para su aplicación.

Más adelante se presentan algunas técnicas de mejoramiento para atender necesidades tanto funcionales como estructurales en los caminos de BVT (ver Cuadro 6, p. 40). Estas técnicas se pueden clasificar, de acuerdo con el grado de conocimiento en su aplicación y nivel de uso a nivel mundial, en:

- Tecnologías universales. Comprenden las tecnologías plenamente aprobadas y de uso generalizado en el mundo, acerca de las cuales existe una gran cantidad de información relativa a su diseño, su construcción y su desempeño en el tiempo. Son de aplicación frecuente en diferentes lugares y entornos, y existe una normativa plenamente establecida para su uso.

- Tecnologías innovadoras. Abarcan tecnologías respaldadas en estudios técnicos y experiencias exitosas. A diferencia de las anteriores, éstas no se han probado universalmente o su desempeño a muy largo plazo puede aún estar en proceso de evaluación. En algunos de los países en los que se han aplicado existe normativa plenamente establecida; sin embargo, la implementación de dicha normativa no es generalizada.
- Tecnologías experimentales. Comprenden tecnologías que no se han aplicado extensivamente y la documentación relativa a su aplicación, desempeño y normatividad es, en general, muy limitada. Entre estas tecnologías se encuentran aquellas que utilizan productos de marcas registradas y protegidos por patentes, que dificultan la identi-

CUADRO 6. SOLUCIONES GENERALES DE MEJORAMIENTO*

Grado de conocimiento y nivel de uso	Soluciones estructurales	Soluciones funcionales
Tecnologías universales	<p>Estabilizaciones</p> <p>Estabilización con cal</p> <p>Estabilización con cemento</p> <p>Estabilización con emulsión asfáltica</p> <p>Adición de capas estructurales</p> <p>Adición de capa estructural de material granular</p> <p>Hormigones asfálticos y hormigones de cemento portland</p> <p>Adoquines de hormigón o de arcilla cocida</p>	<p>Tratamientos superficiales y sellos asfálticos</p> <p>Sellos de arena</p> <p>Lechadas asfálticas</p> <p>Tratamiento superficial simple</p> <p>Tratamiento superficial doble</p> <p>Tratamiento superficial múltiple</p> <p>Supresores de polvo</p> <p>Fog Seal (riego neblina)</p>
Tecnologías innovadoras	<p>Estabilizaciones</p> <p>Estabilización con asfalto espumado</p> <p>Estabilización con sales/cloruros</p> <p>Estabilización con cenizas</p> <p>Utilización de escorias de procesos industriales</p> <p>Refuerzos con geomallas o geotextiles, geoceldas</p> <p>Material de reciclaje de pavimentos</p>	<p>Tratamientos superficiales</p> <p>Sello del Cabo</p> <p>Sello de Otta</p> <p>Supresores de polvo</p> <p>Sales</p> <p>Empedrado**</p> <p>Placa huella</p>
Tecnologías experimentales	<p>Estabilizaciones</p> <p>Estabilizaciones químicas con aditivos especiales</p> <p>Asfaltos naturales</p> <p>Adición de capas estructurales</p> <p>Empleo de residuos sólidos o de residuos industriales</p> <p>Utilización de materiales no estándar (bagazo de caña de azúcar; fibra de cáscara de coco, celulosa, etc.)</p> <p>Otras</p> <p>— Refuerzo de hormigón no tradicional (p.ej. bambú)</p>	<p>Supresores de polvo</p> <p>Crudos pesados y productos</p>

* Este cuadro no pretende ser una clasificación rígida y se presenta simplemente con propósitos de orientación.

** Aun cuando son tecnologías artesanales milenarias, en la actualidad no se aplican universalmente, no se conocen registros formales de su desempeño y las especificaciones están limitadas a ambientes específicos.

Fuente: elaboración propia.

cación de los factores que pueden incidir en su desempeño. Con respecto a esta última clasificación, es necesario aclarar que en la medida en que se den procesos sustentados en investigaciones y en experiencias prácticas, con evaluación de desempeño, las tecnologías experimentales podrán transitar a ser tecnologías innovadoras y, eventualmente, con su uso generalizado y probado, llegar a ser clasificadas como tecnologías universales. Para que estos procesos se inicien, al final del capítulo Recomendaciones generales para la selección de técnicas de mejoramiento se plantea una metodología para la evaluación de la idoneidad de un material no estándar, que podría aplicarse a las tecnologías de este nivel, o incluso a cualquier otra tecnología que resulte novedosa en un país o en una región específica.

Teniendo en cuenta el espíritu y el ámbito de aplicación de este documento, y con el ánimo de presentar soluciones que puedan calificarse de innovadoras para los países de la región, se mencionan a continuación algunas de las técnicas que se consideran viables en éstos, haciendo énfasis en las que han demostrado resultados positivos en diferentes ámbitos de aplicación. Teniendo en cuenta que aunque es posible que ciertas técnicas se empleen ampliamente en varios países de la región, su naturaleza localizada y la falta de intercambio tecnológico entre las naciones pueden hacer que estas mismas técnicas sean consideradas innovadoras en un país vecino, y por tal motivo se mencionan con cierto grado de detalle en esta sección.

SOLUCIONES ESTRUCTURALES

El mejoramiento de la capacidad estructural del material existente en el camino puede lograrse generalmente mediante procesos de estabilización, por el aporte de capas de nuevo material y, en algunas ocasiones, por medio de la incorporación de elementos estructurales externos al mismo suelo.

La estabilización de un suelo consiste en la modificación de sus propiedades mediante la adición y el mezclado de algún agente externo dentro de su composición, para que su desempeño mecánico, su comportamiento frente a la acción del agua y su durabilidad alcancen como mínimo valores aceptables para que el suelo estabilizado pueda soportar los estados de esfuerzos y deformaciones a los cuales estará sometido por la acción de las cargas del tránsito y del medio ambiente. Por lo regular, la estabilización de un suelo se logra mediante la incorporación de aditivos que alteran en forma directa las propiedades del mismo suelo (químicamente, como en el caso del cemento pórtland, la cal, ligantes bituminosos, cenizas, enzimas, aditivos, entre otros), aunque también puede conseguirse mediante la adición de otros suelos de mejor calidad o la incorporación de geosintéticos, en un proceso conocido como estabilización mecánica.

La adición de capas de nuevo material sobre el suelo existente en el camino hace que los niveles de esfuerzo producidos por las cargas del tránsito se reduzcan a niveles admisibles,

permitiendo que las deformaciones verticales producidas por los vehículos que transitan en la vía no superen valores máximos permitidos para las condiciones de servicio esperadas en la carretera. Las nuevas capas pueden estar constituidas por materiales estandarizados y de comportamiento conocido, o por materiales provenientes del reciclaje de otras vías y otros materiales que no siempre cumplen con las características de calidad comúnmente exigidas a materiales usados dentro de estructuras de pavimento típicas (materiales provenientes de la demolición de estructuras convencionales, de residuos sólidos o de sub-productos industriales, por mencionar algunos).

La capacidad estructural de un material también puede mejorarse por medio de la incorporación de elementos estructurales externos a éste. Si bien las dos estrategias de mejoramiento citadas antes son las más comunes, en algunas oportunidades este mejoramiento se logra mediante la utilización de geomallas, de geoceldas, por medio del refuerzo del material con fibras sintéticas y naturales, o a través de la colocación de capas de separación naturales o sintéticas (como la colocación de troncos en empalizadas o la colocación de geotextiles, respectivamente). Debido a sus características particulares, la evaluación del mejoramiento estructural conseguido a través de estos procedimientos es, en muchos casos, difícil de determinar de manera precisa, y está basado en múltiples ocasiones en experiencias prácticas.

SOLUCIONES ESTRUCTURALES UNIVERSALES

Estabilización con cal

La estabilización o la modificación de suelos con cal es una de las técnicas más antiguas que existen y sobre las cuales hay menor incertidumbre en su empleo. La cal actúa esencialmente en los suelos finos plásticos, disminuyendo su sensibilidad al agua (manifestado en una disminución del índice plástico y del límite de contracción del suelo) e incrementando su resistencia a la compresión in-confinada. Aun cuando la cal puede emplearse en cualquier capa granular, siempre y cuando tenga una porción significativa de finos plásticos, su uso es más necesario y frecuente en sub-rasantes de mala calidad. La cal se utiliza igualmente como material de desecación de suelos, para lograr que la obra pueda ejecutarse de manera rápida sobre un piso de buena calidad, permitiendo que la maquinaria se apoye de un modo conveniente. La cal se usa también en la preparación del suelo para la incorporación de otro estabilizante, como por ejemplo cemento o asfalto.

Estabilización con cemento pórtland

El cemento pórtland es el resultado de la calcinación y molienda de piedra caliza, arcilla y otros materiales, los cuales, constituidos como cemento, reaccionan en presencia de agua para formar productos resistentes. Su empleo en el mejoramiento de sub-rasantes o de capas estructurales es una de las técnicas más difundidas y sobre las que existe mayor experiencia

internacional. Debido a las múltiples ventajas que tienen los suelos tratados con cemento, diversos países lo aplican en forma casi generalizada. La ventaja más notoria con el uso de cemento en los procesos de estabilización es el incremento de la resistencia mecánica de los materiales, aunque también presenta ciertas limitaciones, como la aparición de grietas de contracción, que depende del contenido de cemento y del carácter fino y plástico del suelo. El cemento puede actuar con suelos finos poco plásticos o con suelos granulares, teniendo como restricción el contenido de materia orgánica, el de sulfatos y la plasticidad.

En los suelos finos, el cemento actúa de modo similar a la cal, con una primera fase en la que se produce una disminución del índice de plasticidad, y una segunda fase en la que se incrementa de manera rápida la resistencia mecánica por efecto de la formación de la red cristalina de silicatos de calcio hidratados; en los suelos gruesos, el cemento actúa formando una red de cristales que une las partículas y le da cohesión al sistema.

Estabilización con emulsiones asfálticas

Conceptualmente, las emulsiones se pueden emplear en una amplia gama de suelos, pero su acción es distinta en cada uno de ellos. En los suelos gruesos, que es donde se usan de manera habitual, la función de la emulsión consiste en proporcionar cohesión, incrementando la resistencia mecánica y la durabilidad, en tanto que en suelos finos no plásticos o de baja plasticidad ($IP < 10$) pueden utilizarse para dar impermeabilidad, disminuyendo su susceptibilidad al agua.

Una de las ventajas del empleo de emulsión asfáltica en la estabilización de granulares es la reducción en el acarreo de pétreos, por cuanto no se requiere material granular seleccionado, pudiéndose así usar material de la zona, dependiendo de sus propiedades. Adicionalmente, ayuda a proteger el ambiente, debido a la baja emisión de volátiles, nocivo para la atmósfera.

Adición de capas estructurales

La capacidad estructural de un camino puede mejorarse mediante el incremento de los espesores existentes, logrando que los niveles de esfuerzo producidos por las cargas del tránsito se reduzcan a niveles admisibles, permitiendo que las deformaciones verticales producidas por los vehículos que transitan en el camino no superen valores máximos permitidos para las condiciones de servicio esperadas en la carretera. Esta alternativa de mejoramiento es quizá la usada más ampliamente a nivel mundial, y en general consiste en la adición de material granular que cumple especificaciones establecidas para bases o sub-bases, y en algunas ocasiones, dependiendo de lo que se busque con el mejoramiento, puede ir acompañada de la instalación de espesores adicionales de hormigones asfálticos, hormigones de cemento pórtland, o de adoquines, que provean capacidad estructural al camino mejorado.

En general, los costos asociados a estas alternativas son altos, especialmente en el caso de los hormigones, lo que hace que, en caminos de BVT, se escojan otras alternativas en su lugar.

SOLUCIONES ESTRUCTURALES INNOVADORAS

Estabilización con asfalto espumado

Los cementos Asfálticos Espumados (AE) constituyen una alternativa relativamente novedosa en muchos de los países de Suramérica, que amplía el abanico de posibilidades y herramientas para el desarrollo de procesos de estabilización de manera económica y ambientalmente segura. El asfalto espumado puede usarse como un agente estabilizador de una gran variedad de materiales que van desde gravas trituradas de buena calidad hasta suelos marginales con plasticidad relativamente alta. También puede utilizarse con materiales tratados o no previamente con cemento, o proceder del reciclaje o de la recuperación de pavimentos. Generalmente la cantidad de AE no supera el 3% en masa del agregado seco, y en muchos casos son agregados a la mezcla llenantes activos como el cemento pórtland o la cal hidratada. El AE se distribuye exclusivamente en los finos del material, produciendo una matriz ligante conformada por gotas de asfalto y material fino; esta discontinuidad en la liga de las partículas individuales de agregado hace que las mezclas de AE sean diferentes de todos los demás materiales del pavimento. Teniendo en cuenta la naturaleza de la dispersión del asfalto en el material, el comportamiento de los materiales estabilizados con AE es similar al de los materiales granulares no ligados, pero con una resistencia cohesiva significativamente mejorada, con una menor susceptibilidad al agua y una mayor durabilidad.

ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO ESPUMADO



Aun cuando la técnica de estabilización con asfalto espumado tiene bondades comprobadas, se deben reconocer sus limitaciones en cuanto a aspectos económicos asociados a los costos de los cementos asfálticos y de los llenantes activos (si estos últimos se usan), y a la necesidad de contar con equipos especializados y con la experiencia del recurso humano para la aplicación de la técnica.

Se han publicado varios manuales que sirven para orientar en el uso de la tecnología, siendo una referencia recomendada la Guía técnica de materiales estabilizados con asfalto. Una guía para el diseño y la construcción de materiales estabilizados con emulsiones y asfalto espumado-TG2¹⁴.

Estabilización con cloruros

Las técnicas de estabilización que se mencionan a continuación se emplean con relativa frecuencia en algunos ambientes, y aunque no tienen la difusión de las técnicas anteriores, sí cuentan con un interesante campo de aplicación. Como en todos los casos, debe hacerse un estudio completo para determinar si es una alternativa técnica y económicamente viable.

El cloruro de sodio (NaCl), en esencia la misma sal que se emplea con propósitos culinarios o alimenticios, es fácilmente soluble en agua y es un material bastante higroscópico; dependiendo de su grado de solubilidad, produce un incremento del módulo resiliente en el material estabilizado.

El cloruro de calcio (CaCl₂) se ha utilizado principalmente como supresor de polvo y para el mejoramiento de bases y sub-bases, donde hay una matriz poco plástica. Corresponde a un tratamiento temporal.

El cloruro de magnesio hexahidratado (MgCl₂*6H₂O), denominado Bischofita, es un producto muy empleado en Chile y se produce por evaporación solar en salmueras extraídas de depósitos del subsuelo, sobre todo del salar de Atacama. Esta es una sal altamente higroscópica, que tiene la propiedad de licuarse en forma lenta a medida que se absorbe agua. La dosis recomendada puede estar entre el 3 y el 7%, referida al peso seco del agregado, dependiendo del grado de plasticidad del material que se va a tratar.

Utilización de materiales producto de reciclaje

Estos materiales pueden usarse sin modificación alguna para incrementar el espesor de las capas existentes en la vía y reducir los niveles de esfuerzo actuantes en la superficie del camino de tierra o grava, o también estabilizarse, generalmente con emulsiones asfálticas o asfaltos espumados, mejorando así la capacidad estructural del camino al proveer una capa de material de buena calidad y características de resistencia superior. Quizá la alternativa más usada es la reutilización de material proveniente del Reciclaje de Pavimentos Asfálticos (RPA).

14. *Technical guideline: Bitumen stabilized materials. A guideline for the design and construction of bitumen emulsion and foamed bitumen stabilized materials-TG2*, 2nd. ed. Asphalt Academy. Mayo 2009 (www.asphaltacademy.co.za/bitstab).

Si se toma en cuenta que estos materiales son, en la mayoría de los casos, el producto del reciclaje de pavimentos y obras de infraestructura de diferentes edades, y con diversas características, es apenas lógico que sus propiedades tengan, como mínimo, la misma variabilidad.

**MATERIAL DE RECICLAJE,
APLICADO COMO BASE
ESTABILIZADA. BOGOTÁ,
COLOMBIA**



SOLUCIONES ESTRUCTURALES EXPERIMENTALES

Se han empleado varias técnicas para solucionar problemas de tipo estructural en las vías, principalmente usando materiales locales o no estándar para la conformación de capas portantes. Entre estas técnicas se encuentran la utilización de asfaltos naturales en algunas zonas de Colombia, el empleo de residuos sólidos, residuos industriales o de materiales especiales para el refuerzo de suelos, tales como geo-textiles de yute, fibra de cáscara de coco, celulosa o el refuerzo de hormigón de cemento pórtland con bambú, por mencionar algunos. En general, la disponibilidad de ciertos materiales a nivel local puede resultar ventajosa para algunas zonas específicas, lo que hace que su utilización no se deba descartar inmediatamente; sin embargo, como ocurre con cualquier técnica experimental, su empleo debe hacerse luego de estudios y pruebas estructuradas.

SOLUCIONES FUNCIONALES

Entre las alternativas de mejoramiento de la condición funcional de los caminos de BVT se encuentran una gran variedad de sellos asfálticos y tratamientos superficiales, y las técnicas de supresión de polvo. En términos generales, todo tratamiento superficial, o la aplicación de cualquier sello asfáltico, trae consigo la supresión de polvo; no obstante, existen algunas técnicas específicamente dirigidas hacia este objetivo, motivo por el cual se clasifican dentro de una técnica de mejoramiento funcional específica. Muchas de las técnicas mencionadas a continuación se han probado ampliamente en diferentes ambientes, conociéndose sus características y propiedades de desempeño.

SOLUCIONES FUNCIONALES UNIVERSALES

Tratamientos superficiales y sellos asfálticos tradicionales

Existe una gran variedad de tratamientos superficiales y de sellos asfálticos que pueden emplearse en las carreteras de BVT. En diferentes países, como Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda y Francia, los tratamientos y los sellos son de uso común en la construcción nueva y en el resellado de los pavimentos asfálticos existentes, debido a que son relativamente económicos y han demostrado un buen desempeño, tanto en autopistas como en vías urbanas y rurales, en condiciones de tránsito que varían desde liviano hasta pesado.

En virtud de que muchos de los sellos son relativamente delgados, los esfuerzos verticales y horizontales impuestos por las cargas móviles del tránsito se transmiten directamente a la base, y en consecuencia su aporte estructural es insignificante (nulo, en términos prácticos).

Entre los tratamientos superficiales y sellos asfálticos más comunes, utilizados en todo el mundo en mayor o menor grado, se encuentran los tratamientos superficiales simples, dobles y múltiples, los sellos arena-asfalto, las lechadas asfálticas y el sello niebla (*Fog Seal*).

Asimismo, aun cuando hoy en día se cuenta con sistemas altamente tecnificados para la aplicación de sellos y tratamientos superficiales, en algunos de ellos se tiene la posibilidad de incorporar en mayor grado el uso de mano de obra, ofreciendo la posibilidad de suministrar empleo a pequeños contratistas y a comunidades locales; con todo, cabe anotar que el empleo de mano de obra intensiva para este tipo de aplicaciones puede dar lugar a baja homogeneidad y problemas constructivos, que potencialmente pueden tener efectos nocivos para el desempeño de la solución en el tiempo.

La industria de la construcción de carreteras ha desarrollado un conocimiento amplio sobre el diseño, el control y la construcción de los sellos y de los tratamientos asfálticos. Las experiencias de campo y las investigaciones en laboratorio, llevadas a cabo en diferentes ambientes, han contribuido a establecer guías para la construcción y el mantenimiento de dichas aplicaciones para que sean más durables y se ajusten a las condiciones locales imperantes^{15,16}.

Los sellos y tratamientos asfálticos para capas de superficie de pavimentos ofrecen varias ventajas, entre las cuales se destacan proveer una superficie de rodadura de características físicas similares a las de un pavimento flexible; sellar y proteger la capa de base; suministrar resistencia a las fuerzas abrasivas del tránsito y del ambiente; proteger las capas subyacentes del ingreso de humedad, previniendo pérdidas de resistencia; mejorar la seguridad al suministrar una superficie con una mayor resistencia al deslizamiento; permitir la aplicación de elementos de señalización horizontal en la carretera; prevenir la pérdida de grava; generar ahorros en los costos de operación vehicular, y proveer un camino transitable en toda temporada.

15. *Guideline Low - Volume sealed roads* (2003). Southern Africa Transport and Communications Commission (SATCC), Southern African Development Community (SADC). Julio.

16. *Design and construction of surfacing seals - THR3* (2007). Pretoria, Sudáfrica. Version 1.5. Mayo.

En su forma más simple, un tratamiento superficial consiste en un riego de asfalto sobre la superficie de una carretera, que luego es cubierto por una capa de agregado (grava o arena). El agregado se aplica tan pronto se ha regado el asfalto y después se compacta para asegurar un contacto íntimo entre sus partículas y una buena adherencia con la película de asfalto. La compactación inicia el proceso de orientación de las partículas para buscar su arreglo en un mosaico patrón y forzar el asfalto dentro de los vacíos de las partículas de agregado. El proceso se completa con la acción del tránsito, de tal manera que por fin se obtiene una superficie cerrada y relativamente impermeable.

Las lechadas asfálticas también corresponden a técnicas universalmente aceptadas. Difieren de los tratamientos superficiales tradicionales, ya que corresponden a una mezcla, dosificada en forma adecuada, de agregado fino bien gradado (arena), llenante mineral (cemento, polvo de trituración), emulsión asfáltica y agua. La mezcla es inicialmente fluida, cremosa y homogénea que cura y endurece, proporcionando una superficie impermeable y adecuada al tránsito.

SOLUCIONES FUNCIONALES INNOVADORAS

Sello del Cabo y sello de Otta

Además de los tratamientos superficiales tradicionales de grava (chip seals) y de los sellos de lechada, existen otras alternativas de capas de superficie poco conocidas, entre ellas el sello del Cabo (Cape Seal), que lleva el nombre de la Ciudad del Cabo en Sudáfrica, donde se inventó, el cual consiste en la aplicación de un tratamiento superficial simple, modificado en la dosificación de agregados y asfalto, seguido por la aplicación de una lechada asfáltica.

Otros sellos, como el sello de Otta (Otta Seal), en circunstancias apropiadas, permiten usar materiales locales que no cumplen con los estándares y que resultan interesantes cuando los materiales convencionales son excesivamente costosos. Además, para la construcción y conservación de este sello se tiene la posibilidad de hacer uso intensivo de mano de obra local.

Aunque estos dos tipos de tratamientos han demostrado bondades y buen desempeño donde se han aplicado, son considerados innovadores debido a que su aplicación no es generalizada a nivel mundial, y las experiencias han sido, hasta el momento, de carácter relativamente localizado.

Para todos los tipos de tratamientos superficiales, independientemente de su carácter universal o innovador, la vida de servicio esperada varía, dependiendo de la calidad aplicada en los diseños, en los materiales y en los procesos constructivos, siendo también dependiente de los volúmenes de tránsito, de las condiciones ambientales y del grado de mantenimiento rutinario. Más adelante se muestran vidas de servicio típicas para diferentes tratamientos y sellos (ver Cuadro 7).

SELLO DE OTTA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE CHILE



CUADRO 7. VIDA DE SERVICIO ESPERADA DE ALGUNOS TRATAMIENTOS TÍPICOS

Tipo de sello	Vida de servicio (años)		
	Rango típico	Promedio	
De uso universal	Sello de arena	2-4	3
	Lechada asfáltica	2-6	5
	Tratamiento superficial simple	4-6	5
	Sello doble de arena	6-9	-
	Tratamiento superficial doble	7-10	8
De uso innovador	Sello Otta simple + sello de arena	8-10	-
	Sello del Cabo (13 mm + lechada)	8-10	9
	Sello del Cabo (19 mm + lechada doble)	12-16	12
	Sello Otta doble	10-14	12

Fuente: *Guideline Low - Volume sealed roads* (2003). *Southern Africa Transport and Communications Commission (SATCC), Southern African Development Community (SADC)*. Julio y Foley (1986), Foley *et al.* (1996), Ventura (2003).

Asimismo, se presenta una clasificación de los diferentes tratamientos superficiales y sellos asfálticos (universales e innovadores), de acuerdo con su idoneidad para desempeñarse en variadas condiciones de tránsito, materiales, terreno y técnicas constructivas, entre otras (Cuadro 8). Igualmente, es posible hacer una preselección de los tipos de tratamientos que pueden resultar más adecuados para las condiciones particulares de un proyecto¹⁷.

17. *Context Sensitive Roadway Surfacing Selection Guide*. Central Federal Lands Highway Division. Publication No. FHWA-CFL/TD-05-004, August 2005.

CUADRO 8. CONVENIENCIA DE LOS DIFERENTES SELLOS Y TRATAMIENTOS

Parámetro	Nivel o grado	Tipo de sello o tratamiento							CA
		De uso universal				De uso innovador			
		SA	LA	TSS	TSD	SC	SOS+SA	SOD	
Vida de servicio requerida	Corta	■	■	■	■	■	■	■	■
	Media	■	■	■	■	■	■	■	■
	Larga	■	■	■	■	■	■	■	■
Nivel de tránsito	Liviano	■	■	■	■	■	■	■	■
	Mediano	■	■	■	■	■	■	■	■
	Pesado	■	■	■	■	■	■	■	■
Impacto de las acciones del tránsito	Bajo	■	■	■	■	■	■	■	■
	Medio	■	■	■	■	■	■	■	■
	Alto	■	■	■	■	■	■	■	■
Pendiente longitudinal	Bajo	■	■	■	■	■	■	■	■
	Moderado	■	■	■	■	■	■	■	■
	Empinado	■	■	■	■	■	■	■	■
Calidad del material	Pobre	■	■	■	■	■	■	■	■
	Moderada	■	■	■	■	■	■	■	■
	Buena	■	■	■	■	■	■	■	■
Calidad del pavimento y de la base	Pobre	■	■	■	■	■	■	■	■
	Moderada	■	■	■	■	■	■	■	■
	Buena	■	■	■	■	■	■	■	■
Conveniencia para el uso de métodos basados en mano de obra		■	■	■	■	■	■	■	■
Experiencia y capacidad del contratista	Baja	■	■	■	■	■	■	■	■
	Moderada	■	■	■	■	■	■	■	■
	Alta	■	■	■	■	■	■	■	■
Capacidad de mantenimiento	Baja	■	■	■	■	■	■	■	■
	Moderada	■	■	■	■	■	■	■	■
	Alta	■	■	■	■	■	■	■	■

Nomenclatura: SA: sello de arena, LA: lechada asfáltica, TSS: tratamiento superficial simple, TSD: tratamiento superficial doble, SC: sello del Cabo, SOS + SA: sello de Otta simple + sello de arena, SOD: sello de Otta doble, CA: concreto asfáltico.

Fuente: *Guideline Low - Volume sealed roads* (2003). *Southern Africa Transport and Communications Commission (SATCC), Southern African Development Community (SADC)*. Julio.

■ Adecuado/Preferible ■ Menos adecuado/No preferible □ No adecuado/No aplicable

Supresores de polvo

La reducción de la pérdida de finos de la superficie de una carretera no pavimentada incrementa la vida de la rodadura y reduce la demanda de mantenimiento. Por otro lado, el control del polvo mejora la seguridad y la comodidad de los usuarios de la carretera, reduce el daño al ambiente y mejora las condiciones socioeconómicas de las áreas adyacentes a la vía. Una rodadura con poco polvo o sin él permite mayores velocidades de circulación de los vehículos, con el consecuente mejoramiento de la eficiencia del transporte. La presencia de polvo es de particular importancia en ciertas áreas agrícolas, donde puede producir daños en los cultivos.

Además de la supresión de polvo por medio de los tratamientos superficiales y los sellos asfálticos mencionados antes, existen otros aditivos que pueden usarse con este fin, como por ejemplo el cloruro de calcio y el cloruro de magnesio hexahidratado (bischofita). Estos dos últimos se utilizan generalmente a nivel local, y tienen grandes restricciones climáticas para su aplicación.

Los agentes surfactantes, los polímeros naturales, las ceras modificadas, las resinas y crudos del petróleo se han empleado también en diferentes ambientes como supresores del polvo de los caminos de BVT. Debe tenerse presente que la gran mayoría de estas técnicas son temporales, es decir, que su acción es a corto plazo, por lo que se requiere su aplicación periódica.

En términos generales, cuando se seleccionan paliativos o supresores de polvo hay que considerar factores como el clima, el material predominante de la capa portante o de la superficie de la vía y la disponibilidad del material seleccionado. No hay duda de que algunos de estos aditivos se han comportado de manera exitosa con materiales seleccionados en ciertas condiciones de ambiente y de tránsito, pero en general el desempeño de los productos es altamente dependiente de tales factores, al igual que de sus tasas de aplicación, las cuales se deben establecer y controlar en forma continua durante la ejecución del tratamiento.

En la bibliografía sobre el tema hay recomendaciones específicas para la selección del paliativo de polvo de acuerdo con condiciones específicas de proyectos, así como listados de aditivos utilizados para la supresión de polvo, diferentes de los tratamientos superficiales y sellos asfálticos¹⁸.

Empedrados

Los empedrados han sido soluciones de superficie de rodadura empleadas en carreteras desde tiempos milenarios. En las redes viales de tercer orden y de caminos vecinales de algunos países de América Latina se presentan longitudes significativas en empedrados (Ecuador, Bolivia, Paraguay y Perú, con 3.415 km, 1.250 km, 1.106 y 200 km, respectivamente). En estos países se cuentan con especificaciones de materiales y de construcción para la técnica, y es común que dicha solución se presente principalmente en aquellas vías que se encuentran

18. Foley (1986), Foley *et al.* (1996), Ventura (2003).

en la cordillera alta de los Andes. Así mismo, en Colombia se han construido empedrados en algunos tramos de vías terciarias y secundarias con el propósito de mejorar las condiciones físicas de los caminos y de generar empleo de mano de obra no calificada.

El empedrado consiste en el recubrimiento de la superficie de la vía con una capa de cantos rodados o de piedra partida para formar una superficie de rodadura resistente, estable y económica. Se recomienda su empleo incluso en caminos con tránsito hasta de 250 vpd y cargas menores de diez toneladas, aun cuando en Bolivia se estaban realizando pruebas en el 2004 sobre empedrados construidos apoyados en una capa de afirmado, donde el tránsito superaba los 500 vpd.

Otra característica de los empedrados es que en su construcción se utiliza mucha mano de obra que no requiere ser calificada, y entre las técnicas de pavimentación, corresponde a la que exige menor uso de maquinaria.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) elaboró el Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados, con el que se ha pretendido apoyar la normalización de los materiales y procesos constructivos, así como facilitar la ejecución y mantenimiento de esta clase de obras¹⁹.

Por la naturaleza de los empedrados, no se requieren altos niveles de mantenimiento para garantizar su durabilidad y niveles de servicio. Se conocen caminos empedrados que con muy bajo mantenimiento o sin mantenimiento alguno han subsistido por más de 30 años. Entre las actividades de mantenimiento que es necesario realizar se encuentran principalmente el bacheo del empedrado, la limpieza de las cunetas y de las alcantarillas, la limpieza de taludes y la reparación de cunetas^{20, 21}.

CAMINO CON SUPERFICIE EN EMPEDRADO, PARAGUAY



19. Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados (2004). Organización Internacional del Trabajo. Ecuador.

20. Guía práctica de campo. Manual andino para construcción y mantenimiento de empedrados. Organización Internacional del Trabajo.

21. Presentación del Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajos volúmenes de tránsito. Perú: MTC.

Placa huella

Conocida también como “doble huella” o “rieles”, consiste por lo general en disponer de una superficie resistente en forma de franjas longitudinales por donde han de circular las ruedas de los vehículos. Estas franjas se construyen en piedra o en hormigón hidráulico reforzado. Las placas huella más elaboradas disponen de un relleno de agregado grueso limpio o de piedra pegada con mortero de cemento, entre ellas. En algunos ambientes se ha definido, de manera tecnicada, como una mezcla de concreto hidráulico reforzado, dispuesto en dos placas separadas por agregado de relleno, agregado grueso limpio, o por placas de piedra pegadas con mortero de cemento.



PLACA HUELLA
MUNICIPIO DEL DEPARTAMENTO
DE RISARALDA, COLOMBIA

Cortesía INVÍAS, Dirección de Red Terciaria.

Este sistema ha sido ampliamente aceptado por cuanto mejora en forma evidente la circulación del transporte automotor en toda temporada, sobre todo en vías con pendientes superiores al 10%, y por el uso intensivo que se puede hacer de mano de obra local, en regiones en desarrollo. En países como Colombia hay especificaciones particulares de materiales y de construcción para esta técnica.

SOLUCIONES FUNCIONALES EXPERIMENTALES

Al igual que para las soluciones estructurales, se han usado varias técnicas para resolver problemas funcionales en las vías utilizando materiales locales, que hacen que la generalización de su empleo sea extremadamente difícil. Entre éstas se encuentran, por ejemplo, el uso de crudos pesados en riegos para la supresión de polvo o de otros aditivos especiales de marca registrada. Por lo regular, la disponibilidad de ciertos materiales a nivel local puede resultar

ventajosa para algunas zonas específicas, lo que hace que su utilización no se deba descartar inmediatamente; sin embargo, como es el caso de cualquier técnica experimental, su empleo debe hacerse luego de estudios y pruebas estructuradas.

Empleo de materiales locales y materiales no estándar

La consecución de materiales para la construcción, la conservación y el mejoramiento de carreteras, que se encuentren a distancias razonables de cada proyecto y que cumplan con las especificaciones, es cada vez más difícil. Generalmente se cuenta con materiales locales que no cumplen con las especificaciones, bien por contener cantidades apreciables de finos plásticos o por presentar una resistencia mecánica inferior a la requerida por los documentos normativos y reglamentarios. Sin embargo, es posible que con una adecuada modificación, bien sea mediante un ajuste granulométrico o un tratamiento con aditivos o agentes cementantes, o ajustando el diseño estructural, estos materiales podrían emplearse para la provisión y el mejoramiento de la infraestructura vial, aportando beneficios económicos que pueden llegar a ser significativos.

Al igual que en otras referencias, se recomienda abandonar el término “marginal”, como un descriptor de los materiales que no cumplen con las especificaciones, si dentro de diseños apropiados existe un prospecto real de su uso efectivo. La marginalidad, a los ojos de los ingenieros, hace referencia a un producto por debajo o por fuera del estándar y éste no es necesariamente el caso, si los materiales se evalúan, usan y promueven adecuadamente. Por tanto, en lugar de “marginal”, en este documento se usará el término “no estándar”.

Hasta hace poco se desechaban los materiales extraídos del derecho de vía o franja de dominio, así como de las canteras o de las zonas de préstamo, que no mostraban propiedades satisfactorias para la construcción de carreteras; no obstante, algunos países tienen en cuenta los objetivos del desarrollo sostenible, cuidando los recursos naturales y optimizando su uso, en especial en el desarrollo de la infraestructura vial. En ellos, además de tratar de aprovechar racionalmente los recursos naturales locales, se tienen acuerdos específicos que regulan el empleo de residuos sólidos y de sub-productos industriales como materiales para la construcción de carreteras. En las últimas décadas se ha apreciado un fuerte desarrollo a este respecto.

Desde la perspectiva de la ingeniería de pavimentos, los materiales no estándar se pueden usar de tal manera que no se comprometa el desempeño esperado de la carretera. Se debe reconocer que los residuos y los sub-productos industriales varían notablemente en cuanto a sus tipos y propiedades y, por tanto, en la aplicación de la carretera para la cual pueden resultar apropiados.

La experiencia y el conocimiento con respecto a la utilización de materiales locales y de materiales alternativos varían de un material a otro y de un lugar a otro. Para recuperar estos materiales para uso potencial, los ingenieros, los investigadores, los generadores de residuos y las autoridades que legislan al respecto deben estar seguros de las propiedades de éstos, de la manera como pueden emplearse y de las limitaciones que pueden estar asociadas a su utilización. Por otro lado, los ingenieros de las agencias financieras, de los departamentos de carreteras y de las firmas consultoras deben ser más flexibles en sus propuestas de diseño, construcción y mantenimiento de carreteras de BVT, teniendo en mente la potencialidad de uso de materiales locales y no estándar. Para la construcción de este tipo de carreteras, parece que se debe estudiar la posibilidad de emplear materiales no estándar que se encuentren localmente disponibles, o de residuos o de sub-productos industriales, en lugar de realizar la apertura de nuevas canteras, así se encuentren disponibles, o de asumir los costos financieros asociados a transportar materiales adecuados, a través de grandes distancias, o de ocupar áreas, con otros usos potenciales, para la disposición de residuos. Esto, además, reduce los costos ambientales asociados a la explotación de canteras o minas y a la disposición de sobrantes de las excavaciones.

Se considera que las carreteras de BVT son una excelente plaza para el empleo de materiales no tradicionales en la construcción de tramos experimentales, que permitan evaluarlos e ir ganando conocimiento acerca de su desempeño, así como confianza en su empleo, con lo que, en principio, se lograría transitar a su uso en vías de mayor categoría.

El empleo de materiales no estándar en la estructura de un pavimento, el mejoramiento a bajo costo del drenaje, la provisión de hombros (bermas) sellados y la aplicación de tecnologías innovadoras en las superficies de rodadura son elementos que, según diversos estudios y experiencias, resultan extremadamente económicos tanto en la construcción como en el mejoramiento de carreteras con BVT. Existe muy poca evidencia de que estas medidas hayan incrementado los riesgos de falla cuando se han implementado apropiadamente.

Los ingenieros de carreteras están haciendo cada vez un mayor uso de materiales no tradicionales para la construcción de pavimentos. Los materiales potenciales de este tipo son numerosos, varían de un país a otro y la generalización de su empleo es muy desigual; en algunos casos su aplicación es convencional, se conoce su comportamiento y se cuenta con especificaciones técnicas especiales para su uso, por lo que se podría decir que el material ha perdido su calificativo de no estándar o marginal. En otros casos, su aplicación es aún incipiente y se requieren mayores estudios y experiencias para sistematizar su empleo.

JUSTIFICACIÓN Y LIMITACIONES PARA EL EMPLEO DE MATERIALES NO ESTÁNDAR

Entre las principales razones para el empleo de materiales no estándar se encuentran la escasez

de materiales pétreos de buena calidad, las exigencias para conservar los recursos naturales, las limitaciones en la disposición de los residuos, las nuevas políticas de desarrollo sostenible y el relativamente bajo costo de tales materiales. Hay grandes perspectivas con el empleo de materiales no tradicionales en las estructuras de pavimento de las carreteras. Sin embargo, aun cuando se han tenido experiencias exitosas al utilizar ciertos materiales, todavía se requiere el desarrollo de ensayos especiales y de especificaciones adecuadas para muchos otros, de modo que se logre en cada país, en sus condiciones particulares, el cambio de categoría de un material no estándar a material tradicional.

Se debe tener presente que, aun para los materiales no tradicionales ampliamente usados, no hay que confiar exclusivamente en la experiencia de otros países, por lo que se han de tomar precauciones y efectuar los estudios de laboratorio y las experiencias de campo en las condiciones locales.

Es clave que las agencias viales reconozcan la importancia de contar con una política de investigación, desarrollo e innovación, que garantice estrategias con recursos para permitir la incorporación de los materiales no tradicionales en los planes de mejoramiento de la red vial.

La falta de experiencia y de habilidades técnicas, la escasez de estándares, de guías o de especificaciones, la insuficiencia de datos técnicos sobre el desempeño en diferentes condiciones climáticas, las incertidumbres en aspectos de ingeniería, las expectativas de los políticos y del público en general y, en algunos casos, la mala publicidad a causa de fallas experimentadas en el pasado, son factores que han obstaculizado el desarrollo y el empleo de materiales no estándar en la construcción de carreteras.

RESIDUOS, SUB-PRODUCTOS INDUSTRIALES Y OTROS MATERIALES NO ESTÁNDAR

Además del uso de rocas duras o débiles, de gravas naturales y de suelos endurecidos o parcialmente endurecidos en la construcción de capas de base o de sub base de carreteras, los materiales manufacturados –los elaborados por el hombre– pueden reprocesarse de manera efectiva como materiales para carreteras²².

Dentro de esta categoría se pueden incluir los residuos de procesamiento térmico, los residuos y sub-productos de las industrias del acero, el cemento y la cal, así como materiales resultantes de la combustión del carbón, en plantas de energía térmica, o de la incineración de residuos sólidos; las escorias de alto horno, las escorias de acería y las cenizas volantes corresponden a los sub-productos de este grupo, que se usan más en la construcción de carreteras.

Igualmente, se pueden incluir dentro de esta categoría los sub-productos de la demolición de estructuras convencionales y de pavimentos, cuyo empleo ya es común en muchos países.

22. *Marginal Materials, State of the art. PIARC technical committees on: - Testing of Road Materials - Flexible Roads, - Earthworks, Drainage, Subgrade. Permanent International Association of Road Congresses, 1989.*



PATIO DE ALMACENAMIENTO DE MATERIAL FRESADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO

Cortesía Instituto de Desarrollo Urbano, Bogotá, Colombia.

El vidrio, los plásticos, los neumáticos, la madera o los residuos de celulosa, los residuos de minería o de canteras, constituyen otros ejemplos de materiales que se pueden utilizar para la construcción de carreteras que no se encuentran dentro de las categorías anteriores y que podrían agruparse como residuos de otras fuentes.

Algunas agencias clasifican los residuos, de acuerdo con su origen, en residuos de minería y de explotación de canteras, residuos municipales, residuos industriales, materiales de demolición y lodos de dragado.

Por su parte, y teniendo en cuenta la base de los procesos industriales de los cuales proceden, los sub-productos más usados en la construcción de carreteras se pueden dividir en sub-productos de la industria metalúrgica, sub-productos de las centrales eléctricas térmicas y sub-productos de la industria química.

En muchos países se cuenta también con enormes cantidades de escombros de pavimentos y su empleo para la conformación de capas de la estructura de pavimento ha ganado gran aceptación, aun cuando se puede considerar que su aplicación actual es de menor escala, si se la compara con su disponibilidad.

Las exigencias para los escombros, en cuanto a especificaciones y ensayos para su evaluación, son prácticamente las mismas que para los materiales tradicionales y, en términos generales, su empleo no implica riesgos especiales, más allá de la posible ausencia de uniformidad.

Para el caso de los residuos y de los sub-productos industriales, el tipo y la cantidad usada en la construcción de carreteras depende de la producción local y del tipo de industria que exista en el país. Regularmente se utilizan en sitios cercanos al lugar de producción y rara vez son transportados por largas distancias, debido al elevado costo asociado con su acarreo,

23. *Promoting optimal use of local materials (2007). PLARC Technical committee C4.5. Earthworks, Drainage and subgrade.*

comparado con el valor inherente del material. En algunos países desarrollados se usan a menudo estos productos, mientras que en otros su empleo en trabajos de carreteras es casi inexistente, puramente anecdótico, poco generalizado o, simplemente, se encuentran todavía en etapa de experimentación²³.

Para el mejoramiento del terreno en zonas de baja capacidad portante, con problemas de drenaje, se ha probado el empleo de geotextiles de yute o de coco en diferentes ambientes, con resultados positivos y beneficios económicos, en particular en las carreteras rurales.

El bambú, el bagazo de caña de azúcar, el cáñamo, la fibra de la cáscara de coco y el recubrimiento del maíz son otros ejemplos de materiales no estándar que podrían usarse en la estabilización de bases y en superficies de rodadura de pavimentos. Estos materiales contienen fibras de los productos naturales más abundantes en el mundo, estimándose que de ellos se producen más de 20 mil millones de toneladas por año.

Síntesis

Tomando en cuenta el espíritu y el ámbito de aplicación del presente documento, en las secciones de este capítulo se hizo tan sólo una descripción general de las técnicas de mejoramiento cuya aplicación se considera, de una u otra manera, de mayor viabilidad en los países de la región; sin embargo, el lector interesado encontrará información más detallada en las memorias del presente trabajo.

Aunque pueden existir infinidad de razones para su ejecución, la escogencia del tipo de técnica de mejoramiento debe responder al tipo de problema que se quiere solucionar (funcional o estructural). Hay que señalar que la técnica utilizada (o la combinación de éstas) debe solucionar la problemática de movilidad en su totalidad; es decir, de nada sirve que exista capacidad estructural si no se garantiza la funcionalidad deseada en el camino.

Las técnicas de mejoramiento de vías de BVT pueden clasificarse en dos grandes categorías, de acuerdo con su carácter primordialmente funcional o primordialmente estructural, e incluyen alternativas basadas en técnicas simples que hacen uso intensivo de materiales tradicionales, equipos sencillos y mano de obra local, así como opciones de gran sofisticación en materiales y equipos, que requieren habilidades especiales y un alto nivel de capacitación para su aplicación. Adicionalmente, estas técnicas se pueden clasificar, según el grado de conocimiento en su aplicación y nivel de uso a nivel mundial, en tecnologías plenamente aprobadas y de empleo generalizado en el mundo (universales); en tecnologías innovadoras, que aunque están respaldadas en estudios técnicos y experiencias exitosas, no han sido universalmente probadas y su desempeño a muy largo plazo todavía está en proceso de evaluación, y en tecnologías experimentales, aquellas que no se han aplicado extensivamente por

cuanto la documentación relativa a su aplicación, desempeño y normatividad es, en general, muy limitada.

Cabe anotar que aunque en general se trate de favorecer técnicas de mejoramiento probadas y confiables, no hay que descartar la utilización de ciertos materiales o técnicas experimentales en situaciones para las cuales las condiciones particulares de la problemática de acceso así lo ameriten; sin embargo, es importante señalar que la implementación de este tipo de prácticas debe hacerse de manera progresiva, y sustentada en criterios objetivos que en una u otra forma justifiquen su utilización.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA PRIORIZACIÓN DE CAMINOS DE BVT DENTRO DE LA RED PARA SU INTERVENCIÓN

Consideraciones generales

La priorización es una parte del proceso de planificación vial que implica el uso de una metodología que facilite la toma de decisiones para establecer cuáles caminos se construyen o intervienen antes, cuáles después o, en última instancia, cuáles no. Es además una etapa esencial para la asignación y distribución de recursos, generalmente escasos, que permite seleccionar, jerarquizar, valorar, analizar y tomar decisiones en función de diversas variables.

La priorización se realiza con el propósito fundamental de optimizar el uso de los recursos, buscando una mayor eficacia en los resultados, de manera que todas las acciones converjan hacia el logro de las políticas establecidas. Se trata de orientar adecuadamente las inversiones para poder alcanzar los objetivos sociales, económicos o institucionales, para los cuales sirve de soporte la infraestructura vial.

Para definir las prioridades en el proceso de intervención de vías de BVT se requiere, en general, un proceso que consta de dos fases: selección y jerarquización. En la fase de selección se escoge entre un número amplio de opciones de inversión, considerando los objetivos sociales, económicos o institucionales que forman parte de las políticas gubernamentales establecidas. Una vez efectuada la selección a partir de un conjunto de elecciones de inversión, se lleva a cabo la fase de jerarquización o asignación de prioridades propiamente dicho. Para la jerarquización de las posibles opciones de inversión se puede usar alguno de los siguientes métodos, de acuerdo con experiencias de aplicación probadas por su eficacia en varios países latinoamericanos:

ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

Una herramienta que usa el análisis de costo-beneficio y se ha aplicado ampliamente con resultados prácticos y efectivos, cuando se dispone de la información y las consideraciones económicas son relevantes, es el modelo de decisión económica de caminos (RED²⁴, por su acrónimo en inglés), el cual es un modelo de evaluación económica adaptado para vías no

24. <http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/roads/tools.htm>

pavimentadas de BVT, con volúmenes entre 50 y 300 vehículos por día. El modelo RED realiza la evaluación económica de proyectos de mejora y mantenimiento de caminos usando el enfoque de excedente del consumidor, que mide los beneficios de los usuarios consumidores asociados con la vía, derivados de los costos reducidos del transporte. Este enfoque se prefiere al enfoque del excedente del productor, que mide los beneficios generados a los usuarios productores en el área del proyecto o en la zona de influencia. El modelo RED computa los beneficios para el tránsito normal, generado y desviado, y toma en cuenta los cambios en la longitud, la condición, la geometría, el tipo del camino, los accidentes y los días por año en los que el paso de los vehículos es interrumpido debido a una condición sumamente deteriorada del camino (estación húmeda). Los usuarios pueden agregar otros beneficios o costos al análisis, como el tránsito no motorizado, servicios sociales e impactos ambientales, si se computan por separado.

ANÁLISIS DE CRITERIOS MÚLTIPLES O MULTI-CRITERIO

Consiste en ponderar, entre otros, una serie de criterios técnicos, sociales, ambientales e institucionales previamente establecidos, y asignar puntos al cumplimiento de cada criterio para todas las opciones de inversión. El número total de puntos que recibe cada uno de los caminos involucrados se obtiene mediante la aplicación de las fórmulas de ponderación definidas para cada estudio específico. Estas fórmulas pueden ser tan sencillas o tan complejas como lo determinen quienes participan en la planificación. El resultado de su aplicación conduce a la jerarquización de las opciones de inversión. El análisis de criterios múltiples requiere que los criterios, los puntos y las ponderaciones se definan y asignen de una manera participativa, ya que si lo aplican consultores o planificadores, sin consultar con los usuarios y demás interesados, los resultados pueden ser poco transparentes, especialmente si se consideran demasiados factores y si se usan fórmulas muy complejas.

Con el fin de desarrollar estrategias adecuadas de inversión para los caminos de BVT, es necesario que en los procesos de priorización se tengan en cuenta aquellos costos y beneficios que no son cuantificables, algunas veces calificados como costos y beneficios sociales, independientemente del análisis, modelo o procedimiento que se utilice. Las implicaciones de los costos de construcción son visibles de inmediato, mientras que otras consecuencias son menos obvias, pero igualmente importantes. Se observa que la planificación de los caminos de BVT exige una atención especial, que entraña involucrar a la comunidad local en un proceso participativo de identificación de necesidades y de priorización de éstas²⁵. Una herramienta clave en la planificación participativa es la existencia de planes de desarrollo del sector transporte del gobierno local o de la comunidad. Los ingenieros o los consultores locales, en consulta con las comunidades, deben hacer encuestas e inventarios de bajo costo sobre la condición de la red local de transporte y, sobre la base de la información recolectada y de la información adicional económica y socio-demográfica, se debe producir un mapa de condición. Con tal información,

25. P.R. Fouracre & M. Dyson. *A review of rural road prioritization methods: Phase 1* (2006). *International Forum for Rural Transport and Development (IFRTD)*, *Transport Research Laboratory (TRL)*, *Global Transport Knowledge Partnership (gTKP)*. Abril.

los directos interesados pueden decidir en conjunto las mejoras deseadas en la red de vías de BVT, teniendo en cuenta los objetivos y los recursos disponibles.

Políticas que inciden en la priorización

Las políticas gubernamentales o institucionales definen o inciden significativamente en los procedimientos de priorización para la selección de las vías de BVT que se incorporarán en los programas de mejoramiento.

Usualmente, las decisiones de priorización se toman con base en políticas generales que están orientadas a:

- Beneficiar a la comunidad en general.
- Promover la productividad.
- Alcanzar metas sociales y económicas de reducción de la pobreza y generación de empleo.
- Promover actividades e inversiones que permitan el mejoramiento de la calidad de vida en las comunidades involucradas.
- Mejorar la integración regional o la conectividad.
- Garantizar la participación de la comunidad en la planeación y toma de decisiones.

Además, la priorización está relacionada con políticas institucionales específicas que fijan directrices propias con diferentes propósitos, en cuanto a:

- Promover soluciones sostenibles económicamente.
- Favorecer la innovación tecnológica y un uso apropiado de la tecnología.
- Exigir la aplicación de estándares de diseño y especificaciones.
- Incentivar la aplicación de tecnologías que permitan la generación de empleo o la utilización de mano de obra intensiva.
- Favorecer el desarrollo y fortalecimiento de contratistas locales.
- Fortalecer la gestión administrativa, técnica y económica de las entidades viales.
- Promover la seguridad vial.
- Coadyuvar a la preservación y conservación ambiental.

Propuesta de procedimiento para la priorización de caminos de BVT

En razón de las crecientes demandas sociales por el mejoramiento de las vías de BVT y la limitada disponibilidad de recursos para atenderlas, en este trabajo se considera conveniente recomendar un procedimiento de priorización que permita a las autoridades viales y a la comunidad optimizar los recursos y lograr eficacia en las intervenciones que se decidan, y que sea fácil de aplicar con información disponible o fácil de obtener. Por la experiencia en la fa-

cilidad y utilidad de la aplicación, se sugiere un procedimiento basado en el método multicriterio.

FACTORES QUE AFECTAN LA PRIORIZACIÓN

Los factores que deben tomarse en cuenta como elementos de evaluación para la priorización dependerán de las políticas viales establecidas o que se establezcan para las vías de BVT en cada país o en una región de un determinado país. En general, para los países suramericanos correspondientes a este estudio, dichos factores se pueden clasificar en las siguientes categorías: social, económica, técnica y ambiental.

Social

Esta categoría tiene relación con la valoración de los beneficios que puede conseguir la comunidad o población aledaña a la vía debido al mejoramiento de las vías de BVT. Tales factores pueden incluir la población beneficiada y accesibilidad a servicios primarios mediante la vía, entre otros.

Población beneficiada

Es importante conocer el número de personas a las que puede beneficiar el mejoramiento de la vía que se va a intervenir, con el propósito de dar prelación a aquellos caminos que favorezcan a una mayor cantidad de personas. Se propone que se cuantifique, considerando el número de viviendas por kilómetro, en un radio de 1 km con respecto al eje de la vía.

Accesibilidad a servicios primarios

Este criterio permite valorar la trascendencia que tiene para la comunidad el hecho de que el camino esté transitable y permita la movilización de las personas a los centros sociales, tales como centros de salud, escuelas o centros educativos, centros religiosos o iglesias, escenarios deportivos, cementerios, centros recreativos y similares, que estén ubicados en la zona de influencia de la vía. Se debe tener en cuenta que la priorización de los centros depende de la importancia que le asigne la propia comunidad interesada. Sin embargo, se recomienda que se dé prelación a los caminos que conduzcan a centros de salud y de educación, para facilitar el acceso de las personas que requieren atención médica y de los niños que van a los centros educativos.

Económica

En esta categoría se considera el beneficio económico que puede lograrse en el tránsito de los usuarios que utilizan la vía o por la productividad que se generará o se pueda generar en la zona del entorno del camino. Los factores que se propone considerar son el tránsito vehicular y la productividad de la zona, que pueden ser favorecidos con la mejora de la vía.

Volumen de tránsito

Se propone dar prioridad a aquellas vías en las que se presente un mayor flujo vehicular con un mayor número de vehículos pesados. Adicionalmente, hay que tomar en cuenta el potencial incremento de tránsito por el mejoramiento de la vía. En este caso se trata de proveer y considerar, en la priorización de las vías, los cambios que pueden producirse en los volúmenes de tránsito vehicular como consecuencia del mejoramiento del camino.

Productividad

La productividad que se desarrolla o se puede lograr en el área de afectación del camino es generadora de mayores recursos económicos, para lo cual se requiere tener caminos transitables permanentemente. Con tal propósito, se propone considerar la productividad de los terrenos en la siguiente forma: terrenos aledaños a la vía de baja, mediana y alta productividad.

Técnica

Los factores que se propone tener presentes dentro de la categoría son el tipo de superficie de rodadura existente, la conectividad entre los caminos que integren redes o circuitos viales, el ancho de calzada y la existencia de obras básicas de infraestructura. Estos factores están orientados a tomar en cuenta el mejoramiento de las vías que tienen mayor valor patrimonial y que se pueden mejorar en su transitabilidad mediante intervenciones continuas.

Ambiental

Los factores que hay que considerar en esta categoría incluyen, entre otros, el impacto ambiental y el impacto por el polvo. Se aclara que aun cuando el impacto por el polvo es de por sí un impacto ambiental, por su incidencia en los caminos de BVT, este factor se juzga de manera independiente.

Impacto ambiental

En este factor se consideran los aspectos ambientales que pudiesen resultar afectados durante la ejecución de los trabajos de construcción para el mejoramiento de la vía.

Impacto por el polvo de la vía

El polvo que se produce por el paso de los vehículos en vías no pavimentadas puede convertirse en un riesgo para la salud y la seguridad, y afectar gravemente la agricultura local. Por tal motivo es importante tener en cuenta este factor en el proceso de priorización.

PUNTAJES Y COEFICIENTES DE PONDERACIÓN PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS VÍAS DE BVT

Para establecer la priorización de las vías que se van a intervenir se propone el empleo de puntajes y coeficientes de ponderación, de manera que se puedan valorar las categorías y los fac-

tores utilizados como variables comparativas, en cada uno de los caminos que hay que analizar.

El primer paso en el proceso de priorización es definir los coeficientes de ponderación de las categorías, los cuales corresponden a la importancia relativa que se da a cada una de ellas. Una vez definidos estos coeficientes, se deben establecer los factores que se van a considerar en cada categoría para luego distribuir el coeficiente de cada categoría entre los diversos factores que la constituyen, obteniéndose el coeficiente de ponderación del factor. Los coeficientes deben ser los mismos para cada una de las vías que se desea priorizar.

Posteriormente, para cada camino se deben calificar los factores con un puntaje entre 0 y 1, de acuerdo con sus características específicas. La suma de los puntajes de los factores, ponderados por su respectivo coeficiente, corresponderá a la calificación de cada vía de BVT. La prioridad queda establecida al ordenar las vías por intervenir en orden descendente, según su calificación. Al respecto, se reitera que los factores y coeficientes deben ajustarse de acuerdo con las condiciones locales específicas de cada proyecto o conjunto de proyectos, teniendo en cuenta las políticas institucionales y las demandas y necesidades de las comunidades.

Más adelante se presentan las categorías sugeridas y sus respectivos factores (ver Cuadro 9, p. 67).

Otros factores específicos que podrían considerarse, dependiendo de las condiciones particulares, son los siguientes:

- Topografía

La pendiente de una vía tiene un gran impacto en el tipo y costos de mejoramiento de ésta. Las secciones empinadas incrementan los requerimientos de drenaje, ya que el daño causado por el flujo de agua se incrementa en la medida en que la pendiente es mayor. Así mismo, cuanto más pendiente sea el camino, mayor es la necesidad de proveer acceso para cualquier clima.

- Combinación de clima y condiciones del suelo

La combinación de clima y tipo de suelo determina el nivel de accesibilidad en una vía con superficie no pavimentada. Para un mismo volumen de tránsito se podría requerir que el camino tenga superficie totalmente protegida en ciertas condiciones ambientales, mientras que para otras condiciones climáticas la superficie sin cubrimiento o protección podría ser satisfactoria.

- Tránsito mixto que utiliza la vía

En los países en desarrollo es común la presencia de tránsito mixto en las vías de BVT. Por esta razón, y tomando en cuenta aspectos socioeconómicos, el tránsito no motorizado puede tener una influencia importante en la priorización de vías de BVT.

Síntesis

La escasez o limitación de recursos económicos destinados para atender la creciente demanda social por el mejoramiento de vías de BVT obliga a establecer prioridades para optimizar el uso de los recursos y conseguir mayor eficacia en los resultados que coadyuven al bienestar colectivo, de modo que todas las acciones converjan hacia el logro de las políticas establecidas. Para tal fin se debe diseñar una herramienta que justifique y facilite la selección y la asignación de prioridades de intervención vial, y que provea información para el seguimiento y la evaluación de los resultados obtenidos.

Para la selección y la priorización de las intervenciones orientadas a mejorar vías de BVT es viable usar modelos como el multi-criterio, en el cual se pueden incluir categorías o criterios de evaluación y factores de ponderación que permiten valorar, de manera adecuada y sustentable, los beneficios sociales, económicos y técnicos de mejorar una vía de BVT; en este documento se ha propuesto una metodología particular basada en dicho modelo. En los casos en que los beneficios económicos sean considerables y se disponga de la información requerida, es aconsejable emplear el modelo RED, el cual se ha utilizado con eficacia en los países estudiados.

Se recomienda que los procesos de priorización sean participativos e involucren a los actores interesados: habitantes de la zona, líderes sociales, autoridades viales regionales, autoridades viales centrales, transportadores, etc., quienes deben participar en la formulación de las categoría o criterios, en el establecimiento de factores de ponderación, en el levantamiento de información de las vías existentes, en el proceso de priorización propiamente dicho y en la ejecución de los proyectos. De esta manera, los planes viales resultantes reflejarán las necesidades reales de todas las partes interesadas y responderán a la problemática estudiada.

Es importante tener una visión global de la vialidad en los procesos de priorización de vías de BVT. En tal sentido, hay que tomar en cuenta que estas vías forman parte de una red y que su mejoramiento debe contribuir a la conectividad de la región y del país involucrado.

Los procesos de priorización han de caracterizarse por ser transparentes y sencillos. La lista de vías organizada de acuerdo con las prioridades obtenidas debe ser inmune a cualquier intervención de tipo político, comercial o de intereses privados, y ha de responder únicamente a las necesidades identificadas por los participantes. Así, se espera reducir significativamente las formas subjetivas de selección y priorización para beneficiar intereses particulares.

CUADRO 9. RESUMEN DE PUNTUACIÓN DE FACTORES PARA EFECTOS DE PRIORIZACIÓN DE VÍAS PARA INTERVENCIONES DE MEJORAMIENTO

Categoría	Coefficiente de ponderación de la categoría	Factor		Puntaje factor	Coefficiente de ponderación factor
Social	C1 (%)	Población beneficiada	Puntaje sugerido	P1	F1 (%)
		Concentrada (más de 10 viviendas/km)	1		
		Media (de 5 a 10 viviendas/km)	0,6		
Económica	C2 (%)	Dispersa (menos de 5 viviendas/km)	0,2		
		Accesabilidad a servicios primarios	Puntaje sugerido	P2	F2 (%)
		Centro de salud y escuela	1		
		Centro de salud o escuela	0,7		
		Otros centros sociales	0,3		
		Volumen de tránsito	Puntaje sugerido	P3	F3 (%)
		Entre 151 y 250 vehículos/día	1		
		Entre 101 y 150 vehículos/día	0,7		
		Entre 50 y 100 vehículos/día	0,4		
		Incremento del tránsito por el mejoramiento de la vía	Puntaje sugerido	P4	F4 (%)
		Alto	1		
		Medio	0,5		
Bajo	0				
Productividad	Puntaje sugerido	P5	F5 (%)		
Terrenos aldeaños a la vía de alta productividad	1				
Terrenos aldeaños a la vía de mediana productividad	0,5				
Terrenos aldeaños a la vía de baja productividad	0				
Técnica	C3 (%)	Tipo de superficie de rodadura	Puntaje sugerido	P6	F6 (%)
		Material granular estabilizado	1		
		Tierra	0,4		
		Conectividad	Puntaje sugerido	P7	F7 (%)
		Con una vía primaria	1		
		Con una vía secundaria	0,8		
		Con una vía terciaria	0,6		
		Ancho de calzada	Puntaje sugerido	P8	F8 (%)
		Mayor o igual que 5,0 m.	1		
		Menor que 5,0 m.	0,6		
		Existencia de obras básicas de infraestructura	Puntaje sugerido	P9	F9 (%)
		Existencia de terralenes, estructuras permanentes	1		
Inexistencia de terralenes, estructuras permanentes	0				
Ambiental	C4 (%)	Impacto ambiental	Puntaje sugerido	P10	F10 (%)
		Afectación baja o nula	1		
		Afectación media	0,5		
		Afectación alta	0		
		Impacto por el polvo	Puntaje sugerido	P11	F11 (%)
		Alto: zona con población densa y agricultura importante	1		
Medio: zona agrícola con población baja a media	0,5				
Bajo: zona con baja población y agricultura menor	0				

Nota: La sumatoria de los coeficientes de ponderación de las categorías debe ser igual a 100%; la sumatoria de los coeficientes de ponderación de todos los factores debe ser igual a 100%; la sumatoria de los coeficientes de ponderación de los factores que pertenecen a una categoría debe ser igual al coeficiente de ponderación de la categoría respectiva.

Fuente: elaboración propia.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO

La gran variedad de alternativas de mejoramiento disponibles para las vías de BVT, así como de los ambientes de carretera, imponen desafíos a los administradores y diseñadores viales en la búsqueda e identificación de la solución de mejoramiento más apropiada. Por esta razón es necesario contar con orientaciones que colaboren en la toma de decisiones.

Cualquiera que sea la situación particular del camino de BVT que se va a intervenir, es imperativo recalcar que se deben considerar los aspectos relativos a la seguridad vial. Con este propósito hay que efectuar auditorías o inspecciones de seguridad vial, y se deben implementar las medidas que éstas determinen. Las auditorías deberán efectuarse en las diferentes etapas del proyecto: diseño, construcción y puesta en operación.

Adicionalmente, si se desea que los mejoramientos implementados sean sostenibles y tengan rendimientos económicos favorables, es fundamental que durante la etapa conceptual del diseño, además de los aspectos puramente técnicos, se considere un marco conceptual más amplio, que incluya otros factores relacionados con el entorno de la carretera (naturales, operacionales y otros), que involucren el concepto de un Diseño Ambientalmente Optimizado (DAO).

Finalmente, la implantación del empleo de materiales no estándar para el mejoramiento de caminos de BVT requiere procesos rigurosos que permitan su sustentación técnica, económica, social y ambiental. Estos procesos lamentablemente no se aplican en muchas regiones de los países en desarrollo, por lo que al final de este capítulo se dan algunas orientaciones generales para que el uso de dichos materiales se realice de manera más racional y sistemática.

Diseño Ambientalmente Optimizado (DAO)

Tradicionalmente, los principales elementos en el proceso de diseño de una vía de BVT se concentraban en el tránsito y en la selección de materiales y de sus espesores dentro de cada capa de la estructura del pavimento. La experiencia ha demostrado que esta aproximación tradicional es inadecuada para las carreteras de BVT y que se deben tomar en cuenta factores adicionales, relacionados con el ambiente de la carretera, si se desea que los diseños sean sostenibles y tengan rendimientos económicos.

En general, se puede decir que el desempeño de las carreteras de BVT depende de una serie de factores que acumulativamente se pueden describir como el “ambiente de la carretera” (natural, operacional y otros). Los factores del ambiente natural, del ambiente operacional, así como los otros factores involucrados en el ambiente de la carretera, se pueden agrupar de un modo amplio e incluyen materiales de construcción, clima, hidrología superficial y sub-superficial, topografía, suelos de subrasante, función de la carretera, régimen constructivo, régimen de mantenimiento, políticas y factores socioeconómicos, entre otros. Algunos factores, como los relacionados con el ambiente natural, no son controlables, mientras que muchos de los factores del ambiente operacional se consideran controlables.

Teniendo presentes los anteriores aspectos, en algunas regiones se ha cambiado el enfoque tradicional de diseño de las vías de BVT, por un enfoque de diseño que se conoce como diseño ambientalmente optimizado (DAO)^{26,27}. Es claro en este enfoque que, mientras que en las autopistas y carreteras de orden nacional la prioridad se orienta normalmente al tránsito a altas velocidades de manera confortable, en las carreteras de BVT se le da prelación a realizar un viaje seguro y confiable; es decir, llegar al destino en forma segura y sin que se encuentren impedimentos físicos para el paso en el trayecto. Esto explica la presencia de algunos tipos especiales de superficies de rodadura, como los empedrados y la placa huella, en este tipo de caminos.

Según diferentes referencias, el enfoque de DAO se puede considerar el marco más general para la aplicación apropiada de diseños de vías de BVT. Este enfoque cubre un espectro de soluciones para el mejoramiento o la creación de acceso, desde tratar con áreas individuales críticas en la carretera (mejoramientos puntuales) hasta suministrar un mejoramiento de toda la longitud. El principio clave de este enfoque es que el diseño sea compatible con los factores ambientales que gobiernan la carretera y que, en consecuencia, sea factible modificar este diseño a lo largo de la longitud de la carretera, si es del caso.

Con este enfoque, cada carretera se diseña para cumplir con sus condiciones ambientales específicas y se permite que los recursos sean ubicados en las áreas que pueden tener un alto riesgo de ingeniería, problemas significativos en aspectos de seguridad o una alta prioridad socioeconómica.

Los aspectos más significativos relacionados con el servicio de la carretera se incorporan en el enfoque del DAO. Entre éstos cabe citar el tránsito, la gente, la seguridad y la accesibilidad, al igual que las condiciones a las cuales se debe ajustar la carretera, como el terreno, el clima, la capacidad de construcción y de mantenimiento, los materiales, los suelos de subrasante y los recursos financieros.

FACTORES QUE ENMARCAN LA SELECCIÓN DEL MEJORAMIENTO EN UN DAO

Teniendo en cuenta el enfoque emergente del DAO, los principales factores que hay que considerar en la selección del tipo de mejoramiento para una carretera de BVT, se pueden resumir así: (tomado y adaptado de las referencias 17 y 28).

26. *Low Volume Rural Road Environmentally Optimised Design Manual* (2009). Ministry of Public Works and Transport, Laos.

27. DF/55/001: *Dissemination of LVRR knowledge and experience*.

Module E6: *Environmentally optimized design (EOD)*.

28. *Surfacing Alternatives for Unsealed Rural Roads* (2005). The World Bank, September.

Factores ambientales naturales (clima, geología, hidrología y topografía)

Éstos pueden ser los factores más significativos que influyen en la selección del tipo de mejoramiento. Además tienen las mayores implicaciones sobre las necesidades de mantenimiento cuando se piensa en pavimentar las vías que lo requieran.

Algunas condiciones climáticas y geológicas pueden hacer impráctica una determinada opción de superficie de rodadura, como por ejemplo clima húmedo en combinación con materiales arcillosos, clima seco en combinación con materiales arenosos que generan gran cantidad de polvo y donde se presentan notables pérdidas del material de la superficie de la carretera, gradientes empinados junto con climas húmedos, o inundaciones frecuentes combinadas con superficies sin sello.

Factores ambientales operacionales relacionados con la ingeniería y los estándares de diseño, la seguridad de la carretera, las políticas y los aspectos organizacionales

La ingeniería aplicada debe ser la adecuada, teniendo presente que el tipo de mejoramiento seleccionado ha de ser apropiado para soportar el volumen de tránsito actual y futuro, que los materiales y las tecnologías deben estar disponibles y ser apropiadas para las condiciones locales, que la geometría y el alineamiento de la carretera sean acordes con las condiciones del terreno, y que el mejoramiento seleccionado sea consistente con el presupuesto disponible para la construcción y el mantenimiento, y con la capacidad de sostenibilidad futura.

Igualmente, hay que considerar las condiciones existentes en la localidad para el aseguramiento de la calidad y el ambiente posible de ensayos, definiendo tolerancias a cualquier riesgo de malas prácticas constructivas. Sobre todo en los países en desarrollo, se requiere contemplar el riesgo de daño por los camiones sobrecargados, el cual es un factor bastante importante en las carreteras de BVT, donde se tiene un ambiente de acceso que no es restringido y el control de cargas es laxo o simplemente inexistente. A este respecto, es necesario tener presente que algunas opciones de superficie son más tolerantes a las sobrecargas que otras.

En la evaluación de ingeniería también es recomendable considerar la durabilidad y los modos de deterioro de las diferentes alternativas de superficie, aspectos que dependen de varios factores críticos, tales como el volumen y la composición del tránsito, el ambiente y los estándares aplicados en el diseño y durante la construcción. Dentro de este análisis, es necesario evaluar el incremento en el tránsito y los cambios en su composición que pueden presentarse con la carretera en servicio, en especial cuando no se cuenta con rutas alternas en buenas condiciones o su nivel de servicio es inferior al de la vía mejorada. Por otro lado, tomando en cuenta las condiciones de materiales y de construcción que normalmente se dan en las carreteras de BVT, es recomendable que la vida de servicio de la alternativa de superficie que se considere para la selección corresponda a la inferior estimada.

En los países en desarrollo, algunos de los factores anteriormente citados pueden tener mayor importancia que otros. Aun cuando se han desarrollado tecnologías confiables junto con una gran variedad de materiales, muchas de ellas requieren trabajadores capacitados, altas inversiones de capital en equipos y materiales, los cuales rara vez están disponibles a precios razonables para las carreteras de BVT, en particular en las áreas apartadas de los centros urbanos, lo cual podría hacer inapropiadas estas tecnologías.

Por otra parte, aunque exista disponibilidad de fondos, el uso de tecnologías de vanguardia se puede ver obstaculizado por problemas locales, tales como la ausencia de trabajadores capacitados, cadenas de suministro prolongadas y consecuentemente lentas para prestar soporte a la maquinaria, grandes distancias de transporte y ausencia de medios para suministrar mantenimiento a largo plazo, por mencionar sólo unos pocos. Adicionalmente, el empleo de tecnologías importadas contribuye muy poco al desarrollo regional, en especial cuando hay una disparidad sustancial entre los niveles de capacitación local y los demandados por la tecnología. A menos que las políticas definan otras orientaciones, concentrarse en el uso del rango de recursos localmente disponibles se considera que puede ser esencial en estas circunstancias.

Otros retos de la ingeniería de carreteras de BVT se refieren a los diseños geométricos y a la presencia de tránsito mixto –motorizado y no motorizado–. Por lo general, estos aspectos no están considerados en los estándares de diseño de las carreteras de altos volúmenes de tránsito. Se debe tener presente que los estándares de diseño adoptados causan un impacto significativo sobre los costos de construcción y de mantenimiento de la carretera, por lo que su adecuada consideración es clave para el éxito y la rentabilidad del mejoramiento.

La seguridad es un aspecto que no se debe descuidar cuando se discute un cambio significativo en el modo de operación de una carretera de BVT. En países en desarrollo, la tasa de fatalidad en accidentes de tránsito es 30 a 40 veces mayor que en países desarrollados. Estos niveles se deben a diversas causas, principalmente factores humanos asociados con el comportamiento del conductor, la mezcla de tránsito motorizado y no motorizado y el aumento de velocidad sobre una superficie sellada, cuyo trazado geométrico es inconsistente. Los vehículos sobrecargados también incrementan la tasa de accidentes.

Finalmente, en la selección del tipo de mejoramiento hay que atender las políticas establecidas, si existen, o si es del caso, fijar un marco político en el que se definan claramente el papel de la red vial de BVT y los objetivos de desempeño y servicio –incluyendo restricciones de tránsito, control de cargas y tipo de acceso–, el estatus legal y los responsables de la gestión, teniendo en cuenta al gobierno, a la comunidad, al sector privado, así como las funciones de otros interesados. Igualmente, dentro del marco político es importante que se definan lineamientos para el desarrollo de recursos humanos y el uso de tecnologías, apoyadas en

mano de obra intensiva, maquinaria o intermedias, el empleo de materiales no estándares localmente disponibles y la atención a aspectos sociales, ambientales y de sostenibilidad.

Otros factores (ecológicos, económicos, sociales y físicos)

En vías de BVT, específicamente en escenarios rurales, los impactos ecológicos, sociales y físicos se deben incluir dentro del proceso de planeación y en las fases de diseño, para asegurar que no se altera el delicado equilibrio en los hábitats de vida silvestre, de los bosques y terrenos cultivables (17).

En un sentido amplio, la combinación de aspectos ecológicos, económicos, sociales y físicos se podría considerar otro factor, netamente ambiental. Dentro del aspecto ecológico, el impacto sobre la flora y la fauna, las amenazas a especies exóticas, el agotamiento de recursos no renovables, y la erosión regresiva y progresiva, son cuestiones que requieren atención en los procesos de evaluación y de selección de la alternativa de mejoramiento.

Entre los análisis económicos se deben hacer consideraciones sobre los costos de diseño y construcción, los costos de mantenimiento, los costos por daños debidos a inundaciones y la disminución del valor de la tierra.

En cuanto al aspecto social, en las carreteras de BVT –específicamente en carreteras rurales– se tiene la tendencia a realizar análisis sobre los impactos que el tipo de superficie de rodadura que se adopte pueda tener en áreas como la salud y la seguridad, en los accidentes de tránsito, en el uso de la tierra y en la población.

Igualmente, se recomienda tener en consideración el aspecto estético, así como otros relacionados con la contaminación del aire y del agua, la generación de ruido, el impacto del polvo, la alteración de los cursos de drenaje y el efecto sobre la vegetación natural.

En términos generales, se puede afirmar que los factores socioeconómicos se están convirtiendo en las mayores fuerzas direccionales en la selección de las alternativas de mejoramiento y en particular de las superficies de rodadura de los caminos de BVT.

Diferentes agencias de gobierno y organizaciones de transporte, entre ellas la *FEDERAL LAND HIGHWAY* (FLH), división de la *FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION* (FHWA), han sido pioneras en la introducción del concepto de soluciones sensibles con el entorno o diseños sensitivos con el contexto, los cuales se definen como “Un enfoque colaborativo e interdisciplinario que involucra a todos los interesados en desarrollar facilidades de transporte que se adapten a su entorno físico y preserven los escenarios estéticos, históricos y los recursos ambientales, mientras mantienen la seguridad y la movilidad” (17).

Metodología para la selección de las técnicas de mejoramiento

Cuando se ha seleccionado una vía mediante el proceso de priorización para mejorarla, el tomador de decisiones se enfrenta al reto de determinar la técnica que resulte más apropiada, con la cual se alcancen los objetivos del proyecto. De manera práctica, el proceso para la selección de alternativas de mejoramiento de vías de BVT parte de aspectos eminentemente técnicos, para incorporar posteriormente aspectos sociales, económicos, ambientales y de política, en general, que involucren a la comunidad. Como resultado de la aplicación de la metodología propuesta, se podrán identificar las soluciones de mejoramiento más apropiadas, de tal modo que se facilite la adopción de una alternativa que sea duradera, rentable, cumpla con los objetivos del proyecto en particular y se encuentre enmarcada dentro de las políticas de desarrollo establecidas.

La metodología propuesta para la definición de una posible solución de mejoramiento, en la vía seleccionada, consta de dos partes. En la primera se identifican las soluciones generales de mejoramiento viables para el camino en estudio y en la segunda se orienta el proceso para la selección de una solución particular. Se ha buscado que el proceso propuesto permita la eficiencia práctica, la transparencia, la flexibilidad y la participación de los interesados por el mejoramiento del camino en la toma de decisiones.

ESTABLECIMIENTO DEL TIPO DE SOLUCIÓN GENERAL DE MEJORAMIENTO

En esta etapa, eminentemente técnica, se debe establecer la condición inicial de la vía para definir el tipo de solución general viable para su mejoramiento. A este respecto se ha de identificar si el mejoramiento apunta a solucionar problemas de tipo funcional del camino o de tipo estructural, entendiéndose por problemas de tipo funcional los asociados con las características superficiales de la vía que intervienen en la calidad del rodado, en la comodidad de circulación y en la seguridad de los usuarios, que no están relacionados con la capacidad de soporte de las capas subyacentes, y por problemas de tipo estructural los asociados directamente con la capacidad de las capas subyacentes para soportar las cargas del tránsito en las condiciones de servicio.

Si la estructura del camino es suficiente, se deben identificar los problemas de naturaleza funcional que se desean corregir con el mejoramiento y, en consecuencia, escoger la alternativa de mejoramiento más adecuada para resolver el problema o problemas en particular.

Por otra parte, si la estructura del camino en estudio es insuficiente será necesario identificar, como primer paso, la calidad y cantidad de los materiales existentes en la vía. Si éstas son adecuadas, la capacidad estructural se podría garantizar mediante una apropiada conformación y compactación de los materiales existentes, sin necesidad de hacer modificación alguna ni de incorporar nuevos materiales, o de otros materiales de mejor o igual calidad que los

existentes. Si, por el contrario, la calidad o la cantidad de los materiales existentes es deficiente para garantizar la capacidad estructural requerida, se necesitaría la incorporación de capas estructurales adicionales, tales como capas de material granular, o la estabilización de los materiales existentes en la vía; en algunas ocasiones, la cantidad de material existente en la vía puede hacer necesaria la incorporación de materiales foráneos dentro de los procesos de estabilización. Cabe anotar que aunque los materiales existentes tengan buena calidad, cualquier actividad que involucre la incorporación de nuevas capas o nuevos materiales, en este contexto, se considera una estrategia de mejoramiento.

Cualquiera que sea la situación que se presente, es imperativo garantizar en el camino una estructura capaz de soportar las cargas de tránsito esperadas después del mejoramiento. Una vez asegurada la condición estructural del camino, ya sea que la tenga originalmente o que se consiga tras su intervención o estabilización, se debe proveer una superficie de rodadura que satisfaga las necesidades funcionales particulares del camino.

Teniendo en cuenta las características específicas del camino de BVT que hay que mejorar, y las necesidades particulares tanto estructurales como funcionales identificadas, se podrán escoger del Cuadro 6 “Prácticas de mejoramiento de caminos de BVT”, aquellas opciones de mejoramiento que respondan a la problemática del camino. Para conveniencia del lector, a continuación se transcribe la definición de la clasificación de las técnicas de mejoramiento asociada con dicho cuadro:

- Tecnologías universales. Comprenden las tecnologías plenamente aprobadas y de uso generalizado en el mundo, sobre las cuales existe una gran cantidad de información relativa a su diseño, su construcción y su desempeño en el tiempo. Son de aplicación frecuente en diversos lugares y entornos, y existe una normativa plenamente establecida para su uso.
- Tecnologías innovadoras. Comprenden tecnologías respaldadas en estudios técnicos y experiencias exitosas. A diferencia de las llamadas tecnologías universales, éstas no han sido universalmente probadas y su desempeño a muy largo plazo aún está en proceso de evaluación. En algunos de los países en los que se han aplicado hay una normativa plenamente establecida; sin embargo, no se ha generalizado la implementación de dicha normativa.
- Tecnologías experimentales. Comprenden tecnologías que no se han aplicado extensivamente, y la documentación relativa a su aplicación, desempeño y normatividad es, en general, muy limitada. Entre estas tecnologías se encuentran aquellas que utilizan productos de marcas registradas y protegidos por patentes, que dificultan la identificación de los factores que pueden incidir en su desempeño.

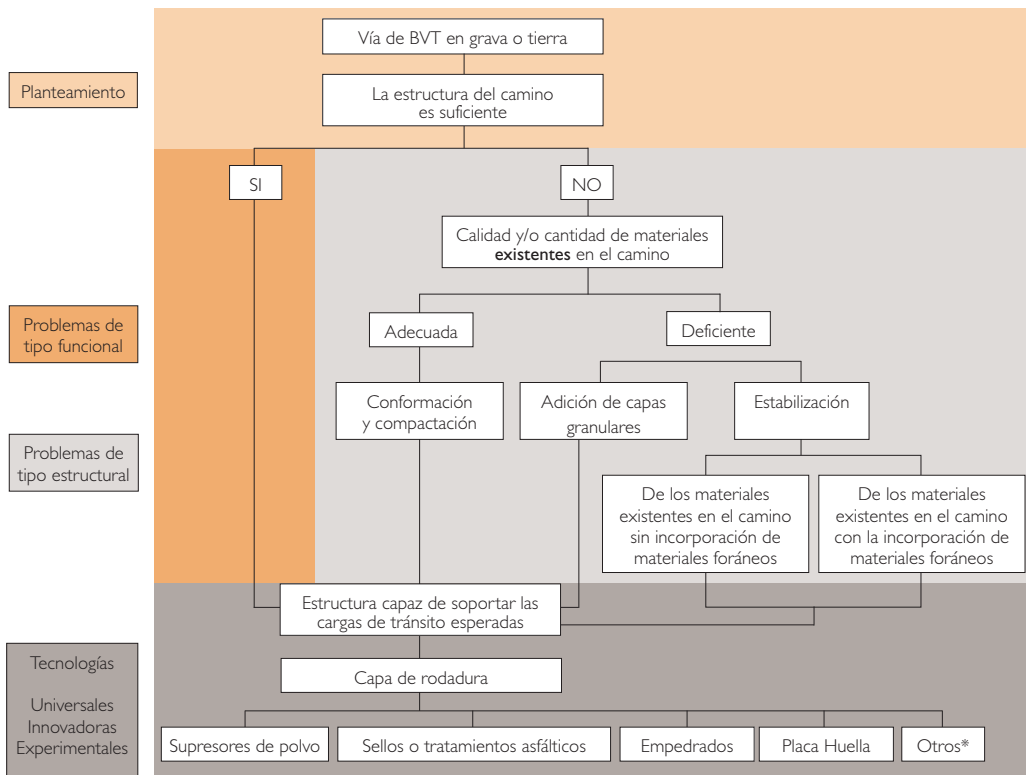
Si la capacidad estructural del camino no es suficiente, hay que garantizarla, como se dijo anteriormente, mediante la aplicación de alguna de las opciones que clasifiquen dentro del

grupo 1: Soluciones estructurales. Como se debe proveer una superficie de rodadura que aporte las propiedades funcionales requeridas, el siguiente paso consistiría en seleccionar alternativas de mejoramiento que clasifiquen dentro del grupo 2. Por otra parte, si la capacidad estructural del camino es suficiente, el abanico de opciones de mejoramiento aplicables al camino se reduciría a las técnicas pertenecientes al grupo 2: Soluciones funcionales.

Se sugiere que se favorezca, en primera instancia, la utilización de tecnologías universales, aprovechando la gran cantidad de información documental, las experiencias prácticas existentes y la normatividad establecida con respecto a su uso. Sin embargo, no se excluye el uso de tecnologías que pertenezcan a las categorías de tecnologías innovadoras o experimentales, siempre y cuando su uso se respalde con estudios estructurados, ensayos de laboratorio y tramos de prueba, que aseguren su adecuada implementación y adopción.

En la Figura 1 se presenta un esquema del procedimiento que se debe seguir para la selección del tipo de solución general.

FIGURA 1: ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE SOLUCIÓN GENERAL



*Incluyen capas de aporte estructural y funcional, tales como hormigones asfálticos, hormigones de cemento Portland, Adoquines.

ORIENTACIONES PARA LA DEFINICIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE MEJORAMIENTO

De la etapa anterior se obtiene una lista de posibles alternativas de mejoramiento que pueden satisfacer las necesidades funcionales o estructurales del camino considerado. Una vez establecida dicha lista, es necesario seleccionar, entre todas las alternativas, una secuencia de soluciones si el problema es estructural (es decir, una solución del grupo 1 para alcanzar la capacidad estructural necesaria y una solución del grupo 2 para proveer una capa de rodadura), o una solución particular del grupo 2, si el problema es exclusivamente funcional.

Con el propósito de reducir el número de alternativas de solución para el mejoramiento se recomienda realizar un filtro intermedio, también eminentemente técnico, considerando para este efecto factores relacionados con el ambiente natural de la carretera, que pueden hacer inviable la aplicación de la tecnología asociada. Entre los factores del ambiente natural que hay que considerar, se encuentran el clima –árido, húmedo o súper húmedo–, el terreno –plano, ondulado, montañoso– y el tipo de suelo –distribución granulométrica, presencia de finos, plasticidad–. Este último es especialmente válido al considerar las alternativas de estabilización, en particular las contempladas en el grupo 1 del primer nivel de empleo (cal, cemento o asfalto), cuyos ámbitos de aplicación están plenamente establecidos, y muy posiblemente con esta simple inspección se puede definir la solución particular para el mejoramiento de la capacidad estructural del camino.

Es quizás para la definición del tipo de superficie de rodadura, o del tipo de solución particular al problema funcional, donde hay que involucrar un mayor número de aspectos no necesariamente técnicos y que requieren especial consideración en caminos de BVT, donde, en muchas ocasiones en los países en desarrollo, se pretenden resolver con su mejoramiento ciertos temas que pueden ser controversiales, tales como la generación de empleo en las etapas de construcción y de conservación, uso de determinados materiales, así como atender los impactos sociales, económicos y ambientales que se pueden derivar del mejoramiento del camino.

En este caso, en el proceso recomendado (adaptado de 17 y 28) para la selección de la alternativa de mejoramiento se contempla la conformación de un grupo de trabajo que está ligado a la magnitud e importancia del proyecto. En proyectos menores, puede resultar suficiente que el grupo de ingenieros de la agencia vial, o de la entidad encargada (pública o privada), interactúe con la comunidad por medio de entrevistas directas, mientras que en proyectos de mayor envergadura, representantes de la comunidad, de proveedores de materiales, de consultores, de contratistas, de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, de grupos ambientales, entre otros, pueden colaborar en la definición de la opción de superficie más adecuada.

Dentro del proceso propuesto, y con el propósito de hacer una evaluación integral, se establecen los atributos de la superficie del camino que el grupo de trabajo encargado de la selección de la alternativa de mejoramiento debe contemplar. En este contexto, se entiende

por atributo la cualidad, característica o propiedad que debe tener la superficie de rodadura del camino de BVT para satisfacer las necesidades específicas de movilización de los usuarios y para su implementación.

Se recomiendan las siguientes tres categorías de atributos:

1. Atributos de durabilidad y desempeño

- Durabilidad. Se refiere a la probabilidad de que la superficie trascienda la vida esperada sin defectos prematuros.
- Vida útil. Corresponde al período durante el cual la superficie de rodadura presenta un adecuado nivel de desempeño, requiriendo, además de la conservación rutinaria, solamente actividades de mantenimiento preventivo.

Tanto la durabilidad como la vida útil se ven afectadas, entre otros factores, por el tránsito. Por tal razón, el tránsito debe ser un dato de entrada básico en el proceso de selección, evaluándose la incidencia de los vehículos pesados o sobrecargados.

Es claro que la clasificación del tipo de mejoramiento con base en el tránsito es efectiva para volúmenes altos, pero no reduce la lista de opciones de superficie para carreteras con volúmenes de tránsito bajos. No obstante, para una superficie en particular, se debe tener presente que permitir volúmenes de tránsito por encima del rango especificado da lugar a expectativas de vida muy disminuidas y a costos de mantenimiento inaceptablemente altos.

- Calidad de rodado. Relacionada con la regularidad o rugosidad y la textura de la superficie, tal como la perciben los usuarios del camino.
- Seguridad. Asociada con los riesgos relevantes para los conductores, tales como la generación de polvo, el rocío excesivo de agua desde la superficie del camino, la pérdida de partículas de agregado que pueden generar problemas en los parabrisas de los vehículos, la resistencia al deslizamiento, especialmente en temporada húmeda, y por último, la seguridad asociada con la posibilidad de realizar demarcación horizontal sobre la superficie del camino.

2. Atributos de construcción y de sostenibilidad

- Competencia y capacitación del personal requerido. Se encuentran estrechamente relacionadas con la tecnología seleccionada. Como guía (28), se considera que el nivel de capacitación del personal es bajo, si las capacidades necesarias para realizar las labores se pueden adquirir directamente en el mismo trabajo en poco tiempo, lo que por lo general significa empleo inmediato; el nivel es medio si se requiere entrenamiento y un mayor tiempo en el trabajo para alcanzar las destrezas necesarias. Las

competencias y el nivel de capacitación requeridos son altos cuando se encuentran asociados con un proceso de educación y de entrenamiento formal.

- Requerimiento y disponibilidad de equipos. La disponibilidad en el mercado y los costos locales de los equipos de producción y construcción son consideraciones esenciales dentro del proceso de selección de la alternativa de superficie más adecuada.
- Necesidades de material importado. Se considera que un material es importado cuando no se produce localmente y debe transportarse por largas distancias. Algunos materiales, como por ejemplo el asfalto, el cemento, la cal o el acero de refuerzo, pueden no encontrarse disponibles en la zona del proyecto.
- Uso de recursos no renovables. Se deben proteger los recursos locales de tal manera que su disponibilidad pueda soportar un desarrollo futuro que sea sostenible.
- Requerimientos de mantenimiento. Los requerimientos de mantenimiento se refieren a la frecuencia con la cual se deben efectuar las intervenciones programadas.

3. Atributos económicos, sociales y ambientales

- Costos del ciclo de vida. El costo del mejoramiento es un criterio importante en la mayoría de los proyectos viales, incluidos los caminos de BVT. Las superficies tienen un amplio rango de costos unitarios que varían desde superficies no pavimentadas y no ligadas de bajo costo, hasta superficies pavimentadas con materiales manufacturados de costos elevados. El costo del ciclo de vida corresponde al valor presente neto de una superficie para un período de análisis específico, teniendo en consideración los costos iniciales de construcción, los costos de los usuarios y los costos esperados de mantenimiento y de cualquier rehabilitación requerida.
- Oportunidades de empleo. Se refiere al potencial que pueda tener una determinada técnica de mejoramiento para generar empleo directo.
- Impactos ambientales. Incluyen un amplio rango de impactos, como los que se pueden producir a corto plazo durante la construcción o a largo plazo durante el servicio del camino. Estos impactos incluyen la generación de ruido, de calor, los requerimientos de energía, los impactos generados en los procesos de manufactura y de colocación, los impactos sobre la calidad del agua, las especies acuáticas, la calidad de las plantas y del aire, la erosión, la generación de lixiviados, la escorrentía superficial, etc. Así mismo, incluye algunos aspectos indirectos como el incremento en el volumen de tránsito a causa del mejoramiento de la carretera.
- Calidad visual y compatibilidad con el entorno. La calidad visual se refiere a la apariencia de la superficie y si ésta resulta estéticamente agradable. Este aspecto se debe considerar

desde diferentes perspectivas, como la de los conductores que usan la carretera, la de los pobladores de la región y, en algunas circunstancias, la perspectiva de los turistas, quienes pueden ver la carretera como parte de un escenario. La compatibilidad con el entorno se refiere a la manera como la superficie de la carretera encaja dentro del entorno ambiental, cultural, histórico y visual. A este respecto, es necesario considerar el escenario del proyecto: si es decorativo –simplemente relacionado con la estética–, si es histórico, urbano o rural (17).

Ponderación y puntuación de atributos

En esta etapa se pondera cada atributo, representando cada factor de ponderación la importancia relativa, dentro del proceso de toma de decisiones, de los diferentes atributos. Cuanto más alto sea el factor de ponderación, mayor es la importancia del atributo considerado dentro del proceso de selección.

Al igual que en 17, se recomienda que el factor de ponderación de cada categoría no sea inferior al 20% ni superior al 50%, y que el factor de ponderación de cada uno de los atributos no sea mayor que el 20%; adicionalmente, la suma de los factores de ponderación asignados a todos los atributos debe ser igual a 100. Los factores de ponderación los debe asignar, con base en los detalles específicos del proyecto, el grupo de trabajo conformado para la selección de la alternativa de mejoramiento más apropiada.

Se debe señalar que no es fácil asignar factores de ponderación por defecto a cada una de las categorías y a cada uno de los atributos, debido a que cada proyecto tiene requerimientos únicos, que deben considerarse en su totalidad. La aproximación más efectiva consiste en asignar inicialmente todos los factores basados en los objetivos del proyecto, y luego ajustarlos con el equipo de trabajo.

El siguiente paso es asignar a cada atributo una puntuación, la cual debe resultar de la evaluación de la información que se tenga disponible sobre la técnica de mejoramiento, de la experiencia con su uso, así como de criterios de ingeniería, sociales y de política, entre otros. Normalmente se asignan puntajes entre 1 y 5, indicando 1 la peor cualidad o la menos deseable y 5 la mejor o la más deseable, con respecto a un atributo en particular. Más adelante se dan orientaciones generales con respecto a la asignación de puntajes en algunos atributos considerados dentro de las diferentes categorías (ver Cuadro 10, p. 80).

Una vez que todos los factores de ponderación y todos los puntajes se han asignado, se procede a calcular la puntuación total correspondiente a cada tipo de superficie y a ordenar las soluciones de acuerdo con su puntuación, con el propósito de identificar aquella superficie o el tipo de mejoramiento que resulte como el más oprimado.

El cálculo de la puntuación total se hace multiplicando el puntaje de cada atributo considerado

por su respectivo factor de ponderación y sumando todos estos resultados. La opción de mejoramiento que obtenga el mayor puntaje es la que cumple mejor todos los objetivos del proyecto.

Para una mayor claridad de la metodología propuesta, en el anexo se presenta un ejemplo.

CUADRO 10. INDICATIVO DE PUNTAJES PARA ALGUNOS ATRIBUTOS DENTRO DE CADA CATEGORÍA (ADAPTADO DE LA REFERENCIA 17)

	Atributo	Significado puntaje 1	Significado puntaje 5
		<i>Durabilidad y desempeño</i>	
1	Durabilidad	Durabilidad baja o cuestionable	Similar a la alta calidad de los concretos asfálticos en caliente o los concretos de cemento pórtland.
2	Vida útil	Corta	Prolongada
3	Calidad de rodado	Muy pobre. Superficie muy rugosa que solamente permite la circulación sobre ella a bajas velocidades.	Excelente, superficie de alta calidad con mínima rigidez que permitiría el desarrollo de altas velocidades si las condiciones geométricas de la vía lo permiten.
4	Seguridad	Deficiente. Alta probabilidad de desprendimiento de partículas, emisión de polvo, deslizamientos. Dificultad para la colocación de señales horizontales.	Alta. Baja a nula probabilidad de desprendimiento de partículas, de emisión de polvo. Superficie resistente al deslizamiento. Facilidad de demarcación horizontal que sea duradera.
5	Uso de recursos no renovables	Alto	Bajo
6	Disponibilidad de materiales y de contratistas calificados.	Los materiales debe transportarse por largas distancias o no se encuentran contratistas calificados en el área.	Materiales y contratistas fácilmente disponibles localmente.
7	Requerimientos de mantenimiento	Intervenciones frecuentes	Requerimientos mínimos
		<i>Económicos, sociales y ambientales</i>	
8	Costos del ciclo de vida	Altos	Bajos
9	Oportunidades de empleo	Bajas	Altas
10	Impactos ambientales	Significativos	Mínimos
11	Calidad visual	Muy convencional	Apariencia altamente agradable
12	Compatibilidad con el entorno	Inapropiada para el entorno	Muy apropiada
13	Otros		

Criterios para el uso de materiales no estándar o no tradicionales

La decisión para el empleo de materiales no estándar o no tradicionales ha de basarse en criterios técnicos, económicos, ambientales y ecológicos^{29, 30}.

Entre los aspectos técnicos, hay que efectuar una serie de ensayos y de evaluaciones que permitan identificar las medidas necesarias para usar apropiadamente el material. Estas medidas pueden incluir tratamientos para mejorar la calidad, como el lavado, el tamizado, el empleo de ligantes o la implementación de soluciones estructurales particulares, que incluyen el aumento de los espesores de las capas del pavimento o la utilización del material no estándar en las capas inferiores del pavimento que están sometidas a menores esfuerzos. En algunos países, la política es modificar los materiales no tradicionales para hacerlo encajar en las especificaciones, permitiendo así el uso de las prácticas de diseño convencionales.

29. *User guidelines for byproducts and secondary use materials in pavement construction.* (2008) FHWA. En, <http://www.recycled-materials.org/tools/uguidelines/index.asp>

30. *A framework for the appropriate use of marginal materials* (2002). J.R. Cook & C.S. Gourley. TRL Ltd, UK, World Road Association (Pirc) - Technical Committee C12 Seminar in Mongolia, June.

Desde el punto de vista económico, es necesario considerar el costo de los agregados tradicionales, entre éstos los costos de transporte desde la fuente hasta el lugar de aplicación, el costo de los materiales no tradicionales, incluyendo el hecho de que para establecer la idoneidad de su uso se requieren ensayos adicionales, y que, en el caso de agregados naturales, se hace necesaria la explotación de pequeñas canteras, donde resulta más costoso realizar los controles de calidad, junto con el costo de las medidas necesarias para hacer que el material no tradicional se adecue para su empleo y, finalmente, los costos indirectos que pueden resultar de la disminución en la producción de agregados de buena calidad, lo cual puede dar lugar a un incremento en su precio unitario, incidiendo de esta manera en el costo de las capas del pavimento que requieren su empleo.

En cuanto a los aspectos ecológicos y relacionados con la protección del ambiente, hay que considerar los siguientes factores: el uso de los sub-productos industriales y de los residuos reduce las áreas requeridas para su disposición o almacenamiento y, por tanto, mitiga los daños asociados con el terreno, aunque se puede presentar el riesgo de contaminar el agua freática. Por otro lado, el empleo de materiales naturales no tradicionales promueve la explotación de pequeñas canteras dispersas en toda la región, lo cual puede tener efectos negativos en el ambiente.

En todo caso, es imposible precisar reglas para el uso de los materiales no tradicionales, ya que existen demasiados factores que hay que considerar. En la mayoría de las publicaciones sobre el tema se dan puntos de referencia para su uso, el cual debe estar precedido de ensayos de laboratorio y de pruebas en tramos experimentales.

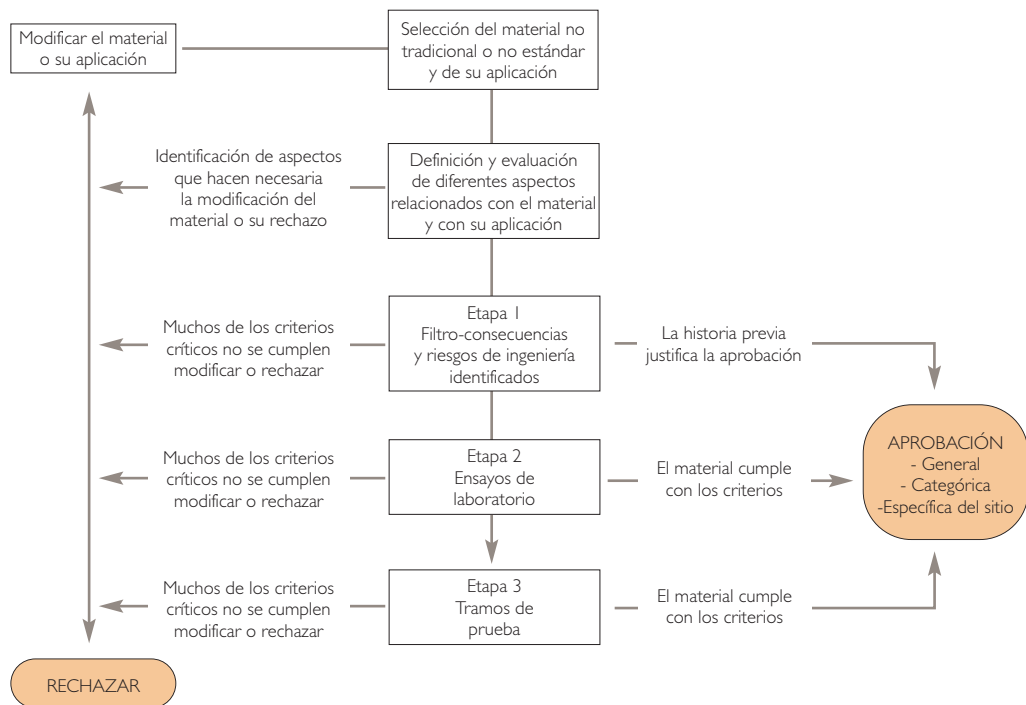
Proceso de evaluación de materiales no estándar para su empleo en carreteras

Varias entidades y agencias viales han hecho guías y metodologías para la evaluación de materiales no estándar o no tradicionales, que buscan suministrar bases transparentes y técnicamente sólidas para la toma de decisiones, con respecto al empleo de materiales no estándar (29, 30).

Algunos de estos trabajos han tenido como objeto proporcionar un recurso técnico con el cual las autoridades locales puedan tener argumentos de ingeniería sólidos para influir en los gobiernos y en las agencias financiadoras, de tal modo que se desarrollen e implementen estrategias para la selección apropiada de materiales no estándar o no tradicionales para la construcción de carreteras.

Un poco más adelante se muestra, de manera resumida, una metodología propuesta en 29 para evaluar la idoneidad de materiales no estándar o no tradicionales, para utilizarlos en la construcción o el mejoramiento de carreteras (ver Figura 4, p. 82). El objetivo del diagrama de flujo es destacar aspectos claves que se deben atender durante el proceso de evaluación, antes de tomar la decisión de utilizar, modificar o rechazar un material no convencional. El lector interesado puede consultar el procedimiento en detalle en las memorias de este documento o en la referencia 29.

FIGURA 4. DIAGRAMA DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD DE UNA MATERIAL NO ESTÁNDAR PARA SU APLICACIÓN EN CARRETERAS²⁹



Síntesis

Una vez seleccionados los tramos que se van a intervenir después de haber aplicado el proceso de priorización propuesto, el tomador de decisiones se enfrenta al reto de seleccionar la alternativa de mejoramiento más adecuada para las condiciones particulares del camino. La gran variedad de alternativas de mejoramiento disponibles para las vías de BVT, así como también el entorno de la carretera, imponen desafíos a los administradores y diseñadores viales en la búsqueda e identificación de la solución de mejoramiento más apropiada, que sea sostenible tanto ambiental como económicamente. Para lograr este objetivo, la implementación de prácticas relacionadas con un diseño ambientalmente optimizado (DAO) puede ser de gran utilidad.

El proceso propuesto para la selección de alternativas de mejoramiento de vías de BVT parte de aspectos eminentemente técnicos, para luego ir incorporando aspectos sociales, económicos, ambientales y de política que involucran a la comunidad; adicionalmente, busca que se tome conciencia sobre la gran diversidad de técnicas de mejoramiento disponibles, para fomentar su uso apropiado.

Dentro de la metodología propuesta para la definición de una posible solución de mejoramiento en la vía seleccionada, primero se identifican los tipos de soluciones generales de mejoramiento que requiere el camino en estudio, y luego se orienta el proceso para la selección de una solución particular. Como resultado, se podrán identificar las soluciones de

mejoramiento más apropiadas, de tal manera que se facilite la adopción de una alternativa que sea duradera, rentable, cumpla con los objetivos del proyecto en particular y se encuentre enmarcada dentro de las políticas de desarrollo establecidas. El proceso propuesto permite la racionalidad, la transparencia, la flexibilidad y la participación de todos los afectados por el mejoramiento del camino en la toma de decisiones.

Lo que persigue el proceso general de selección que se ha descrito es que se tome conciencia sobre la gran diversidad de técnicas de mejoramiento disponibles, y que el proceso de evaluación de alternativas de mejoramiento de caminos de BVT sea más detallado y riguroso de lo que se ve normalmente en la práctica, pero también flexible, y que permita realizar un adecuado balance entre la funcionalidad de la carretera, la durabilidad y el costo.

Vale la pena anotar que el proceso de selección propuesto es sólo una herramienta para comparar diferentes alternativas de mejoramiento de una manera racional y para aportar al grupo de trabajo información que le pueda ayudar en la toma de decisión. Puede darse el caso de que los factores de ponderación asignados a los diferentes atributos no reflejen completamente los objetivos del proyecto, por lo que la solución particular no sea aceptada del todo por los integrantes del grupo de trabajo. En este caso, es recomendable reajustar, debidamente justificados, los factores de ponderación y repetir el proceso de selección (17). Lo importante es no forzar el tipo de solución con base en decisiones políticas, pues así no se garantizarían la efectividad ni la eficacia de la inversión en el mejoramiento del camino de BVT.

Finalmente, hay que reconocer que en algunas ocasiones la disponibilidad de materiales locales no permite satisfacer los requerimientos exigidos, por lo que se requiere emplear materiales que aunque no cumplen con estándares de calidad preestablecidos, pueden, en ciertas circunstancias, atender las necesidades de acceso de manera satisfactoria. Por este motivo, es clave que aunque en general se trate de favorecer técnicas de mejoramiento probadas y confiables, no se descarte la utilización de ciertos materiales no estandarizados en situaciones para las cuales las condiciones particulares de la problemática de acceso así lo ameriten; cabe señalar, sin embargo, que el uso de este tipo de materiales debe hacerse en forma progresiva, y sustentada en criterios objetivos que de una u otra manera justifiquen su utilización.

Un aspecto relevante respecto a la selección y uso de las alternativas más eficientes y eficaces para el mejoramiento de caminos de BVT, que se encuentran en tierra o grava, se relaciona con una etapa previa de estudio, que debería llevarse a cabo en una región o en áreas más localizadas. En los países suramericanos, es recomendable llevar a cabo un estudio por región para evaluar la factibilidad (estratégica, técnica y económica) de la implementación o transferencias de aquellas tecnologías que respondan mejor al contexto de desarrollo presente y futuro de cada región específica. Por ejemplo, existen tecnologías más apropiadas para regiones secas o lluviosas, montañosas o de selva, etc.

SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES

En los países considerados en el estudio, existen diferentes ambientes políticos, administrativos, socioculturales, económicos y fisiográficos, por mencionar algunos, que pueden incidir de uno u otro modo en la provisión de una adecuada infraestructura vial. Las redes de caminos de BVT no son ajenas a esta realidad, por lo que es lógico encontrar una gran diversidad de enfoques y de estrategias para atender las necesidades tanto técnicas como de gestión de éstas. Algunas de las características identificadas en los países incluidos en el estudio, relacionadas con la problemática de los caminos de BVT, y que el grupo consultor considera relevantes, se incluyen a continuación:

- En los países de la región se tienen estructuras organizacionales para la atención de la infraestructura vial, entre las cuales algunos incluyen la red vial de BVT correspondiente a vías secundarias y terciarias, con funciones claramente definidas y plenamente establecidas. Se destaca el caso de Chile, por la competencia técnica, estabilidad y permanencia en el tiempo de los funcionarios, lo cual ha incidido de manera positiva en la aplicación de políticas y de programas en la red vial de BVT perdurables, permitiendo así mismo un adecuado seguimiento de las estrategias de gestión y del desempeño de las soluciones implementadas para el mejoramiento de esta red.
- En Chile y Perú hay un volumen importante de información sobre las vías de BVT y se percibe una gran preocupación por la investigación e implantación de soluciones económicas –y novedosas, en algunos casos–, para la atención y desarrollo de esta red. En otros países, no se perciben esfuerzos significativos de esta clase, y cuando existen, no son sistemáticos ni rigurosos, y muchas veces se convierten en esfuerzos puntuales o aislados que no perduran en el tiempo.
- En general, no se identifican políticas gubernamentales que den lineamientos para la recopilación y consolidación de información de condición y desempeño, que pueda usarse dentro de un sistema de gestión de pavimentos para caminos de BVT.
- La existencia de criterios, mecanismos y procedimientos para la selección y planificación de las intervenciones, en especial de mejoramiento, en la red vial de caminos de BVT

no se evidencia con la misma profundidad y rigor en todos los países de la región.

- Mientras que algunas naciones de la región cuentan con manuales de diseño de carreteras de BVT, en otros son inexistentes o no se encuentran actualizados. Por otro lado, en varios de estos países las normas y las especificaciones, si se tienen, son generales y están orientadas especialmente a las carreteras principales.
- Se identificó que algunos de los programas de mejoramiento de vías de BVT se han enfocado en soluciones de pavimentación, típicas de vías de medios y altos volúmenes de tránsito, empleadas de modo generalizado a lo largo de la vía. Se considera que estos programas habrían podido generar, con los mismos recursos que se destinaron en su momento, un impacto mucho mayor en cobertura y mejoramiento de los niveles de acceso de las poblaciones, si se hubieran definido políticas de beneficio colectivo con objetivos claros y si se hubieran contemplado estrategias y criterios para la selección de soluciones tecnológicas de mejoramiento diferentes, apropiadas para vías de BVT.
- Se advierte la aplicación de técnicas para el mejoramiento de vías de BVT, particulares y específicas a nivel nacional, e incluso regional. La mayoría de estas técnicas no cuentan con información documental consolidada que permita elaborar especificaciones de aplicación generalizada, atribuible, en muchos casos, a su carácter empírico. Tal situación dificulta la implementación de dichas soluciones en otras regiones, donde podrían ser viables si se tuviera este tipo de información.
- En varios países de la región se percibe que se están haciendo esfuerzos importantes para transitar de los caminos en tierra o grava, a otros estándares tecnológicos.
- En muchas regiones los materiales naturales son considerados “marginales” o “subnormales”, al no cumplir con las especificaciones técnicas que se encuentran aprobadas, aun cuando se cuente con experiencias en las cuales se hayan comportado satisfactoriamente.
- El mantenimiento rutinario que se hace en las vías de BVT es mínimo y en gran parte de los caminos no se realiza, sólo hay intervenciones cuando se vuelven prácticamente intransitables y las comunidades reclaman con insistencia, y hasta con movimientos sociales, la mejora de éstos.
- En los países de la región, hay escasez de criterios o de orientaciones en relación con el tipo y la oportunidad de mantenimiento o mejoramiento de carreteras en tierra o en grava, en especial con la determinación del tipo o de los tipos de superficie de rodadura apropiados, en carreteras de BVT.

Recomendaciones

Los caminos de BVT representan un reto particular, tanto para los gobiernos como para los diseñadores y administradores de carreteras, entre otros motivos por el desconocimiento generalizado y la escasa información que, en múltiples ocasiones, existe sobre la problemática de éstos y por la escasez de recursos económicos para su atención, la cual es generalmente de baja prioridad y se limita a algunos programas específicos, desarticulados por lo regular de la gestión de la infraestructura vial del país.

La gran longitud de los caminos de BVT, en tierra y grava, presentes en los países de la región, y el servicio que éstos prestan a las comunidades, ameritan una atención especial de parte de las autoridades viales, con el propósito de identificar y satisfacer las necesidades de mejoramiento que garanticen su transitabilidad en toda temporada, junto con un adecuado nivel de servicio. La definición de políticas, estrategias administrativas, prácticas técnicas, entre otros aspectos, facilitaría el cumplimiento de este propósito. Algunas recomendaciones orientadas en este sentido, que el grupo consultor ha identificado, se presentan a continuación:

- Las autoridades nacionales, regionales y locales deben interiorizar y reconocer que las vías de BVT son un bien público y que son elementos esenciales de integración territorial, de comunicación y, en especial, de inclusión social, como un derecho humano básico, para que las comunidades que habitan en las zonas más alejadas tengan la accesibilidad que les permita mantener su actividad socioeconómica para llevar una vida digna.
- Les corresponde a los gobiernos la responsabilidad de liderar, gestionar y proporcionar la cantidad y calidad de infraestructura para el transporte terrestre que requiere y demanda la sociedad para su progreso y bienestar. Teniendo en cuenta que dentro de esta infraestructura se encuentran las vías de BVT, es recomendable que se fije un marco político en el que se determine claramente el papel de esta red y sus objetivos de desempeño y servicio (incluyendo restricciones de tránsito, control de cargas y tipo de acceso, estatus legal y responsables de la gestión, etc.).
- Las políticas viales específicas relacionadas con las vías de BVT deben estar dirigidas a construir y mejorar caminos para proporcionar accesibilidad básica a la población, promover el desarrollo regional, facilitar la implementación de proyectos productivos que contribuyan a reducir la pobreza y generar empleo, fortalecer la integración territorial y la conectividad, resolver conflictos sociales o bélicos y promover la convivencia pacífica, disminuir costos de operación vehicular y facilitar el transporte de pasajeros y de carga.
- De manera general, las políticas también deben estar orientadas a transformar la situación actual, con una visión integral de la infraestructura y de los servicios de transporte terrestre, considerando su desarrollo y sostenibilidad de acuerdo con las demandas sociales de accesibilidad, así como aspectos de transitabilidad y de movili-

dad, el marco normativo y la organización institucional. Así mismo, deben garantizar una adecuada financiación que asegure los recursos necesarios para la sostenibilidad, dar prioridad al mantenimiento de la infraestructura vial, lograr un desarrollo tecnológico y formar personal competente para la gestión vial.

- Dentro del marco político que los gobiernos deben establecer, también es importante que se definan lineamientos para el desarrollo de recursos humanos y el uso de tecnologías, apoyadas en mano de obra intensiva, maquinaria o intermedias, el empleo de materiales no estándar, localmente disponibles, y la atención a aspectos sociales, ambientales y de sostenibilidad.
- Los gobiernos deben garantizar la disponibilidad de los recursos económicos mediante los mecanismos que se consideren convenientes, dentro de un marco político en el que no haya lugar a dudas de que el estado de las redes de vías de BVT es un componente primordial para alcanzar los objetivos de crecimiento y desarrollo de los países.
- Para poder enfocar la utilización de recursos de una manera óptima a largo plazo, es necesario establecer lineamientos que promuevan la recopilación y consolidación de información, dentro de un sistema geo-referenciado, sobre la red de BVT (inventario, condición y desempeño); información que puede utilizarse en los procesos de gestión. Mediante un sistema de esta clase será posible estimar, de un modo más confiable, la problemática particular que afecta el desempeño de las alternativas de mejoramiento utilizadas, y en consecuencia identificar de manera contundente las soluciones que mejor se adapten a las condiciones particulares de cada país y regiones dentro de ellos, consiguiendo un proceso de mejora continua del estado de la red.
- Es fundamental que los países fortalezcan los sistemas actuales de gestión vial en sus estructuras organizacionales, con el fin de que cualquier esfuerzo dirigido a mejorar la movilidad en las vías de BVT esté enmarcado dentro de un plan maestro que sea consecuente con las políticas de desarrollo nacionales. En este sistema, se deben definir claramente los objetivos que se buscan con la provisión de redes de BVT, para establecer prioridades y evitar que los recursos, limitados en la mayoría de los casos, se usen en una forma poco eficiente.
- Es conveniente, específicamente en los países que tienen sistemas de administración de las redes viales descentralizados, contar con un ente centralizado para promover políticas, gestionar recursos, estructurar planes y programas generales, unificar criterios de diseño, elaborar normas y especificaciones, estandarizar y controlar en parte la calidad de las obras, y efectuar seguimiento para el uso eficiente de los recursos. En algunos, quizá sea conveniente atender la construcción, reconstrucción y rehabilitación de ciertas vías. En cualquier caso, es recomendable que las entidades gubernamentales

del segundo y tercer nivel de gobierno atiendan la conservación de los caminos por estar más cerca para la identificación y solución de los problemas que se presenten.

- Es indispensable que se incentive la transferencia de tecnologías probadas en otros ambientes, entre las regiones del propio país y entre países, para el mejoramiento de vías de BVT. Para lograr esto se recomienda emprender acciones en investigación e intercambio de experiencias en temas relacionados con la infraestructura de las vías de BVT, en la capacitación de quienes van a promover y a aplicar dichas tecnologías a nivel local, así como en sistemas de implementación rigurosos y sistemáticos, documentados apropiadamente, que faciliten su adopción generalizada, evitando a su vez que estas acciones se realicen de manera aislada. Aunque en general se recomienda que se traten de favorecer técnicas de mejoramiento probadas y confiables, no se debe descartar la utilización de técnicas novedosas y experimentales, así como de ciertos materiales no estandarizados, en situaciones para las cuales las condiciones particulares de la problemática de acceso así lo ameriten; cabe destacar, no obstante, que el uso de nuevas técnicas y de este tipo de materiales debe hacerse de un modo progresivo, y sustentado en criterios objetivos, sólidos técnicamente y coherentes, que en una u otra forma justifiquen su utilización.
- Para la selección de la alternativa de mejoramiento para una determinada vía de BVT se recomienda seguir las orientaciones y los procedimientos descritos en el presente documento. Independientemente del tipo de solución que se va a implementar, es imperativo que su selección esté sustentada social, tecnológica, ambiental y económicamente.
- Para fortalecer el desarrollo y lograr una aplicación apropiada de la tecnología vial, se recomienda elaborar y aprobar normas y especificaciones específicas para las vías de BVT, y guías o manuales técnicos para la implementación práctica de las obras de mejoramiento.
- Para asegurar el adecuado desempeño de un camino de BVT, una vez efectuado su mejoramiento, es necesario garantizar su conservación mediante actividades de mantenimiento rutinario. Es deseable, dentro de lo posible, incorporar la utilización de personal local para las actividades de conservación rutinaria que se pueden realizar con herramientas manuales. Este personal se puede organizar mediante microempresas, cooperativas de trabajo, asociaciones comunitarias o similares, de lo cual hay valiosas y reconocidas experiencias en países latinoamericanos.
- Vale la pena anotar que aunque es posible que en algunos casos concretos la mano de obra se pueda utilizar no sólo en actividades de conservación sino también en actividades de construcción de diferentes técnicas de mejoramiento vial, en la mayoría de los casos los niveles de homogeneidad necesarios en los procesos constructivos para el desempeño satisfactorio de la vía no pueden alcanzarse de manera artesanal; por este

motivo, y con el valor agregado de generar una fuente de empleo estable en el tiempo, se reitera que la mano de obra local debe emplearse preferiblemente para la ejecución de actividades de conservación y mantenimiento rutinario (como limpieza de drenajes, corte y poda de vegetación, mantenimiento de señalización, etc.), absolutamente necesarias para garantizar la vida útil de cualquier solución de mejoramiento vial.

- Es recomendable llevar a cabo, en la región (países de la comunidad andina) o en áreas más localizadas (país o regiones de un mismo país), estudios concretos que permitan enmarcar diseños ambientalmente optimizados y evaluar así la factibilidad estratégica, técnica y económica de diferentes tecnologías y materiales para el mejoramiento y desarrollo de los caminos de BVT que se encuentran en tierra o grava.
- Algunos enfoques para garantizar acceso básico en caminos de BVT, como el de mejoramientos puntuales, concentrando las intervenciones solamente en las secciones difíciles de la carretera, podrían analizarse en estudios como el propuesto y aplicarse con mayor profundidad en los países de la región. Este enfoque tiene un gran potencial, cuando en las vías de BVT se consoliden los contratos de administración y mantenimiento, basados en el desempeño de la carretera.
- Soluciones de mejoramiento o de pavimentación diferenciales por sectores dentro de una misma vía, estabilizaciones en general y particularmente con asfalto espumado, empleo de materiales no estándar, supresores de polvo, sellos y tratamientos asfálticos de diferentes tipos y mejoramientos puntuales como empedrados y placa-huella para ciertos tramos críticos, tienen un gran potencial para aumentar la eficiencia en el uso de los recursos que se invierten en el mejoramiento de las vías de BVT que se encuentran en tierra y grava, por lo que la aplicación en los países de la región de muchas de estas soluciones debe considerarse teniendo en cuenta las condiciones particulares.
- Finalmente, se insiste en la importancia de efectuar auditorías e inspecciones de seguridad vial durante el diseño, la construcción y la puesta en operación de la vía mejorada. La seguridad es un aspecto que no se debe descuidar, aun en carreteras de BVT, y todas las acciones que se hagan deben estar encaminadas a garantizar un acceso seguro y confiable a las comunidades, en toda temporada.

ANEXO

EJEMPLO DE SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE MEJORAMIENTO

Descripción del proyecto

Vía rural en grava (afirmado), de 23 km de longitud, localizada al suroccidente de Colombia. La vía parte de una carretera principal y llega hasta una población con unos 8.000 habitantes; en su trayecto atraviesa dos caseríos que tienen entre 200 y 400 habitantes cada uno. Al final del trayecto, se encuentra un ancho y caudaloso río cuyo cruce requeriría la construcción de un puente de más de 500 m de longitud, pero esta obra no está contemplada en los planes de desarrollo de la región.

El terreno es montañoso, con pendientes transversales entre 20° y 35°; sin embargo, el trazado se desarrolla por una divisoria topográfica entre dos ríos, de manera que los cortes y terraplenes son en general de poca altura y las pendientes longitudinales no son en general muy altas, del orden de 4 a 6%, excepto en el kilómetro 10 –próximo al caserío de 400 habitantes–, donde se presenta un tramo de 500 m con una pendiente del 12%, y en el kilómetro 18, en una longitud de 400 m con una pendiente del 15%. El ancho de la calzada es de 6 m y los radios de giro son pequeños en general.

El clima es cálido y hay dos temporadas de lluvias, claramente definidas: de marzo a mayo y de septiembre a noviembre. La temperatura media está entre 20 y 25 °C, dependiendo del sitio (la altitud varía entre 1.200 y 500 msnm), y la precipitación media anual es de 3.000 mm por año.

Las principales actividades económicas de la región son la ganadería, la agricultura y la minería, en menor proporción.

En la región se encuentran disponibles materiales pétreos de buena calidad para la conformación de capas de base y de sub base, y para la construcción de todo tipo de capas de rodadura (mezclas de hormigón asfáltico o de cemento pórtland, sellos asfálticos, empedrados). Por otro lado, es fácil conseguir productos como cemento, cal, asfalto y emulsión asfáltica.

TRÁNSITO

El tránsito actual de la vía es de 110 vehículos por día, con un 65% de vehículos livianos y 35% de vehículos pesados, de los cuales 8% son buses y 27% son camiones de dos ejes.

NIVEL DE ACCESO

El nivel de acceso es deficiente. No hay épocas del año en que la vía sea intransitable, pero en temporadas de lluvias aparecen sitios difíciles de atravesar, poniendo en riesgo la seguridad de los pasajeros y de los vehículos, donde no es raro que los vehículos se entierren y requieran ayuda para pasar.

Los arreglos puntuales que se hacen añadiendo más grava en los sitios críticos mejoran el nivel de servicio en forma temporal solamente, pero no permiten obtener una mejora duradera. El tiempo típico de recorrido para los 23 km de longitud de la vía es de 1,5 horas, por lo que la velocidad promedio es del orden de 15 km/h.

ESTRUCTURA ACTUAL DE LA VÍA

La vía tiene una capa de grava (afirmado) con espesor variable, que está en general entre 10 y 30 cm, pero en algunos sitios alcanza espesores hasta de 75 cm. El material es de río, redondeado, sin plasticidad y tiene sobre-tamaños hasta de 25 cm en ciertos lugares; no se ha encontrado la forma práctica de incorporar finos con algo de plasticidad para mejorar la calidad del afirmado, debido a que todas las arcillas de la zona son de alta plasticidad y se encuentran con una humedad elevada en general.

Los suelos de sub-rasante están constituidos principalmente por limos y arcillas residuales de alta plasticidad (85 a 90% del trazado), de consistencia blanda a muy blanda en general, con CBR que varían entre 2 y 4% y niveles altos de humedad. En algunos tramos (10 a 15% del trazado), la sub-rasante está constituida por materiales granulares de terrazas aluviales, de buena capacidad de soporte (CBR entre 20 y 30%).

SISTEMA DE DRENAJE

La vía cuenta con un adecuado sistema de drenaje, aun cuando en algunos puntos se ha presentado deficiencia en su mantenimiento que hace necesaria su reparación.

Objetivos del mejoramiento

Para esta vía en particular, el objetivo de la intervención es mejorar el nivel de acceso hasta alcanzar el nivel básico, lo que significa que la vía debe ser transitable todo el año con un nivel de servicio adecuado; a su vez, el nivel de servicio adecuado implica que la velocidad de circulación ha de ser muy similar a la velocidad de diseño y que la conducción es segura.

En virtud de las condiciones geométricas que presenta el actual trazado (pequeños radios de giro), la velocidad de diseño es reducida: 40 km/h en general, y para algunos tramos cortos de hasta 500 m de longitud, hasta 60 km/h.

Criterios de diseño

Los principales criterios de diseño establecidos para el diseño del mejoramiento de esta vía son los siguientes:

- El proyecto no contempla el cambio de las condiciones geométricas, salvo en aquellos sitios en que lo requiera el resultado de las auditorías e inspecciones de seguridad que deben efectuarse como parte del diseño.
- En cuanto a la velocidad de diseño, el tipo de pavimento debe permitir que la velocidad de circulación sea igual a la velocidad de diseño determinada por las condiciones geométricas de la vía; es decir, 40 km/h en general y 60 km/h en aquellos tramos en que la geometría lo permite.
- En lo referente a tránsito y período de diseño, se tiene la percepción de que el mejoramiento de la vía aumentará el nivel de tránsito; sin embargo, no hay elementos de juicio suficientes para predecir la magnitud del incremento. Como los recursos son bastante limitados, se diseñará para el tránsito actual con un aumento nominal para un período de diseño de diez años y se dejará prevista la posibilidad de reforzar la estructura antes (tres a cinco años) si el comportamiento del tránsito lo amerita; por tanto, se debe buscar una solución que sea fácil de reforzar en el futuro cercano.
- Los caseríos por donde pasa la vía se constituyen en puntos críticos de seguridad por el constante tránsito de peatones de un lado al otro, entre las cuales hay un número importante de niños y personas de edad. Se debe contemplar el empleo de un tipo de superficie que garantice una baja velocidad de paso por estos sitios.
- Debido a la pluviosidad de la zona, la superficie de la vía debe ser lo más impermeable posible, con el fin de evitar el ablandamiento permanente de los suelos de subrasante que están presentes en la mayor parte de la vía, lo cual se ha identificado como la causa principal de su deterioro.

Establecimiento del tipo de solución general de mejoramiento

La evaluación de la capacidad estructural de la vía muestra que ésta es insuficiente en aquellos tramos en que la subrasante está constituida por suelos finos de alta plasticidad, de consistencia blanda a muy blanda (85 a 90% del trazado) y que es suficiente en aquellos tramos en que la subrasante está constituida por materiales granulares de terrazas aluviales (10 a 15% del trazado).

En cuanto a la calidad de los materiales existentes en la vía, ésta no es adecuada para la capa de base por deficiencias en su granulometría y presencia de sobre-tamaños, deficiencias que comprometerían seriamente la capacidad y la uniformidad del apoyo a la capa de rodadura. Además, la parte inferior de la capa se encuentra generalmente contaminada en mayor o menor grado con suelos finos de la subrasante; sin embargo, se considera que el material no contaminado puede servir para las capas inferiores, así: tal como está, puede usarse para capas de mejoramiento de la subrasante, y eliminando los tamaños mayores que 10 cm puede usarse como capa de sub-base.

La compactación es deficiente; la baja densidad tiene su origen en el mismo proceso constructivo empleado en estas capas, y se ha acentuado con las deformaciones que ha sufrido la vía por la baja capacidad de la subrasante en los tramos de suelos finos.

El planteamiento para la solución de los problemas de tipo estructural es el siguiente:

- a) Para los tramos de subrasante firme de material granular
 - Conformación y compactación del material granular existente, que incluya eliminación de sobre-tamaños.
 - Adición de capa de material de base granular.
- b) Para los tramos de subrasante de suelos finos blandos
 - Retiro y acordonamiento del material granular no contaminado.
 - Colocación de una geotextil de refuerzo y separación sobre la subrasante blanda o sobre el remanente de material granular contaminado.
 - Reconformación y compactación del material granular existente; incluye eliminación de sobre-tamaños en los 15 cm superiores.
 - Adición de capa de material de base granular.

En este planteamiento se ha hecho énfasis en la máxima reutilización de los materiales granulares existentes y en la mínima incorporación de materiales foráneos.

Con estas medidas, la vía tendrá una estructura capaz de soportar las cargas de tránsito. El siguiente paso será escoger la técnica de mejoramiento funcional para la superficie de la vía.

Filtro intermedio para la selección de la técnica de mejoramiento

El primer paso es hacer una primera selección de alternativas factibles, lo cual se logra pasando por un filtro las alternativas disponibles.

ASPECTOS TÉCNICOS

La primera alternativa que se descarta es el sello de arena asfalto, porque la vida de servicio esperada para ésta es mucho menor que diez años.

Como la vía debe permitir, de acuerdo con el diseño, una velocidad de circulación de 40 km/h, la alternativa de empedrado no se considerará una solución general. Posiblemente, cuando se analicen puntos críticos, como pasos de poblaciones, esta opción pueda tomarse en cuenta.

Por otra parte, debido a que se contempla una pavimentación por etapas con una mínima inversión inicial, se descarta la alternativa de pavimento de losas de concreto de cemento pórtland, cuyo costo inicial es alto y cuyo refuerzo para permitir un mayor nivel de tránsito en un futuro cercano no es práctico y resulta excesivamente costoso.

Finalmente, la alternativa de placa-huella no se tiene en cuenta debido a que limita la operación simultánea de los dos carriles, además de que su refuerzo también es complicado.

Selección de la técnica de mejoramiento

Para este proyecto en particular, se hace mayor énfasis en los atributos de durabilidad y desempeño, así como en los atributos económicos, sociales y ambientales. Los siguientes son los puntajes asignados a cada uno de los atributos contemplados:

Atributos de durabilidad y desempeño: 35%

- Durabilidad: 10%
- Vida útil: 10%
- Calidad de rodado: 5%
- Seguridad: 10%

Atributos de construcción y sostenibilidad: 30%

- Competencia y capacitación del personal requerido: 5%
- Requerimiento y disponibilidad de equipos: 10%
- Necesidades de material importado: 5%
- Uso de recursos no renovables: 0%
- Requerimientos de mantenimiento: 10%

Atributos económicos, sociales y ambientales: 35%

- Costos del ciclo de vida: 20%
- Oportunidades de empleo: 5%
- Impacto ambiental: 10%
- Calidad visual y compatibilidad con el entorno: 0%

En el Cuadro A1 (ver p. 98) se presenta el resultado de la puntuación para las alternativas de mejoramiento funcional, con base en los puntajes asignados para cada atributo por el grupo de trabajo.

De acuerdo con la puntuación total obtenida, la alternativa de tratamiento superficial doble es la que mejor cumple con los criterios establecidos para el proyecto.

SITIOS ESPECIALES

Hay dos sitios puntuales para los cuales se requiere una técnica de mejoramiento distinta de la de tratamiento superficial doble; son ellos:

Caseríos

- a) Caserío de 200 habitantes. Este caserío se encuentra al final de un tramo de la vía que es recto y relativamente plano, de 500 m de longitud, condición que permitiría a los vehículos alcanzar altas velocidades, lo que generaría riesgos de seguridad para los habitantes de la población que cruzan permanentemente la vía. Por tanto, para este tramo se escoge la técnica de empedrado, la cual garantiza que los vehículos circulan con velocidad controlada (unos 25 a 30 km/h).
- b) Caserío de 400 habitantes. Este caserío se halla en un tramo de vía con curvas relativamente cerradas y pendientes altas. Estas condiciones hacen que la velocidad de circulación sea lenta y, por consiguiente, no se considera necesario tomar medidas adicionales de control de velocidad en la superficie del pavimento.

Zonas de alta pendiente

La alternativa de tratamiento superficial doble, que es la seleccionada para el mejoramiento general de la vía, no es apropiada para zonas de pendiente muy alta (mayores que 8% en general); como la vía en estudio tiene dos tramos con pendiente superior a ese valor, es necesario considerar otro tipo de técnica de pavimentación.

Para estos tramos, de baja velocidad de circulación por la pendiente, se contempla también la técnica de empedrado.

CUADRO A I. PUNTUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO FUNCIONAL

Categoría	Coeficiente de ponderación categoría	Atributo	Alternativas de mejoramiento funcional-puntajes por atributo					
			Coeficiente de ponderación atributo	Tratamiento superficial doble	Sello del Cabo	Sello de Otta	Hormigón asfáltico en frío	Adoquines de concreto
Durabilidad y desempeño	35%	1. Durabilidad	0,10	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00
		2. Vida útil	0,10	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00
		3. Calidad de rodado	0,05	4,00	5,00	4,00	5,00	3,00
		4. Seguridad	0,10	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Construcción y sostenibilidad	30%	5. Competencia y capacitación del personal requerido	0,05	4,00	3,00	0,00	3,00	3,00
		6. Requerimiento y disponibilidad de equipos	0,10	5,00	3,00	4,00	4,00	5,00
		7. Necesidades de material importado	0,05	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00
		8. Uso de recursos no renovables	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		9. Requerimientos de mantenimiento	0,10	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Económicos, sociales y ambientales	35%	10. Costos del ciclo de vida	0,20	5,00	4,00	4,00	3,00	0,00
		11. Oportunidad de empleo	0,05	3,00	3,00	4,00	3,00	0,00
		12. Impactos ambientales	0,10	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00
		13. Calidad visual y compatibilidad con el entorno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMA	100%	Puntuación total	1,00	4,25	3,85	3,90	3,85	4,05

Este libro se terminó de imprimir
en octubre, 2010