

MÉXICO



CAMINOS RURALES UNA PUERTA AL DESARROLLO Y LA CONECTIVIDAD TERRITORIAL



**BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE**

Título:

Caminos rurales, una puerta al desarrollo y la conectividad territorial / México

ISBN: 978-980-422-303-7

Editor: CAF

Vicepresidencia Corporativa de Programación Estratégica

Gerencia de Infraestructura Física y Transformación Digital

Mónica López

Yerko Eterovic

Autores:

Paul Garnica Anguas

Mauricio Martínez Almeida

Dirección de Arte: Alejandro Maiocchi / www.maiocchipublicidad.es

La versión digital de este libro se encuentra en: scioteca.caf.com

© 2023 Corporación Andina de Fomento, todos los derechos reservados

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición oficial de CAF.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

7

CAPÍTULO 2 CONTEXTO GENERAL DE MÉXICO

10

2.1 Territorio y clima

11

2.2 Población y aspectos socioeconómicos de México

13

2.3 Infraestructura vial en México

15

2.3.1 Longitud de los caminos rurales

15

2.3.2 Grado de accesibilidad a una carretera pavimentada

17

2.3.3 Estado actual de los caminos rurales

19

2.3.4 Identificación de vías de bajo tránsito en México

23

2.3.5 Planes de educación en universidades sobre caminos rurales

26

CAPÍTULO 3 MARCO INSTITUCIONAL, FINANCIAMIENTO Y ASPECTOS OPERATIVOS PARA LA GESTIÓN VIAL

28

3.1 Organización institucional

29

3.1.1 Estrategia nacional y local para caminos rurales

30

3.1.2 Planes y programas asignados a los caminos rurales

31

3.1.3 Principales trabajos de construcción y modernización de caminos rurales y alimentadores en el periodo de 2012 a 2018

39

3.2 Recursos económicos para la gestión vial

41

3.2.1 Obtención de recursos para inversiones realizadas en caminos rurales

41

3.2.2 Fuentes externas de financiamiento

43

3.3 Aspectos operativos de la gestión vial

43

3.4 Criterios para la priorización de proyectos de caminos rurales

46

3.5 Participación comunitaria en la mejora de los caminos rurales

47

3.6 Experiencias e indicadores de impacto

48

CAPÍTULO 4 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LOS CAMINOS RURALES

50

4.1 Medidas de adaptación y mitigación en los proyectos

51

4.2 Economía circular y aprovechamiento de materiales

53

4.3 Propuestas para incorporar la sostenibilidad ambiental en los proyectos

56

CAPÍTULO 5	58
PRÁCTICAS DE MEJORAMIENTO DE CAMINOS RURALES	59
5.1 Técnicas universales	59
5.1.1 Construcción de caminos huella-placa con uso intensivo de mano de obra	59
5.1.2 Estabilización química del suelo con uso de aditivos químicos tradicionales	69
5.1.3 Revestimiento de superficie con riegos de sello	77
5.2 Técnicas innovadoras	78
5.2.1 Estabilización de suelos haciendo uso de materiales geosintéticos	78
5.3 Técnicas experimentales	87
5.3.1 Evaluación de un producto o sistema de nueva tecnología	87
5.3.2 Normativa para la estabilización de capas de pavimento	88
5.3.3 Estabilización química del suelo con aditivos químicos no tradicionales	92
5.3.4 Uso de poliestireno expandido	98
 CAPÍTULO 6	 103
REFERENCIAS	
 CAPÍTULO 7	 107
BIBLIOGRAFÍA	
 ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS E ILUSTRACIONES	
Cuadro 1. Localidades y población por grado de marginación en 2020	14
Cuadro 2. Distribución de kilómetros de vías en la Red Nacional de Carreteras	16
Cuadro 3. Caracterización de carreteras alimentadoras y caminos rurales	20
Cuadro 4. Evolución de la red carretera según su clasificación administrativa	21
Cuadro 5. Costos máximos a invertir por kilómetro	37
Cuadro 6. Avances del Programa de Pavimentación de Caminos a Cabeceras Municipales hasta el tercer trimestre de 2021	39
Cuadro 7. Principales trabajos de construcción y modernización de caminos rurales y alimentadores realizados entre enero y agosto de 2016	40
Cuadro 8. Características de los programas presupuestarios para la construcción, modernización, conservación o reconstrucción de caminos rurales	42
Cuadro 9. Requisitos para etiquetar en el PEF programas para construir, modernizar, conservar o reconstruir caminos rurales y carreteras alimentadoras	45
Cuadro 10. Normatividad aplicable al sector carretero en materia de medio ambiente y recursos naturales de México	52

Cuadro 11. Conceptos y rendimientos por cuadrilla empleados en la construcción de caminos huella placa	60
Cuadro 12. Cálculo de las cantidades de materiales a mezclar	96
Cuadro 13. Densidades del EPS en la norma NCHRP 24-11 (01)	100
Cuadro 14. Propiedades mínimas permitidas del EPS especificadas en la norma NCHRP 24-11 (01)	100
Cuadro 15. Propiedades físicas para los materiales EPS especificadas en la norma ASTM D6817-07	101
Figura 1. Unidades climáticas de México	12
Figura 2. Grado de marginación por localidad, 2020	15
Figura 3. Grado de accesibilidad a carretera pavimentada por localidad (GACP)	18
Figura 4. Porcentaje de población con GACP bajo o muy bajo según la entidad	19
Figura 5. Red de caminos según su tipo de superficie	21
Figura 6. Evolución del estado físico de la red rural y alimentadora de México 2012-2018	22
Figura 7. Distribución de la administración de la Red de Carreteras y Caminos	30
Figura 8. Proceso de operación y seguimiento del PPCCM	33
Figura 9. Sección tipo para la construcción de caminos del PPCCM	37
Figura 10. Recomendaciones para etiquetar caminos rurales, carreteras alimentadoras y puentes dentro de la gestión de recursos	44
Figura 11. Porcentaje de población con accesibilidad muy baja o baja de cada uno de los Estados de México	49
Figura 12. Sección tipo de muro de cabeza para alcantarilla	64
Figura 13. Características y dimensiones de los lavaderos	71
Figura 14. Representación gráfica de la distribución de esfuerzos en una capa de suelo granular con geomalla	79
Figura 15. Migración de finos de capa subbase a capa base y mitigación de migración de finos en capas de pavimento haciendo uso de geotextiles	80
Figura 16. Colocación y traslape de geosintético	84
Figura 17. Bando de material granular con rodillo compactador	85
Figura 18. Traslape mínimo de geosintético en curvas en función de la tabla AASHTO M288-06	85
Figura 19. Roderas tratadas con nuevo material base	86
Ilustración 1. Ejemplo de camino rural, ubicado en el Estado de Guerrero, México	23
Ilustración 2. Ejemplo de carretera alimentadora, ubicada en el Estado de Chihuahua, México	23
Ilustración 3. Solución de pavimentación empleada para el PPCCM, Santiago de Atitlán, Estado de Oaxaca, México.	36
Ilustración 4. Explotación de cantera con uso de maquinaria pesada	55
Ilustración 5. Trituradora de materiales pétreos instalada en campo	55
Ilustración 6. Colocación de cimbra de madera en tramo en curva para colado de roderas de concreto hidráulico	67

Ilustración 7. Colado de roderas de concreto hidráulico	67
Ilustración 8. Empedrado a base de piedra en construcción de caminos tipo huella-placa	68
Ilustración 9. Material escarificado y encamado para dosificación de óxido de calcio	72
Ilustración 10. Formación de capa estabilizada con óxido de calcio, en Municipio Tomatlán en el Estado de Jalisco, México	72
Ilustración 11. Homogeneización de arcilla con óxido de calcio	73
Ilustración 12. Aspecto físico de capa estabilizada con óxido de calcio, en Municipio Tomatlán en el Estado de Jalisco, México	73
Ilustración 13. Pasos para la estabilización de los suelos	75
Ilustración 14. Colocación y distribución de capa granular sobre geosintético	84



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es fundamental para las políticas de desarrollo dado que permiten la actividad productiva así como el acceso a bienes y servicios. Si bien es indispensable para el funcionamiento de un país, la construcción de infraestructura puede tener efectos ecológicos y ambientales significativos si en su desarrollo no se toman medidas adecuadas.

Dentro de la infraestructura viaria, las carreteras y caminos con bajo volumen de tránsito comprende una cantidad muy importante de la red de transportes en países de América Latina, en general, y de México en particular. Más de la mitad de la Red Nacional de Carretera de este país está formada por caminos rurales. Pese a su extensión e importancia, en tanto que única vía de comunicación con la que cuentan numerosas localidades, pueblos y aldeas del país, y los esfuerzos desplegados en las últimas décadas para su desarrollo, reciben insuficiente atención de las administraciones públicas y siguen planteando desafíos ambientales.

El presente trabajo tiene como propósito realizar un diagnóstico de las técnicas innovadoras y sustentables utilizadas para el mejoramiento de caminos rurales en México. Su elaboración está destinada a completar y actualizar la guía “Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito”, desarrollada por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) en 2010.

Al igual que en ese documento orientativo, en este trabajo se identifican primero diversas características y aspectos que describen la situación actual en México. Entre las características consideradas, se encuentran el entorno político, físico, geográfico y socioeconómico. El análisis contextual describe la infraestructura vial existente y su relación con los caminos rurales, la distribución geográfica de las carreteras y las subredes que se forman en función de la distancia a los centros urbanos y políticos.

Además, se presenta la organización institucional, los planes y programas existentes con relación a este tipo de vías. Dentro del marco institucional, se repasan los modos de financiamiento y aspectos operativos para la gestión vial, así como el método de priorización de obras para el óptimo aprovechamiento de los recursos económicos y humanos, incluidos la colaboración de grupos comunitarios y el empleo de trabajadores locales. Asimismo, se describen experiencias que han demostrado la importancia del desarrollo de este tipo de infraestructura para reducir la marginación y aislamiento que afecta algunas comunidades y ampliar el abanico de oportunidades para su desarrollo socioeconómico y su bienestar.

Tras dar un repaso a diversas disposiciones, reglamentos y normas aplicables en materia ambiental para la construcción, mantenimiento y mejora de esas obras civiles, el documento expone políticas y acciones que contribuyen a limitar o mitigar los daños ambientales que en ocasiones conlleva la reparación y expansión del conjunto de carreteras alimentadoras y caminos rurales. Entre ellos, figura la aplicación de principios y prácticas de economía circular. El documento revisa también un conjunto de propuestas para que los proyectos incorporen consideraciones medioambientales y de sostenibilidad.

Finalmente, se presentan las principales prácticas para el mejoramiento de los caminos rurales, detallando los diferentes pasos del proceso constructivo y las técnicas tradicionales, innovadoras y experimentales para la estabilización de los suelos preservando el medioambiente.



CAPÍTULO 2

CONTEXTO GENERAL DE MÉXICO

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GENERAL DE MÉXICO

2.1 TERRITORIO Y CLIMA

La República Mexicana se sitúa tanto en el centro como en el norte del continente americano. Por su situación geográfica, su territorio está integrado por superficies continentales, marinas e islas que, en conjunto, suman 5.114.295 kilómetros cuadrados (km²) (SEMARNAT, 2010).

También por su localización, México es uno de los países con mayor diversidad de ecosistemas y relieves, dando lugar a una gran variedad de características y formas topográficas. Esas atribuciones influyen en las condiciones climáticas, los tipos de suelos y la vegetación de cada región en particular.

El territorio nacional, por sus condiciones geomorfológicas, se divide en quince provincias fisiográficas, cada una definida por paisajes y características semejantes y con subprovincias que definen aún más su homogeneidad litológica y paisajista. Cada una de estas provincias se conforma por una alternancia de conjuntos montañosos, altiplanos, cuencas intermontañas, planicies costeras y plataformas sedimentarias.

Los climas secos y semisecos tienden a tener precipitaciones medias anuales de entre 300 milímetros (mm) y 600 mm aproximadamente, una temperatura media anual superior a los 18 °C en su variante “caliente” e inferiores a esta en su variante “fría”. Este clima se encuentra principalmente en el noreste de la altiplanicie septentrional, el norte de la Sierra Madre Occidental y la mayor parte de la planicie costera tamaulipeca.

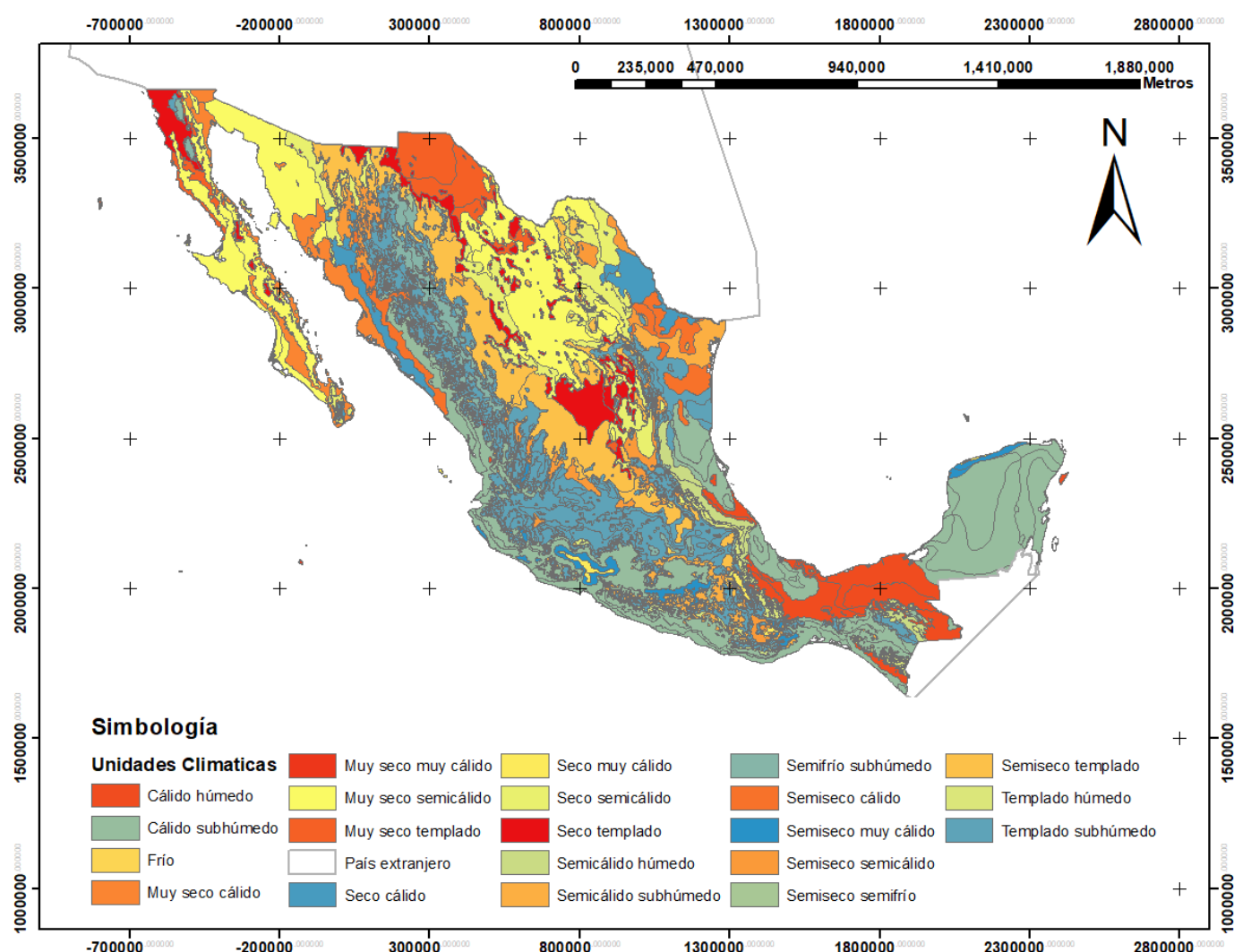
En los climas muy secos se registran temperaturas promedio de 18 °C a 22 °C, con casos extremos, donde superan los 26 °C, y precipitaciones medias anuales del orden de 100 mm a 300 mm en promedio. Este clima se presenta sobre todo en aquellos estados que colindan con la frontera de Estados Unidos de América (EE. UU.), así como en la mayor parte de la península de Baja California.

Hacia el sur del país, los climas predominantes son el cálido húmedo y el cálido subhúmedo, con temperaturas que fluctúan entre los 22 °C y 26 °C en promedio. El primero se da en un 7 % por ciento del territorio nacional, donde se registran precipitaciones de entre 2.000 a 4.000 mm anuales. El segundo, es el de mayor presencia, puesto que se encuentra en un 28 % del territorio nacional y es típico en las regiones costeras del centro y sur del país, con precipitaciones que alcanzan entre 1.000 mm a 2.000 mm anuales.

El segundo clima con mayor presencia en el país es el “templado subhúmedo”, propio del centro y sureste, por encima de la denominada región del Bajío. Los climas cálido subhúmedo y templado subhúmedo imperan en un porcentaje de territorio equivalente al 19,5 % y 17 %, respectivamente, del total ocupado por las unidades restantes. La figura 1 muestra un plano con las diferentes unidades climatológicas que existen en México.

En este contexto, la extensión del territorio mexicano cuenta con gran diversidad tanto de fisiografías como de climas, que determinan los desafíos y conflictos que cada región o ubicación concreta debe solventar cuando se construyen vías de comunicación. Como se describe en apartados posteriores, las prácticas para el mejoramiento de caminos rurales cambian de acuerdo con el lugar donde se encuentran estas vías.

FIGURA 1. UNIDADES CLIMÁTICAS DE MÉXICO



Fuente: Elaboración propia con información climatología obtenida de INEGI (2008).

2.2 POBLACIÓN Y ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DE MÉXICO

De acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda 2020, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en México residen 126.014.024 millones de personas, de las cuales, el 51 % son mujeres y el 49 % son hombres, la mitad de la población tiene 29 años o menos de edad (INEGI, 2020).

Los estados que concentran la mayor parte de la población del país son: México (14 % del total), Ciudad de México (7 %), Jalisco (7 %), Veracruz (6 %), Guanajuato, Nuevo León y Puebla (5 % cada una). Juntos, esos siete estados suman el 49 % de la población, el resto, es decir, el 51 % se distribuye en las otras 25 entidades federativas (INEGI, 2020).

La distribución territorial de la población es un aspecto de importancia en regiones que se encuentran en desarrollo, sobre todo en aquellas comunidades pequeñas y dispersas de difícil acceso y, por tanto, donde el acceso a servicios y recursos es limitado.

Un dato de interés es que, en 2020, el 79 % de la población residía en localidades de 2.500 habitantes o más, mientras que el porcentaje restante vivía en localidades de menor tamaño. Conocer estos valores es esencial puesto que indican que poco menos de un cuarto de la población de México vive en localidades u asentamientos que no siempre se localizan cerca de las cabeceras municipales o en grandes asentamientos, como ciudades.

El Consejo Nacional de Población (CONAPO) ha estimado la distribución porcentual de la población que vive en localidades de menos de 2.500 habitantes en función de su condición geográfica. En el año 2010, la distribución era la siguiente: cercanas a una carretera (51,5 %), aisladas (21 %), cercanas a una ciudad (15,2 %) y cercanas a una localidad mixta (6,3 %) (CONAPO, 2010).

Cabe mencionar que la actividad económica de estas pequeñas localidades es mayoritariamente de origen agropecuario y que estos pueblos o aldeas están conectados con sus respectivas cabeceras municipales a través de caminos rurales. Esta es una justificación importante para el mejoramiento de las vías que comunican las pequeñas localidades con los centros de servicios, ya que permitirá de mejor manera su desarrollo tanto social como económico.

En ese contexto, el CONAPO, en su último informe de actualización de “Índices de marginación por localidad”, estimó este indicador para localidades censadas con tres o más viviendas en el año 2020. En esa situación se contabilizan 108.144 localidades, que representan el 57,1 % de las registradas en el listado de Integración Territorial (ITER) del censo de población de 2020 (INEGI, 2020). En el cuadro 1 se muestra el número de localidades y su población por su grado de marginación. Es importante destacar que poco más de un cuarto de las localidades tienen un grado de marginación alto o muy alto, dando a entender que México se encuentra marcado por cierta desigualdad en los procesos de participación en el desarrollo y acceso a servicios de calidad.

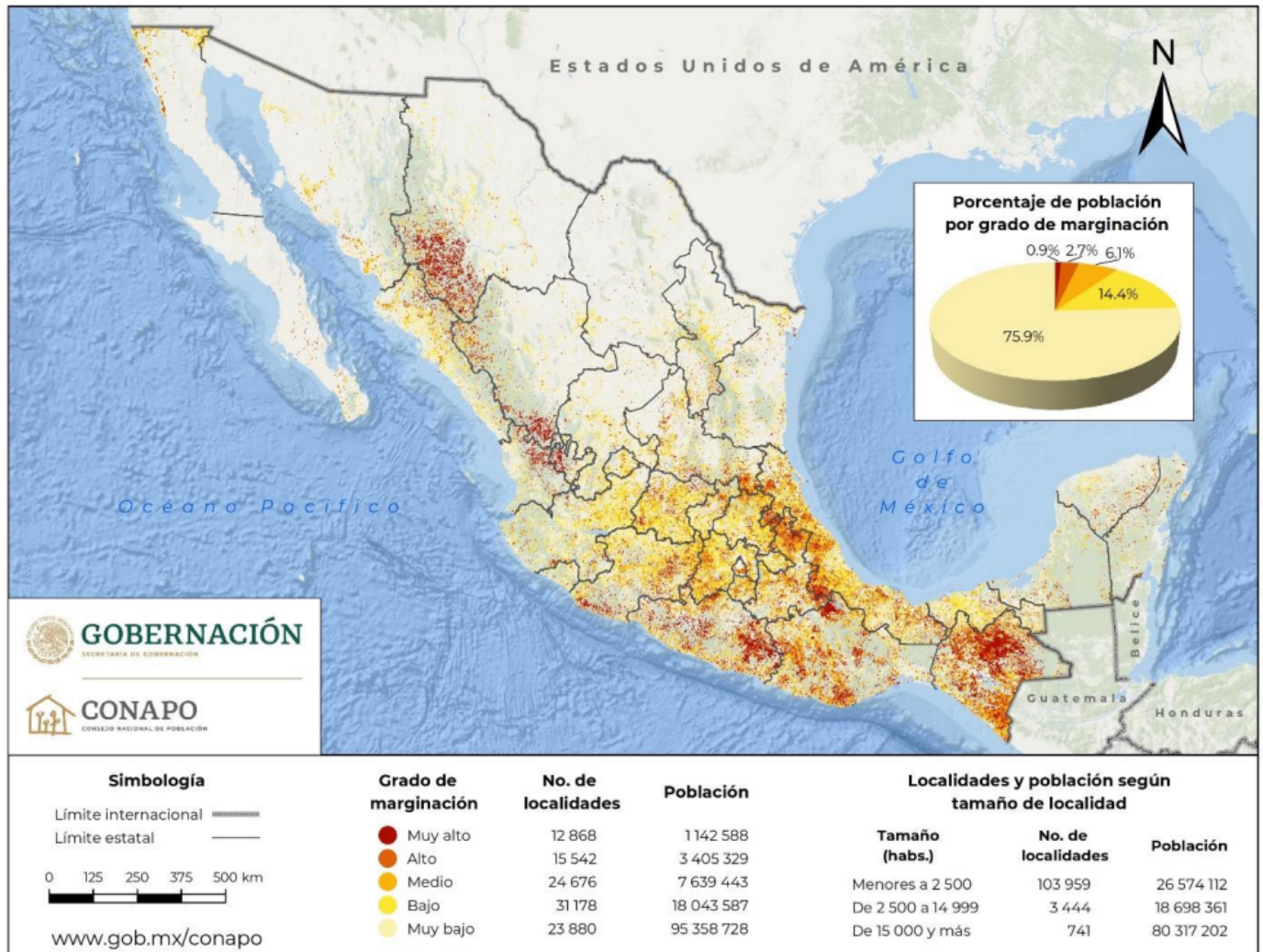
CUADRO 1. LOCALIDADES Y POBLACIÓN POR GRADO DE MARGINACIÓN EN 2020

Grado de marginación	Localidades		Población	
	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos
Muy alto	12,868	11.9%	1,142,588	0.9%
Alto	15,542	14.4%	3,405,329	2.7%
Medio	24,676	22.8%	7,639,443	6.1%
Bajo	31,178	28.8%	18,043,587	14.4%
Muy bajo	23,880	22.1%	95,358,728	75.9%
Total	108,144	100%	125,589,675	100%

Fuente: CONAPO (2021).

En la figura 2 se muestra de manera gráfica el grado de marginación por localidad en la distribución territorial del país. En ella es posible apreciar la clara incidencia de la marginación en las zonas montañosas de la Sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua, Durango, Nayarit y Jalisco, en la Sierra Madre del Sur, destacando Guerrero y Oaxaca, y en la Sierra Madre Oriental, en estados como Hidalgo, Puebla y Veracruz, así como, de manera sobresaliente, en algunas zonas del estado de Chiapas.

FIGURA 2. GRADO DE MARGINACIÓN POR LOCALIDAD, 2020



Fuente: CONAPO (2021).

2.3 INFRAESTRUCTURA VIAL EN MÉXICO

2.3.1 LONGITUD DE LOS CAMINOS RURALES

La infraestructura carretera o de caminos en México se encuentra comprendida en la denominada Red Nacional de Caminos (RNC), desarrollada en conjunto por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La RNC es la representación cartográfica digital y georreferenciada que integra el total de la red de caminos pavimentados y la mayor parte de los caminos no pavimentados del país, además de vías fluviales y marítimas, servicios de interconexión de transporte con aeropuertos, puertos, estaciones de ferrocarril, aduanas, puentes, túneles, sitios recreativos y sitios de interés turístico, entre otros.

La mayor longitud de carreteras y caminos por entidad federativa corresponde en orden decreciente a Chihuahua, Sonora, Veracruz, Jalisco, Chiapas, Oaxaca, Durango, Michoacán, Tamaulipas y Guerrero.

Según su última actualización (en 2021), la RNC comprende un total de 830.076,51 kilómetros (km). Es importante subrayar que el 63,8 % de estos caminos son vías no pavimentadas para el tránsito de vehículos, personas y animales, que pueden tener algún revestimiento, como adoquín o empedrado (block), grava o simplemente tierra no compactada (INEGI-SICT-IMT, 2021). En el cuadro 2 se muestra (hasta la fecha de este documento) el porcentaje que representa cada tipo de vía con relación al total de caminos en la RNC.

Cabe señalar también que el 2,09 % de esa red total (17.364 km) corresponde a líneas de vías paralelas separadas por un camellón o con barra separadora, con un flujo y contraflujo de un solo sentido de circulación vehicular¹.

En México, las carreteras son aquellas vías de comunicación terrestre que constan de una estructura de pavimento, con una superficie de rodadura de asfalto o concreto hidráulico. Por vereda, se entiende un camino no revestido destinado solo para el tránsito de personas y animales.

En función de sus características tanto físicas como de operación, los caminos con volúmenes bajos de tránsito se pueden clasificar en “carreteras alimentadoras” o “caminos rurales”. Las primeras se caracterizan por tener al menos dos carriles, en su mayoría pavimentados, y se clasifican en tipo C y D, las de tipo C son una red secundaria que presta servicio dentro de longitudes medias y conectan con redes primarias, mientras que las de tipo D prestan servicio en tramos relativamente cortos y enlazan con la red secundaria. Por su parte, los caminos rurales se caracterizan por ser de un carril a base de terracerías revestidas no compactadas, con la excepción de unos pocos caminos de este tipo que han sido mejorados con algún tipo de revestimiento o tratamiento superficial y que, además, pueden ser transitados en cualquier época del año (SICT, 2018).

CUADRO 2. DISTRIBUCIÓN DE KILÓMETROS DE VÍAS EN LA RED NACIONAL DE CARRETERAS

Tipo de vía	Cantidad de km	Proporción de la red
Carreteras (pavimentadas con asfalto o concreto) ^a	175.525,97	21,15 %
Caminos rurales	529.358,27	63,77 %
Veredas peatonales	21.936,08	2,64 %
Vialidades urbanas	80.300,90	9,67 %
Vialidades de cuota ^a	72,83	0,01 %
Elementos de transición	5.455,87	0,66 %
Transbordadores	62,00	0,01 %

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de INEGI-SICT-IMT (2021).

¹ En el caso de vías paralelas separadas por camellón o barra separadora para el flujo y contraflujo de vehículos se ha dividido el total de km por dos para obtener un valor unificado en longitud.

a. La cantidad de km simplifica las líneas paralelas modeladas por existencia de camellón o barra separadora dividiendo el total de km por dos.

2.3.2 GRADO DE ACCESIBILIDAD A UNA CARRETERA PAVIMENTADA

El grado de accesibilidad a una carretera pavimentada (GACP) es un indicador que se incorporó en 2013 como parte del artículo 36 de la Ley General de Desarrollo Social. Dicho artículo establece los indicadores orientados a la definición, identificación y medición de la pobreza en México.

Dado que la accesibilidad engloba elementos de carácter geográfico y alude a escalas de agregación superiores al hogar y el individuo, este indicador forma parte del espacio del contexto territorial de la medición multidimensional de la pobreza. Dicho concepto es complejo e integra dos dimensiones de naturaleza distinta:

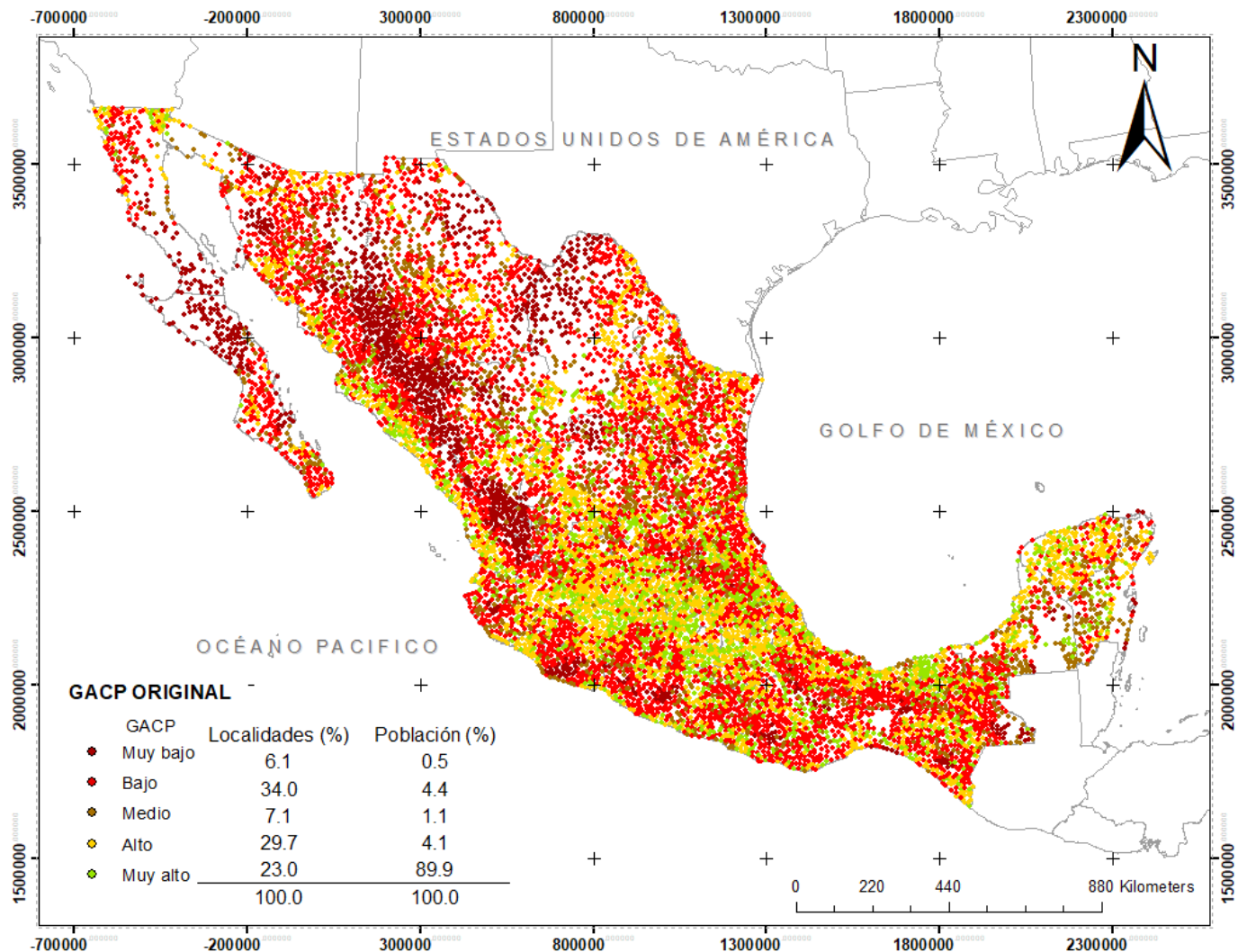
1. La geográfica, la cual corresponde a la cercanía entre dos puntos, por lo que deben considerarse elementos relacionados con las características orográficas y del medio natural.
2. La social, que toma en cuenta las características de las personas o de los servicios a los que se quiere acceder.

El GACP se realiza a partir de los componentes de distancia desde la localidad hacia la carretera pavimentada más cercana, disponibilidad de transporte público y tiempos de traslado a los centros de servicios.

En el año 2020, estimaciones realizadas por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) dieron como resultado que el 40,1 % de las 189.432 localidades tenían un GACP bajo o muy bajo y, dentro de ese porcentaje, en 9 de cada 10 localidades residían menos de 250 personas (CONEVAL, 2021).

La figura 3 muestra de manera gráfica el GACP en relación con el porcentaje de localidades rurales (con 2.500 habitantes o menos) en México.

FIGURA 3. GRADO DE ACCESIBILIDAD A CARRETERA PAVIMENTADA POR LOCALIDAD (GACP)

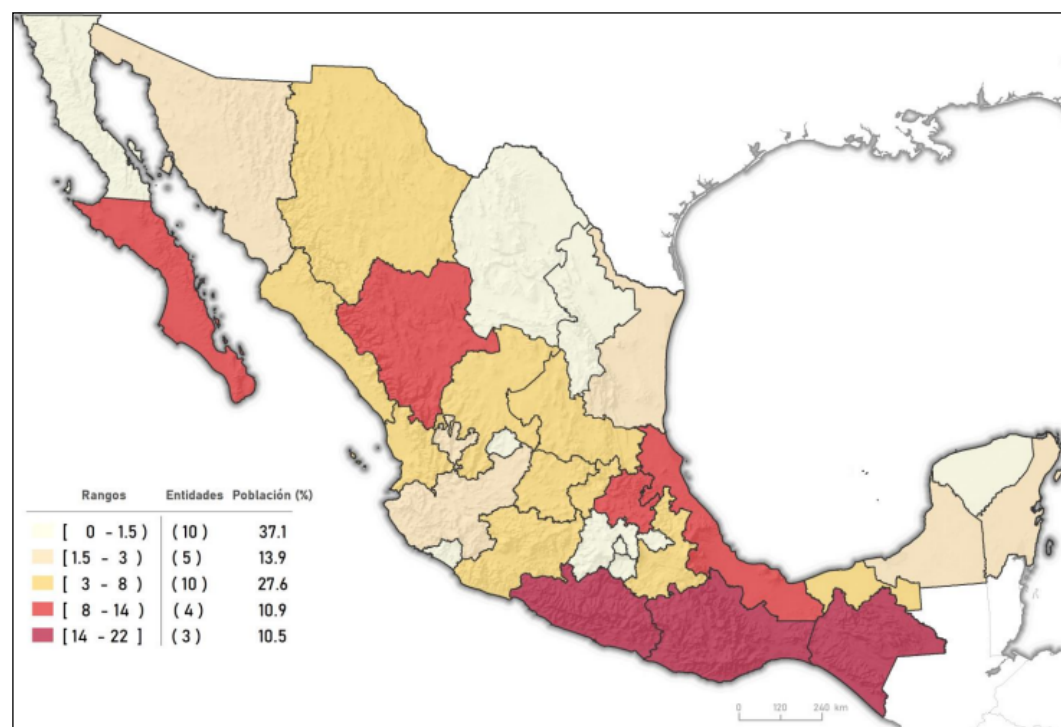


Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONEVAL (2021).

En el año 2020, los estados con un GACP bajo o muy bajo (superior al 14 %) fueron Guerrero, Oaxaca y Chiapas, seguidos por Baja California Sur, Durango, Veracruz e Hidalgo (superior al 8 %) (ver la figura 4).

Un grado de accesibilidad “muy bajo” se caracteriza por encontrarse en localidades pequeñas (en promedio 53 habitantes) y que se encuentran a una distancia en un rango de 2 km a 50 km de la carretera pavimentada. Un grado “bajo” corresponde a aquellas localidades que se ubican de 1 a 10 km de la carretera pavimentada y, en general, se encuentran a más de una hora de traslado de alguna localidad con más de 15.000 habitantes o a 2 horas de la cabecera municipal (CONEVAL, 2021).

FIGURA 4. PORCENTAJE DE POBLACIÓN CON GACP BAJO O MUY BAJO SEGÚN LA ENTIDAD



Fuente: CONEVAL (2021).

2.3.3 ESTADO ACTUAL DE LOS CAMINOS RURALES

Las vías de bajo tránsito vehicular (BTV) son nombradas de varias formas tanto en México como en los demás países de Centroamérica y Sudamérica. Estos caminos pueden denominarse económicos, rurales, vecinales, básicos, secundarios, terciarios, locales y de acceso, entre otros, lo cual crea cierta confusión al contextualizar cuáles son realmente aquellas vías de comunicación con bajo tránsito vehicular. En México, las vías de BTV se denominan “caminos rurales” (tipo E) o bien “carreteras alimentadoras” (tipo C o D), según sus especificaciones. La Administración Federal de Caminos de Estados Unidos de América (FHWA, por sus siglas en inglés) define las vías de bajos volúmenes de tránsito como aquellas vías de comunicación con un tránsito promedio diario menor que 400 vehículos, por lo que, en ese sentido, los caminos tipo “C” de la RNC no pertenecen precisamente a esa categoría. Sin embargo, esta clasificación respecto al tránsito diario promedio anual (TDPA) se sujeta a las condiciones de cada país o región. Es preciso aclarar que los caminos clasificados como de tipo E se encuentran registrados como “caminos rurales” dentro de la RNC, mientras que parte de las carreteras alimentadoras, es decir, las carreteras de tipo D o C pueden estar registradas como “carreteras (pavimentadas con asfalto o concreto)” o como “caminos rurales”.

El cuadro 3 caracteriza a los caminos rurales y alimentadores de acuerdo con lo que indica el “Manual de proyecto geométrico de carreteras” (versión de 2018), en el que se presentan especificaciones y normas técnicas para el diseño de estas vías en México.

CUADRO 3. CARACTERIZACIÓN DE CARRETERAS ALIMENTADORAS Y CAMINOS RURALES

Carreteras alimentadoras			Caminos rurales	
	Tipo D	Tipo C		Tipo E
Superficie de rodamiento	Pavimentada	Pavimentada	Superficie de rodamiento	Revestida
Aforo diario	100-500 vehículos	500-1500 vehículos	Núm. de carriles	1 con libraderos
Velocidad de proyecto	40-70 km/h	50-90 km/h	Aforo diario	Hasta 100 vehículos
Pendiente máxima	7-9 %	6-8 %	Velocidad de proyecto	30-50 km/h
Ancho de corona	9,0 m	10,6 m	Pendiente máxima	8-12 %
Ancho de calzada	7,0 m	7,0 m	Ancho de corona	4,5 m
			Ancho de calzada	4,5 m

Fuente: Elaboración propia con información obtenida del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (SICT, 2018).

El cuadro 3 ofrece información geométrica y de operación, que debería estar presente en la RNC. No obstante, debido a la cantidad de kilómetros y la insuficiente atención que se presta a este tipo de caminos, las autoridades no tienen el conocimiento y registro preciso de la relación de tramos que cumplen con tales requerimientos, es decir, se desconoce con exactitud cuál es el estado actual de estas vías.

La documentación existente menciona que la administración de los caminos rurales se encuentra bien a cargo de los Gobiernos estatales o municipales y sus respectivas dependencias, bien del Gobierno federal y, en menor porcentaje, de organismos y empresas público-privadas. Cabe resaltar que se desconoce quién administra poco más del 50 % de los caminos (ver el cuadro 5, en el subapartado “Organización institucional”).

El cuadro 4 muestra la evolución de la RNC desde el año 2001 hasta 2016. En él se observa un aumento de la red de carreteras. Ese incremento es particularmente significativo cuando se compara con los datos actualizados de 2021 (presentados en el cuadro 2), sobre todo en lo que respecta a caminos rurales o alimentadores del país, los cuales pasaron de 177.657 km a 529.358 km en un lapso de cuatro años.

CUADRO 4. EVOLUCIÓN DE LA RED CARRETERA SEGÚN SU CLASIFICACIÓN ADMINISTRATIVA

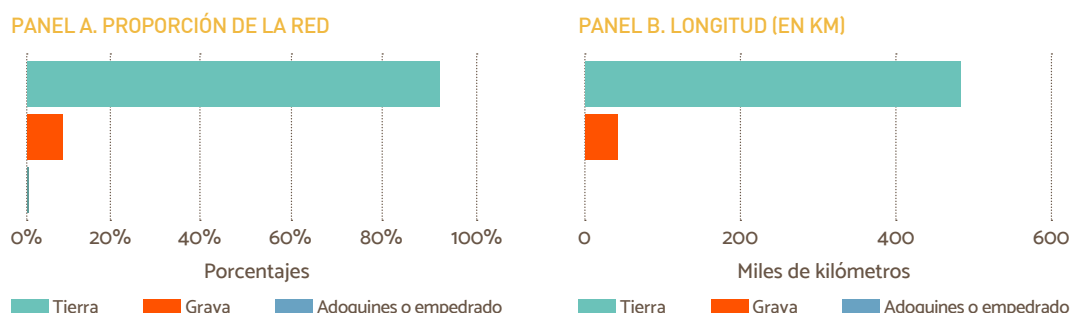
Clasificación	2001	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	TCMA 01-14
Federales (1) (km)	48.404	48.362	48.972	49.102	49.652	49.986	50.241	50.403	50.499	0,3 %
Porcentaje del total	14,7 %	13,6 %	13,2 %	13,1 %	13,1 %	13,2 %	12,9 %	12,9 %	12,8 %	
Libres	41.645	40.953	40.575	40.643	40.752	40.812	40.784	40.739	40.681	-0,2 %
Porcentaje red federal	86,0 %	84,7 %	82,9 %	82,8 %	82,1 %	81,6 %	81,2 %	80,8 %	80,6 %	
Cuota (2)	6.759	7.409	8.397	8.459	8.900	9.174	9.457	9.664	9.818	2,5 %
% Red federal	14,0 %	15,3 %	17,1 %	17,2 %	17,9 %	18,4 %	18,8 %	19,2 %	19,4 %	
Estatales (3) (km)	65.553	71.032	79.264	80.774	83.982	85.076	93.521	94.983	95.855	2,6 %
% del total	19,9 %	20,0 %	21,3 %	21,6 %	22,2 %	22,5 %	24,0 %	24,3 %	24,4 %	
Caminos rurales (4) (km)	150.917	163.516	169.354	169.072	169.429	169.311	175.775	175.521	177.657	1,1 %
% del total	45,7 %	46,0 %	45,5 %	45,2 %	44,9 %	44,7 %	45,1 %		45,2 %	
Brechas mejoradas (km)	65.131	72.886	74.346	75.314	74.597	74.550	69.808	69.394	69.462	0,4 %
% del total	19,7 %	20,5 %	20,0 %	20,1 %	19,8 %	19,7 %	17,9 %		17,7 %	
Total	330.005	355.796	371.936	374.262	377.660	378.923	389.345	390.301	393.473	1,2 %
	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %		100 %	

Nota: 1) Se refiere a carreteras troncales pavimentadas y no pavimentadas (terracerías y caminos revestidos) libres y pavimentadas de cuota, 2) incluye estatales de cuota, 3) se refiere a carreteras alimentadoras pavimentadas y no pavimentadas (terracerías y caminos revestidos), 4) se refiere a caminos pavimentados, revestidos y de terracería. Incluye caminos vecinales, 5) no coincide con ediciones anteriores a este Manual, debido a rectificaciones de la fuente.

Fuente: IMT (2019).

El notable incremento de vías rurales se debe a la homologación de cifras por parte de las distintas direcciones de la SICT en el país e integración a la RNC, proyecto que comenzó hace cuatro años y que, hasta la fecha, continua en operación. No obstante, la falta de coordinación entre direcciones ha retrasado la actualización de la RNC.

FIGURA 5. RED DE CAMINOS SEGÚN SU TIPO DE SUPERFICIE



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de INEGI-SICT-IMT (2021).

Dado que el análisis y enfoque del presente documento son las vías con bajos volúmenes de tránsito (BVT), los datos de interés corresponden a los caminos rurales y carreteras alimentadoras dentro de la red nacional, en especial, los que comunican a las localidades con sus correspondientes cabeceras municipales. Al observar la distribución de los caminos (ver la figura 5) es evidente que más del 90 % de estas vías se encuentra sin ninguna clase de recubrimiento, poco menos del 10 % tiene un revestimiento de grava y un porcentaje muy cercano a cero son caminos revestidos con adoquines o empedrado.

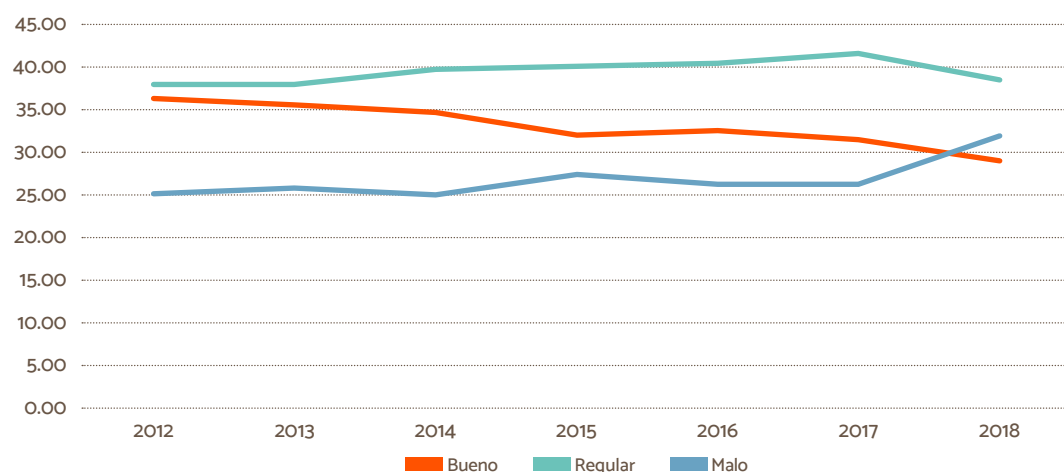
El crecimiento de los caminos rurales y carreteras alimentadoras en el país ha obligado al Gobierno federal y a los Gobiernos estatales a intensificar las acciones para su conservación, a través de programas de inversión destinados a este objetivo y su posible reconstrucción, según lo requieran las condiciones técnicas y prácticas de cada vía.

Registros que abarcan desde 2012 hasta 2018 indican que, pese a los esfuerzos por mantener y optimizar el estado físico, mejorando la superficie de rodamiento y reduciendo los costos de operación de los vehículos que circulan por este tipo de vías, la evolución de estos caminos rurales y carreteras alimentadoras no ha mostrado cambios significativos.

En la figura 6 se puede observar que el estado físico tanto de la red rural como alimentadora se mantiene, mayormente, “regular”, aunque, a partir de mediados de 2017, la falta de atención a estas vías provocó un deterioro. En 2018, el estado físico de la red rural y alimentadora se componía de la siguiente manera (SICT, 2020a):

- Red en estado malo: 32 %
- Red en estado regular: 39 %
- Red en estado bueno: 29%

FIGURA 6. EVOLUCIÓN DEL ESTADO FÍSICO DE LA RED RURAL Y ALIMENTADORA DE MÉXICO 2012-2018



Fuente: SICT (2020a).

2.3.4 IDENTIFICACIÓN DE VÍAS DE BAJO TRÁNSITO EN MÉXICO

2.3.4.1 NOMENCLATURA Y CARACTERÍSTICAS

A continuación, se listan algunas características que permiten identificar y diferenciar los caminos rurales y carreteras alimentadoras (AMIVTAC, 2017). Las variables mencionadas no son siempre un requisito de este tipo de vías, pero se encuentran en contexto con lo indicado por la SICT (ver el cuadro 3). En este sentido, la clasificación y designación de camino rural o carretera alimentadora dependerá no solo de las características físicas de la vía, sino también de su función principal y el entorno en el que se encuentran.



Ilustración 1. Ejemplo de camino rural, ubicado en el Estado de Guerrero, México.

Fuente: AMIVTAC (2017).

Camino Rural

Se identifican principalmente por:

- Tener solo un carril de circulación
- Tener una superficie de rodamiento de terracerías, conformada por material proveniente de cortes originados para abrir el camino, sobre la que se puede o no colocar una capa de revestimiento, y la construcción de obras de drenaje.
- Atender generalmente las necesidades de comunicación de poblaciones de hasta 2.500 habitantes.
- Comunicar principalmente comunidades rurales y conectarse con las carreteras alimentadoras.

De acuerdo con datos del INEGI (2020), una población se considera rural cuando tiene menos de 2.500 habitantes, mientras que la urbana es aquella donde viven más de 2500 personas.



Ilustración 2. Ejemplo de carretera alimentadora, ubicada en el Estado de Chihuahua, México.

Fuente: AMIVTAC (2017).

Carretera alimentadora

Se identifican principalmente por:

- Tener dos carriles de circulación (un carril por sentido).
- Tener una superficie de rodamiento de carpeta a base de riegos de sello o asfáltica, sobre una estructura de pavimento diseñada para el volumen y carga del tránsito vehicular que las utiliza.
- Comunicar esencialmente cabeceras municipales y conectar con la red federal carretera o con la red estatal alimentadora.

2.3.4.2 NIVEL DE INGENIERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

El nivel de ingeniería en la construcción de caminos rurales y carreteras alimentadoras se guía en primera instancia por lo indicado en el **“Manual de proyecto geométrico de carreteras”**, publicado por la Dirección General de Servicios Técnicos de la SICT. Este manual proporciona los procedimientos y métodos de diseño que se necesitan realizar para elaborar el proyecto ejecutivo de una carretera o camino. Estos van desde su planeación en gabinete hasta la conformación de la carpeta técnica del proyecto ejecutivo, que contine todos los estudios de ingeniería básica, como son el proyecto geométrico, la ingeniería de tránsito, la geotecnia, la hidrología y la hidráulica, entre otros (SICT, 2018).

Por otra parte, el aseguramiento de la calidad de la infraestructura del transporte en México se rige por la **“Normativa para la Infraestructura del Transporte”** (NIT-SICT), desarrollada y publicada por la SICT y el IMT. Dicha normativa contiene el conjunto de criterios, métodos y procedimientos para la correcta ejecución de los trabajos de la SICT o cualquiera persona física o moral que ejecute obra civil o los servicios relacionados con la misma. Tanto los Gobiernos estatales como municipales hacen uso de esta normativa para la planeación, ejecución y operación de aquellas obras que se encuentran bajo su jurisdicción.

La NIT-SICT esta presentada, según su propósito, en tres tipos de publicaciones, descritas a continuación:

1. Normas (N). Proponen los valores específicos para el diseño, las características y calidad de los materiales y los equipos, así como las tolerancias, los métodos generales de ejecución, medición y base de pago de los diversos conceptos de obra y, en general, todos aquellos aspectos que se puedan convertir en especificaciones particulares incluidas en los términos de referencia para la ejecución de proyectos de obra pública.
2. Manuales (M). Contienen la recopilación de los métodos y procedimientos para la realización de todas las actividades relacionadas con la infraestructura del transporte.
3. Prácticas recomendables (R). Proponen y explican el establecimiento de criterios y la aplicabilidad de teorías a casos específicos, que ayudan a seleccionar los métodos o procedimientos contenidos en los manuales.

Se espera que los diseños de los caminos rurales sean lo suficientemente confiables como para garantizar la seguridad y el flujo ininterrumpido de vehículos todos los días del año, puesto que, en su mayoría, este tipo de caminos se apegan a la Normativa para la Infraestructura del Transporte. Sin embargo, por sus características de “baja” denominación, las autoridades encargadas de administrar estas vías priorizan la prestación del servicio sobre el aseguramiento de la calidad de los diseños, aunque esta situación no se produce siempre.

Tal y como se describe en este documento, existen diferentes técnicas para construir caminos rurales. Algunas son universales y de ellas ya se tiene la experiencia y documentación necesaria para asegurar la calidad de los diseños, otras son técnicas innovadoras, y otras son experimentales. Sobre esta últimas, hay que reconocer que quizás no se tenga tanta experiencia en su utilización, pero, con el apoyo de proveedores y la experiencia internacional, se puede asegurar la calidad de los diseños. Tal es el caso del uso de materiales geosintéticos para la estabilización mecánica de la estructura del pavimento. Las técnicas experimentales, como su nombre indica, están aún en desarrollo, por lo que la confiabilidad de los diseños se remite a la correcta comprensión de lo que se está haciendo y la experimentación necesaria, a través de diversos ensayos previos a la aplicación de la técnica en campo.

2.3.4.3 MANUALES DE APLICACIÓN PARA LOS CAMINOS RURALES

En México no existe un manual o guía actualizado relativo a los caminos rurales. Al formar parte de la RNC, estas vías, ya sean clasificadas como caminos rurales o como carreteras alimentadoras, se sujetan a lo indicado en el “Manual de proyecto geométrico de carreteras” y la “Normativa para la infraestructura del transporte”.

Además, hay algunos documentos con lineamientos que se siguen en carreteras y caminos de mayor especificación y que sirven de apoyo para la correcta ejecución y operación de las vías rurales. No obstante, es la autoridad competente quien indica la forma de proceder en cuanto a la construcción, conservación y reconstrucción de caminos rurales o carreteras alimentadoras.

Dentro de la bibliografía podemos encontrar el libro titulado **“Evolución de los caminos rurales en México”**, desarrollado por el ingeniero Raúl Salas Rico, perito profesional de vías terrestres, estudio y proyectos. Para la elaboración de este documento, el autor efectuó una amplia investigación sobre la evolución de las carreteras en México, en especial de los caminos rurales con uso intensivo de mano de obra. Rico detalla en su publicación los aspectos de evaluación, promoción, proyecto, construcción, conservación y supervisión de caminos rurales. Aunque no es un documento actual, este libro sigue siendo una buena guía o manual que ilustra y describe con detalle la experiencia e investigación realizada por el autor en el campo de los caminos rurales y cada uno de los aspectos que los engloban.

También está disponible la **“Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México (tomo I)”**, publicada por la SICT en 2014. Dicho documento tiene por objeto presentar los aspectos, criterios, procedimientos, estudios, proyectos, contratación y ejecución de actividades para la conservación de las carreteras, que son necesarias para obtener adecuados niveles de servicio en estas vías de comunicación. Esta es una guía empleada para la conservación

de los diferentes componentes que conforman una carretera y, aunque no especifica que su uso sea para caminos rurales, algunas de las técnicas o procedimientos mencionados en ella pueden ser de apoyo también para este tipo de vías de baja circulación vehicular.

Otro documento de bastante utilidad es el **“Manual de prácticas mejoradas de caminos forestales”**, desarrollado por Gordon Keller y James Sherar y publicado por la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés), en cooperación con el Departamento de Agricultura (USDA, por sus siglas en inglés). Este documento fue actualizado y traducido al español por el IMT bajo el nombre de “Ingeniería de Caminos Rurales - Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales”. Este manual tiene por objeto ayudar a los planeadores o ingenieros cuyo trabajo se relaciona con los caminos rurales en la planeación, diseño, construcción y conservación. El manual contiene información sobre la normatividad ambiental y las normas típicas relativas al diseño de caminos rurales, en él se comentan aspectos geométricos, operacionales, estructurales, sobre volúmenes de obras y costos. Es relevante destacar que, en este manual, los autores dan bastante importancia a la planeación y proyección de los caminos rurales con el fin de controlar o minimizar los impactos negativos, de manera que se garantice el desarrollo sustentable de los proyectos. Otro concepto en este tipo de obras, que los autores desarrollan ampliamente, es la consideración de un buen drenaje y subdrenaje, ya sea para proteger la estructura del camino o para preservar la calidad del agua superficial y subterránea. Este libro, en su versión en inglés o en español, constituye una buena herramienta, con bastantes recomendaciones e información técnica que contribuye al mejoramiento de los caminos rurales con una adecuada planeación, diseño, construcción y conservación, sin dejar de lado la importancia y protección de los recursos naturales (Keller & Sherar, 2004).

2.3.5 PLANES DE EDUCACIÓN EN UNIVERSIDADES SOBRE CAMINOS RURALES

Actualmente, en las universidades de México no existe un programa específico enfocado a las vías de bajo de tránsito vehicular. Sin embargo, la mayor parte de los temas expuestos en la presente guía son cubiertos por los programas y planes de estudio que ofrecen los posgrados y especialidades en ingeniería en vías terrestres en distintas universidades del país. En dichos planes de estudio se encuentran las materias necesarias para la proyección y planeación de vías terrestres, las cuales incluyen a los caminos rurales o carreteras alimentadoras. Estas materias pueden ser, por ejemplo, ingeniería de tránsito, diseño geométrico de carreteras, geotecnia avanzada, diseño de pavimentos, hidrología superficial y obras de drenaje, conservación y mantenimiento de vías terrestres, seguridad vial, desarrollo sustentable y evaluación ambiental, entre otras.

Algunas de las universidades o instituciones de México donde se pueden cursar estos posgrados son:

- Universidad Autónoma de Chihuahua
- Universidad Autónoma de Nuevo León
- Universidad Autónoma de Campeche
- Universidad Veracruzana
- Universidad Autónoma de Guadalajara
- Universidad Autónoma de Querétaro
- Universidad Autónoma de México – Facultad de ingeniería
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC)
- Tecnológico de la Construcción

Además de las entidades académicas mencionadas, otras, como el Instituto Mexicano del Transporte, ofrecen constantemente formación y actualización posprofesional en materia de transporte y vías de comunicación, las cuales también podrían ser de interés.

Por otro lado, existe la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres (AMIVTAC). Esta entidad tiene por objeto promover y desarrollar la ciencia y tecnología de las vías terrestres desde los puntos de vista técnico, administrativo y operativo en relación con las distintas modalidades del transporte en beneficio de la colectividad del país. Para ello, ofrece seminarios, publicaciones y revistas relacionadas con esta materia, las cuales también podrían ser de bastante interés en el tema de vías de BTV.

A close-up photograph of a water splash, showing droplets and ripples in a blue-toned image.

CAPÍTULO 3

MARCO INSTITUCIONAL, FINANCIAMIENTO Y ASPECTOS OPERATIVOS PARA LA GESTIÓN VIAL

CAPÍTULO 3

MARCO INSTITUCIONAL, FINANCIAMIENTO Y ASPECTOS OPERATIVOS PARA LA GESTIÓN VIAL

3.1 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL

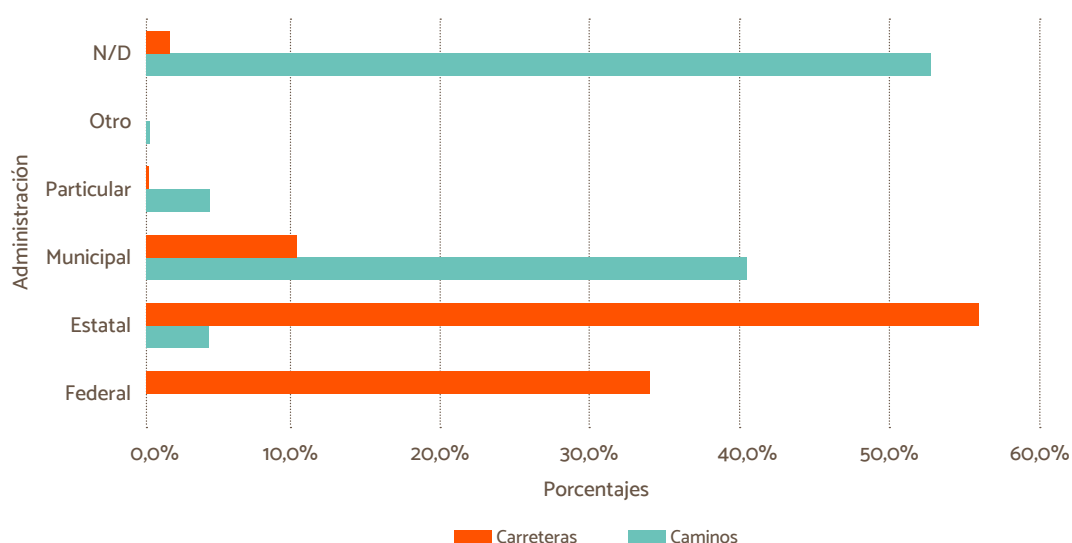
En México, la organización institucional que administra la RNC, incluyendo las carreteras y las vías de BVT, puede ser de origen federal, estatal, municipal o particular. Cada administración, a través de sus entes públicos, se encarga de la planificación, gestión, ejecución y operación vial. En el caso de las carreteras federales, la SICT, a través de la Dirección General de Carreteras, la Dirección General de Desarrollo Carretero y la Dirección General de Conservación de Carreteras, es responsable de gran parte de las vías federales de comunicación. Por otra parte, el organismo público Caminos y Puentes Federales (CAPUFE) opera y da mantenimiento mayor y menor a los diversos caminos y puentes federales a su cargo.

A nivel estatal y municipal, los organismos que administran las redes viales de su competencia son, entre otros, las Secretarías de Obra Pública, Secretarías de Comunicaciones y Obras Públicas, Secretarías de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, Secretarías de Infraestructura y Obra Pública y las Direcciones de Vialidad.

Es conveniente aclarar que, como se indicó anteriormente, México dispone de la “Normativa para la infraestructura del transporte”, desarrollada por la SICT y el IMT. Esta normativa es aplicable a todos los proyectos de infraestructura de transporte federal e implementada por dependencias, tanto estatales como municipales, que administran, planifican, ejecutan y conservan diversas vías. Sin embargo, en función de sus políticas, gestión de recursos y programas de desarrollo, son los entes públicos quienes elaboran y aplican sus propias especificaciones, criterios de diseño, de supervisión y ejecución de las obras.

La figura 7 muestra la proporción de la red que cada una de las entidades tiene a su cargo y la extensión correspondiente en kilómetros. Nótese que se desconoce quién administra más del 50 % de los caminos, lo que, por una u varias razones, puede impedir la correcta implementación de los programas aplicables de conservación de vías rurales. De ahí la importancia de tener la información tanto de la jurisdicción como del estado físico de estos caminos.

FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE LA RED DE CARRETERAS Y CAMINOS



Administración	Caminos	Carreteras	Caminos	Carreteras
	Cantidad de kilómetros		Relación	
Federal	158,7	63926,1	0,03 %	33,27 %
Estatal	21777,6	105686,5	4,11 %	55,01 %
Municipal	209506,8	18997,0	39,58 %	9,89 %
Particular	22220,6	438,6	4,20 %	0,23 %
Otro	1528,1	62,9	0,29 %	0,03 %
N/D	274166,5	3026,8	51,79 %	1,58 %

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de INEGI-SICT-IMT (2021).

3.1.1 ESTRATEGIA NACIONAL Y LOCAL PARA CAMINOS RURALES

Al igual que en otros países de la región, en México se ha reconocido la importancia económica y social de los caminos rurales o vías de BTV. Por ello, se han implementado distintas políticas y programas en todo el territorio nacional, acciones que tienen por objeto la construcción, conservación, mejoramiento y rehabilitación de los caminos rurales y carreteras alimentadoras que comunican a las comunidades y localidades, ya sea entre ellas o con sus respectivas cabeceras municipales.

Existe una gran variedad de acciones y programas referentes a los caminos de bajo volumen de tránsito. Algunos son programas temporales, es decir, que tienen un inicio y un fin de ejecución, otros son de aplicación periódica o permanente, como en el caso de las conservaciones rutinarias llevadas a cabo por los diferentes centros de la SICT y las Secretarías de Comunicaciones y Obras Públicas de los estados. Independientemente del caso, son los entes públicos de cada región los encargados de evaluar, gestionar y ejecutar las acciones pertinentes que posibiliten la comunicación segura e ininterrumpida de las localidades a través de los caminos rurales.

3.1.2 PLANES Y PROGRAMAS ASIGNADOS A LOS CAMINOS RURALES

Los diferentes niveles de gobierno han llevado a cabo diversos programas viales. A continuación, se presentan aquellos de relevancia en los últimos cinco años.

3.1.2.1 PROGRAMA DE CAMINOS PAVIMENTADOS A MUNICIPIOS INDÍGENAS

En el año 2018, se dio a conocer, a través del Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI) y la SICT, el Programa Nacional de los Pueblos Indígenas. Mediante una inversión de 2.231 millones de pesos (MXN), este programa preveía mejorar 685,3 km de caminos rurales en el municipio de Oaxaca, en el estado homónimo.

El programa fue implementado mediante los comités y asambleas comunitarias, junto con 50 autoridades municipales. A fin de concretar el programa, los Gobiernos municipales firmaron, en colaboración con la SICT y el INPI, convenios con el Gobierno federal.

El programa se ejecutó con la integración y el uso intensivo de la mano de obra local. Así mismo, se aprovecharon los conocimientos de la población local y los materiales de la región, lo que permitió generar más de 14.000 empleos y beneficiar a 196.404 habitantes.

3.1.2.2 PROGRAMA DE PAVIMENTACIÓN DE CAMINOS A CABECERAS MUNICIPALES

El Programa de Pavimentación de Caminos a Cabeceras Municipales (PPCCM) ha sido promovido desde el año 2019 por el Gobierno federal. Su objetivo es “impulsar el desarrollo de municipios con comunidades de media, alta y muy alta marginación a través del otorgamiento de subsidios para la pavimentación de caminos que dan acceso a las cabeceras municipales y que aún se encuentran a nivel de terracerías, mediante el empleo de mano de obra local no calificada” (SICT, 2020b).

El PPCCM tiene como meta fortalecer la comunicación vial terrestre, mejorando la accesibilidad y conectividad de las comunidades indígenas con sus cabeceras municipales. La ejecución del programa prioriza el uso intensivo de mano de obra local y el aprovechamiento de materiales de la región, por lo cual permite generar fuentes alternativas de empleo y fortalecer la economía local de las comunidades.

Este programa tiene una cobertura a nivel nacional, principalmente en aquellas cabeceras municipales que no cuentan con un camino pavimentado y que, a su vez, presentan media, alta y muy alta marginación. Hasta el momento, las acciones del programa se han concentrado principalmente en diferentes municipios y localidades del estado de Oaxaca y en un par de localidades de los estados de Hidalgo y Veracruz.

Criterios y requisitos de elegibilidad

Los proyectos elegibles a los cuales se otorga apoyo son autorizados y seleccionados por la Subsecretaría de Infraestructura, en coordinación con sus áreas normativas y técnicas. La selección se basa en los análisis y evaluación de proyectos que cumplen los siguientes criterios:

- Cabeceras municipales con un grado de marginación muy alto, alto y medio.
- Accesos a cabeceras municipales que no cuentan con un enlace de pavimentación previamente construido ni caminos pavimentados por alguna fuente de gobierno.
- Prioridad a aquellos municipios preferentemente de población indígena.
- Desarrollo de un análisis del costo por kilómetro de los caminos sujetos a pavimentación, realizado por la Dirección General de Carreteras de la SICT.
- Solicitud de asignación de recursos que cumplan con los requisitos del programa.
- Suscripción al convenio para el otorgamiento de los subsidios respectivos.

La SICT tiene a su cargo la identificación de los caminos elegibles, determinando sus características particulares, es decir, lleva un registro de los anchos del camino, las obras adicionales y las limitaciones. Su finalidad es elaborar un catálogo de conceptos y unidades de obra y determinar el presupuesto necesario para la formalización del Convenio y el otorgamiento del subsidio necesario para la pavimentación del camino seleccionado.

Apoyos y servicios otorgados

Los apoyos y servicios designados para la realización de los proyectos son ayudas directas otorgadas directamente a los municipios beneficiados. Dicho apoyo económico es utilizado para la adquisición de insumos, herramientas y equipo menor, así como para el pago de la mano de obra local contratada. Queda excluida la intervención de actores externos, como sindicatos, empresas constructoras, asesores, gestores, organizaciones sociales o civiles u otras personas que puedan tener algún interés en el beneficio que conlleve el programa.

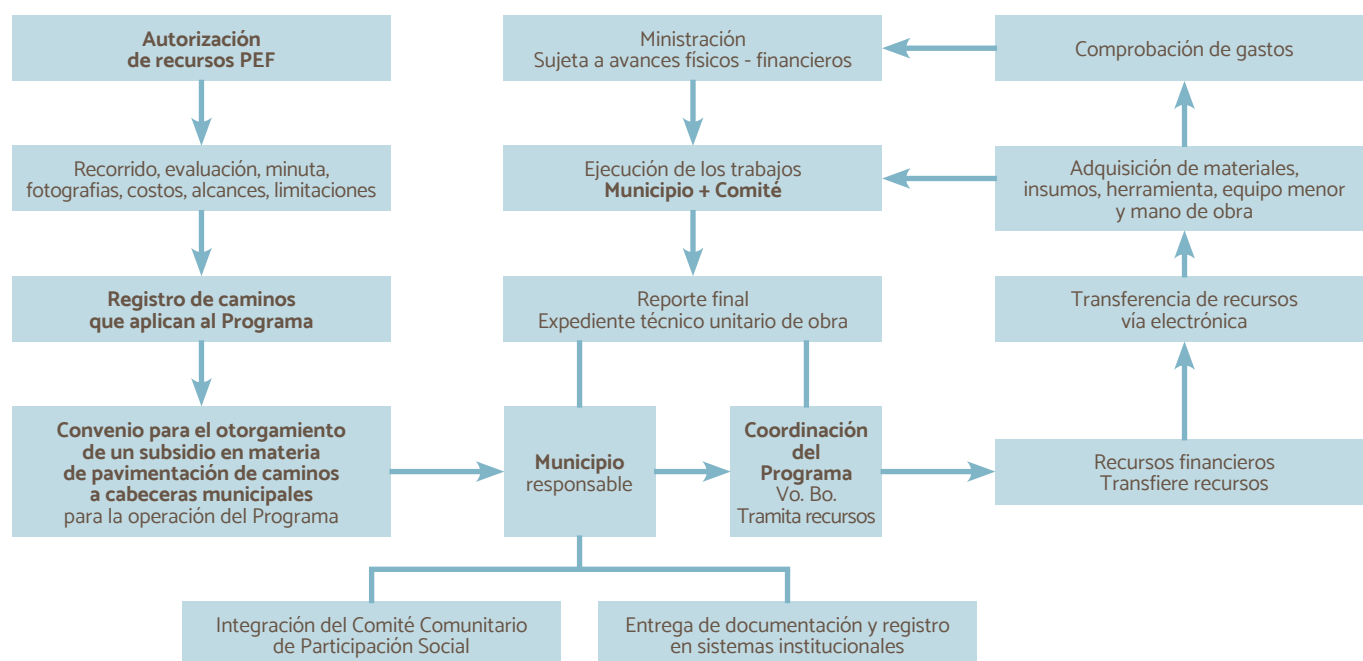
Proceso de operación

Son los municipios beneficiados los responsables directos de la ejecución de los trabajos. Por lo tanto, es su obligación aplicar y vigilar todas las etapas del programa, para que este se lleve a cabo en función de las disposiciones y lineamientos del PPCCM, debiendo cumplir con la totalidad de los objetivos y metas asignadas.

Un Comité Comunitario de Participación Social es corresponsable de vigilar que los beneficiarios que reciban pagos de jornales cumplan con su coparticipación en el proyecto, de la correcta adquisición de los insumos, la ejecución de los trabajos, la comprobación de los gastos y la debida transparencia en el manejo del presupuesto.

La figura 8 representa en un diagrama el flujo de los procesos de operación, desde la asignación de recursos a los municipios hasta la finalización y elaboración del reporte final del expediente técnico.

FIGURA 8. PROCESO DE OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PPCCM



Fuente: SICT (2020).

Contratación de obra, adquisición de bienes y/o servicios

De acuerdo con lo establecido en los Lineamientos de Operación del programa presupuestario U004, para el ejercicio fiscal 2021 y subsecuentes (inciso k, de la fracción VIII, “Aplicación y ejercicio del subsidio”):

“El Municipio”, agencia municipal o comunidad indígena en la aplicación y ejercicio de los recursos en los trabajos relativos a la construcción, modernización o conservación de caminos rurales o carreteras alimentadoras, deberá bajo su responsabilidad y en estricto apego en la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPSRM), su Reglamento y normatividad aplicable en la materia, llevar a cabo los procedimientos de contratación que correspondan, dado que los recursos que formen parte del subsidio otorgado a “El Municipio”, agencia municipal o comunidad indígena no perderán su naturaleza federal.²

Sin embargo, la naturaleza del PPCCM tiene por objeto impedir la intervención de medios externos y políticos que se puedan ver beneficiados por las acciones del programa. En consecuencia, los trabajos serán ejecutados de manera directa por el Municipio a través de la contratación de mano de obra local, suscribiendo el convenio de subsidio entre las autoridades municipales y el Gobierno federal.

Instancias corresponsables participantes

Las instancias responsables de la ejecución directa de la obra y sin intermediarios son los municipios, apoyados de manera conjunta por la SICT, el INPI y la Secretaría del Bienestar.

A continuación, se desglosan algunas de las atribuciones y responsabilidades de cada instancia.

Municipio:

- Destinar los recursos transferidos exclusivamente para el objeto descrito en el Convenio para el otorgamiento del subsidio, ateniéndose al objetivo y las metas previstas en el mismo.
- Cumplir con los mecanismos de supervisión y control de la aplicación de recursos, de conformidad con lo establecido en la Ley General de Contabilidad Gubernamental.
- Llevar a cabo, de forma detallada y completa, el registro y control correspondiente en materia documental, contable, financiera, administrativa, presupuestaria y de cualquier otro tipo que corresponda. Esto se debe hacer en los términos de las disposiciones jurídicas aplicables, que permitan acreditar y demostrar, de forma transparente, ante los órganos de control y fiscalización federales y locales facultados, que el origen, destino, aplicación, erogación, registro, documentación comprobatoria y rendición de cuentas corresponde a los recursos objeto del subsidio.
- Entregar mensualmente a la SICT la relación detallada de los gastos realizados por la instancia ejecutora y validados por el propio Municipio.

² Fuente: SICT (2021) Lineamientos de Operación del Programa Presupuestaria U004 para el Ejercicio Fiscal 2021 y Subsecuentes. Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

- Reportar trimestralmente, en coordinación con la SICT, el avance en el cumplimiento de los objetivos e indicadores de desempeño y metas, previsto en el convenio para el otorgamiento del subsidio.
- No comprometer recursos que excedan de su capacidad financiera para la realización del programa.
- Requerir, con la oportunidad debida, a las dependencias federales, estatales o municipales, la asesoría técnica, autorizaciones o permisos que resulten necesarios para la realización del programa.
- Generar un control y registro de los avances físico y financiero.
- Ejecutar los trabajos con la calidad establecida en la NIT de la SICT, para lo cual deber nombrar a un supervisor técnico que asegure su correcta aplicación y seguimiento.
- Impedir la intervención de medios externos, como asesores, sindicatos, empresas constructoras, gestores, organizaciones sociales y civiles, u otros que puedan sacar beneficio, incluso de carácter político, ya que el objetivo del programa es el apoyo directo y evitar una posible desviación de recursos o intereses.
- Pagar oportunamente a los beneficiarios del programa.
- Apoyarse en el Comité Comunitario de Participación Social para la correcta ejecución de los trabajos, compartiendo responsabilidades e informando de todas las etapas del ejercicio.
- Tomar en consideración las observaciones o propuestas de carácter técnico que emita la SICT a través de su residente de obra o de la supervisión externa.
- Generar la documentación adicional que considere necesaria, como oficios y minutas de acuerdos, para aclarar situaciones relevantes que incidan en la ejecución del Programa.
- Llevar a cabo asambleas comunitarias para informar a los habitantes de la localidad de manera bimestral de los avances físicos, financieros, las problemáticas o modificaciones, que se deban compartir como parte de la transparencia que el programa exige.
- Hacer entrega (recepción por escrito) al Municipio y su asamblea de los trabajos concluidos, incluyendo la herramienta y el equipo menor, el señalamiento colocado, las obras de drenaje y muros construidos, los saldos en cuenta bancaria y otros necesarios que hay que considerar en este procedimiento.

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes:

- Autorizar la ejecución de los trabajos conforme a lo estipulado y los lineamientos de la Guía Técnica.
- Elaborar y firmar el convenio respectivo con el Municipio, para el otorgamiento del subsidio en el marco del Programa.
- Autorizar y entregar los recursos presupuestarios federales, de acuerdo con los lineamientos y el calendario de ejecución de obra programado.
- Dar seguimiento trimestral, en coordinación con el municipio, al avance en el cumplimiento de los objetivos e indicadores de desempeño establecidos en la Guía Técnica.

- Realizar los registros correspondientes en la Cuenta Pública Federal sobre el ejercicio del gasto público, con objeto de informar respecto a la aplicación de los recursos transferidos en relación con el convenio suscrito.
- Apoyar al Municipio en el desarrollo de los trabajos que deriven de la operación del programa.
- Vigilar el pago de los jornales a los beneficiarios que participan como mano de obra y de las adquisiciones de material e insumos para su ejecución.
- Verificar la correcta ejecución de los trabajos en campo y el cumplimiento de las metas.
- Apoyar, asesorar y validar el proceso de la perspectiva técnica y documental.
- Avalar los avances realizados y la conclusión de las metas y objetivos.

Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas:

- Detectar y señalar los aspectos político-sociales que interfieran en la aplicación de los recursos y el cumplimiento de las metas establecidas en el programa.
- Tener la capacidad de asesorar, revisar y observar lo necesario en el registro de los expedientes documentales de comprobación a fin de mejorar los trabajos que se llevan a cabo.
- Avalar los avances realizados y la conclusión de las metas y objetivos.
- Atestiguar que se lleven a cabo las asambleas comunitarias para informar a la población de los avances y problemáticas de la ejecución de los trabajos, verificando que se otorga información correcta de la implementación del programa.

Secretaría del Bienestar:

- Participar en las reuniones de seguimiento.
- Participar en la atención de irregularidades, problemáticas u otros temas de relevancia, pudiendo acceder a la información necesaria para la correcta toma de decisiones en conjunto con las demás instancias participantes del programa.



Ilustración 3. Solución de pavimentación empleada para el PPCCM, Santiago de Atitlán, Estado de Oaxaca, México.

Fuente: <https://www.sct.gob.mx/index.php?id=7007>.

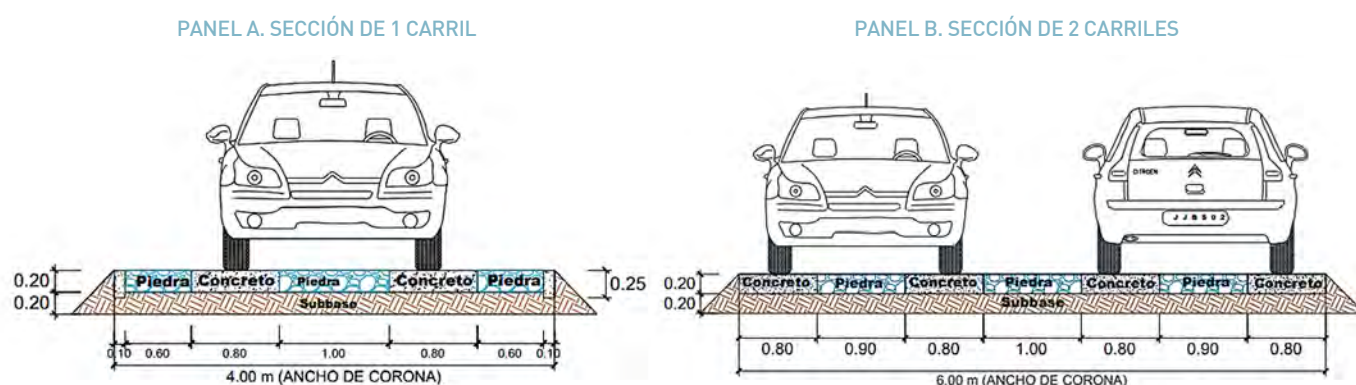
Proceso de pavimentación del camino

Las obras previstas y llevadas a cabo difieren de los caminos convencionales, basados en tendidos de una capa de rodadura de concreto asfáltico o concreto hidráulico convencional. En lugar de este revestimiento, se ha optado por la construcción de un pavimento de 20 cm de espesor constituido por huellas de rodamiento de concreto hidráulico, en losas de 3 metros de longitud por 80 cm a 90 cm de ancho, separadas por franjas intermedias o laterales de piedra ahogada en concreto hidráulico. La Ilustración 3 muestra un ejemplo de la solución empleada para la pavimentación de los caminos del PPCCM.

Cabe señalar que la fabricación del concreto hidráulico se realiza utilizando revolvedoras de cemento y materiales locales que requieren de un mínimo tratamiento para su utilización. Es importante aclarar que cada uno de los proyectos contempla la construcción de obras de drenaje, así como otros trabajos complementarios que se precisen. Tales obras son cuantificadas y presupuestadas por la SICT en los recorridos de los caminos realizados antes de decidir sobre su elegibilidad.

Los anchos de los caminos construidos dependen estrictamente de las condiciones y características físicas actuales, por lo que, desde su elegibilidad para el PPCCM, se avala y constata un ancho de sección para cada camino en particular. Cualquier ampliación de los caminos es responsabilidad de los municipios, lo que tiene por objetivo garantizar la meta en la sección aprobada. Como se muestra en la figura 9, la sección del camino puede ser de uno o dos carriles, con anchos de corona que van desde los 4 hasta los 6 metros.

FIGURA 9. SECCIÓN TIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS DEL PPCCM



Fuente: SICT (2020b).

En función del ancho del camino, el PPCCM designa y autoriza los costos máximos a invertir por kilómetro (ver el cuadro 5). En ningún caso se aprueban recursos adicionales, por lo que la autoridad municipal y el Comité Comunitario de Participación Social deben actuar con responsabilidad y administrar de la mejor manera el subsidio asignado.

CUADRO 5. COSTOS MÁXIMOS A INVERTIR POR KILÓMETRO

Ancho del camino	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
Millones de MXN	2,70	3,10	3,50	3,90	4,30

Fuente: SICT (2020b).

Dentro de las comprobaciones de la obra realizada, solo son válidas aquellas estimaciones para las cuales se ha determinado el costo por kilómetro y ancho del camino en particular, por lo que conceptos de obra no detallados en la “Guía técnica, administrativa y operativa” (GTAO) del PPCCM serán responsabilidad del Municipio ejecutor.

De acuerdo con los lineamientos establecidos en dicha guía para la pavimentación de caminos a cabeceras municipales (PPCCM) con uso intensivo de mano de obra, se establecen los conceptos de obra válidos para las comprobaciones que la autoridad municipal debe realizar conforme a los avances físicos y financieros del proyecto.

A continuación, se listan de manera general los conceptos de obra que integran la construcción de cada uno de los caminos. El orden de aparición de los conceptos representa de forma simplificada el proceso constructivo a seguir. Sin embargo, es importante señalar que no necesariamente todos los conceptos de obra tendrán que ser ejecutados, será el personal técnico de la SICT quien establezca las necesidades y requisitos particulares de cada camino. Los conceptos de obra son:

1. Limpieza de la superficie de rodamiento y zonas laterales.
2. Extracción de derrumbes ocasionados, cualquiera que sea su clasificación, incluyendo la carga a unidades de transporte para su retiro.
3. Escarificación por medios manuales de la superficie compactada para recibir una nueva capa.
4. Afinamiento para perfilar las secciones de construcción del camino existente.
5. Excavación para estructuras u obras de drenaje, cualquiera que sea su clasificación.
6. Alcantarillas de lámina corrugada de acero, de sección anidable de tubo circular sin recubrimiento, de 120 cm de diámetro y calibre n.o 12.
7. Relleno y compactación con pisón, con el material producto de la excavación en las obras de drenaje.
8. Construcción de cunetas con concreto hidráulico con resistencia ($f'c$) de 150 kg/cm².
9. Muros de cabeza para alcantarilla a base de mampostería de piedra.
10. Muros de contención a base de mampostería de tercera clase.
11. Formación de capa drenante en rellenos de cajas con material de banco, para abatimiento de nivel de aguas freáticas.
12. Construcción de subbase, de 20 cm de espesor, compactada al 95 % de su masa volumétrica seca máxima.
13. Roderas de concreto hidráulico de $f'c = 200$ kg/cm² por unidad de obra terminada.
14. Empedrado a base piedra.
15. Suministro y colocación de señalamiento vertical de 71x71 cm.
16. Suministro y colocación de barreras de protección (OD-4) de dos crestas.

Resultados del PPCCM

La SICT, en su informe dado a conocer el segundo semestre de 2021, señala las metas alcanzadas por el PPCCM, cuya área de actuación se ha concentrado en distintos municipios de Oaxaca, un estado con un muy alto porcentaje de GACP y un alto grado de marginación. Desde el inicio de actividades y hasta la fecha del informe, se han pavimentado 3.068,30 km, con una inversión total de MXN 12.748,7 millones (SICT, 2021).

El periodo de realización del PPCCM comprende desde 2019 hasta 2024, y su proyección al término del programa es la conclusión de 209 caminos, de los cuales, en 2020, se completaron 60, en 2021, se pavimentaron 37 más, y en el periodo de 2022 a 2024 se contempla terminar los 112 caminos restantes.

Se espera que, al término del periodo de implementación del programa, la población beneficiada ascienda a 622.021 habitantes en 209 localidades del estado de Oaxaca.

El cuadro 6 muestra los avances físico-financieros del PPCCM al finalizar el año 2021.

CUADRO 6. AVANCES DEL PROGRAMA DE PAVIMENTACIÓN DE CAMINOS A CABECERAS MUNICIPALES HASTA EL TERCER TRIMESTRE DE 2021

Monto y metal total	12.748,7 millones MXN	3.068,3 km
Ejercicio fiscal	Asignación (millones MXN)	Meta (km)
Hasta 2019	1.623,6	386,3
2020	2.241,2	535,4
2021*	2.300,0	549,9
Posterior a 2021	6.583,9	1.596,7

Nota: * Incluye la atención de 5 agencias municipales y 5 compromisos.
Fuente: SICT (2021).

3.1.3 PRINCIPALES TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN Y MODERNIZACIÓN DE CAMINOS RURALES Y ALIMENTADORES EN EL PERIODO DE 2012 A 2018

México es un país cuyo Gobierno federal siempre ha reconocido la importancia de la construcción, modernización y conservación de los caminos rurales y alimentadores. Esta posición se debe a que, a través de ellos, se asegura la conectividad básica entre las zonas rurales y más apartadas del país con los centros de desarrollo y consumo, lo que proporciona a las localidades y asentamientos lejanos el sostenimiento y acceso a servicios fundamentales, como los de salud, educación y empleo.

Por consiguiente, es común que, en cada mandato presidencial, las instancias correspondientes planeen y ejecuten obras en caminos rurales y alimentadores durante el ejercicio fiscal de su competencia, ya sea implementando programas especiales o programas de aplicación periódica y constante.

En este sentido, el Cuarto Informe de Labores, dado a conocer por la SICT, presenta los principales trabajos de construcción y modernización de caminos rurales y alimentadores efectuados entre los años 2012 y 2016. Entre los resultados, se destacan las siguientes cifras:

- Entre diciembre de 2012 y agosto de 2016, se construyeron y modernizaron 5.900 km de caminos rurales y alimentadores y se reconstruyeron mas de 28.400 km de vías de igual categoría.
- En el marco del programa de construcción y modernización de caminos rurales y alimentadores, se alcanzó la meta de más de 1.200 km, con una inversión de MXN 5.500 millones. Además, dentro del programa de conservación y reconstrucción de caminos rurales y alimentadores, se realizaron trabajos en más de 7.800 km, con una inversión de MXN 5.900 millones.
- En los primeros tres trimestres de 2016, se invirtieron más de MXN 3.700 millones para la construcción y modernización de caminos rurales y alimentadores, asociados a una meta de 350 km (ver el cuadro 7).

CUADRO 7. PRINCIPALES TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN Y MODERNIZACIÓN DE CAMINOS RURALES Y ALIMENTADORES REALIZADOS ENTRE ENERO Y AGOSTO DE 2016

Entidad Nombre de la obra	Inversión (millones de MXN)	Meta (km)	Trabajos realizados
Campeche Xpujil-Dzilbalchen	72,64 72,64	6,35 6,35	Construcción y Modernización
Durango Los Herrera Tamazula	32,3 32,3	2,99 2,99	Construcción y Modernización
Jalisco Ciudad Guzmán-El Grullo	15,75 15,75	3,01 3,01	Construcción y Modernización
San Luis Potosí Chilares-La Maroma	7,72 7,72	2,41 2,41	Construcción y Modernización
Yucatán Peto-Valladolid	33,8 33,8	3,25 3,25	Construcción y Modernización
Zacatecas El Conejo-Huitzila-Límite de Estados Zacatecas/Jalisco	12,5 12,5	1,73 1,73	Construcción y Modernización
Otras obras	3.585,29	330.26	
Total	3.760	350	

Fuente: SICT (2016).

3.2 RECURSOS ECONÓMICOS PARA LA GESTIÓN VIAL

3.2.1 OBTENCIÓN DE RECURSOS PARA INVERSIONES REALIZADAS EN CAMINOS RURALES

La actual administración gubernamental de México estableció un programa presupuestario de carácter nacional con el fin de contribuir a impulsar la productividad general de la economía nacional a través de estrategias que mantengan en condiciones transitables la infraestructura de caminos rurales y alimentadores existente. Esta contribución se haría por medio de la implementación de políticas públicas y programas de “conservación de caminos rurales y carreteras alimentadoras” a nivel nacional. Dichos programas guardan congruencia y se alinean con lo estipulado en el tercer eje rector del Plan Nacional de Desarrollo 2019 2024: “Economía”. Además, están en línea con el Programa Sectorial de Comunicación y Transportes 2020 2024, el cual tiene como objetivo prioritario “contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal”.

Para lograr los objetivos establecidos por la Dirección Coordinadora de Caminos Rurales y Alimentadores, la SICT instauró los siguientes programas presupuestales (PP):

- Proyectos de construcción de carreteras alimentadoras y caminos rurales.
- Conservación de infraestructura de caminos rurales y carreteras alimentadoras.
- Mejora en la conectividad a través de caminos rurales y carreteras alimentadoras.

El primer PP realiza sus operaciones a través de la asignación de recursos presupuestales de tipo federal, la cual constituye su única fuente de financiamiento. De acuerdo con el Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación 2021, la SICT dispone de un monto de MXN 2.788 millones, recursos asignados a los distintos centros SICT del país. Los recursos están destinados a 210 km de la Red Rural y Alimentadora, limitados a aquella infraestructura para la conexión de comunidades rurales con centros generadores de desarrollo, siguiendo la metodología del marco lógico de dicho programa (SICT, 2020c).

El segundo PP también opera mediante la asignación de recursos presupuestales de tipo federal y, como en el caso anterior, es su única fuente de financiamiento. La SICT estimó, para el ejercicio fiscal 2021, un monto total de casi MXN 1.005.000.000 para este proyecto de inversión, destinados a 600 km de la Red de Caminos Rurales y Carreteras Alimentadoras, de acuerdo con el Programa de Conservación de Infraestructura de Caminos Rurales y Carreteras (SICT, 2020a).

El tercer PP financia sus operaciones con recursos fiscales de tipo federal, que deberían ser reasignados a los municipios que hubieran firmado convenios de otorgamiento de subsidio con la SICT. En función de ello, para el ejercicio fiscal 2021, la SICT estimó los recursos requeridos para el programa en MXN 2.500 millones, destinados a la actividad institucional de diez carreteras alimentadoras y caminos rurales eficientes, seguros y suficientes. La cobertura del programa se limita a aquellos municipios que tienen una clasificación de medio, alto y muy alto grado de marginación integrados en las 32 entidades federativas del territorio nacional (SICT, 2020d).

El Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) considera estos programas presupuestarios, cuyo objetivo es la construcción, modernización, conservación o reconstrucción de caminos rurales, carreteras alimentadoras y puentes. Este presupuesto lo aprueban anualmente la Cámara de Diputados Federales, para que la SICT ejecute los trabajos necesarios para la implementación de estos programas. Las características de cada programa son mostradas en el cuadro 8.

CUADRO 8. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROGRAMAS PRESUPUESTARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, MODERNIZACIÓN, CONSERVACIÓN O RECONSTRUCCIÓN DE CAMINOS RURALES

Programa	Características
K031 Construcción y modernización	Las obras que se ejecutan en el camino rural, carretera alimentadora o para un puente deben disponer del registro de inversión otorgado por la SHCP, previa autorización del análisis costo-beneficio (ACB), que, en lo general, debe ser elaborado por el promovente y entregado al Centro SCT de la entidad que lo envía a la Dirección General de Carreteras, continuando la gestión ante la SHCP para la obtención del registro. Los proyectos deberán contar con las siguientes factibilidades: • Ambiental: cumplimiento de la normatividad ambiental y, en su caso, autorizaciones de la SEMARNAT. • Técnica: que se apegue a la normatividad y especificaciones establecidas por la SCT y las mejores prácticas de ingeniería y desarrollos tecnológicos disponibles. • Legal: en apego a las disposiciones jurídicas aplicables en el ámbito federal, estatal o municipal que corresponda, por ejemplo, derecho de vía y del INAH cuando corresponda. Las obras por atenderse están sujetas a la disponibilidad presupuestal. Nota: aun sin disponer de lo anterior, la H. Cámara de los Diputados puede autorizar en el PEF obras sin tener ninguno de los elementos arriba citados, los cuales se irán obteniendo durante los primeros meses del año.
K037 Conservación y reconstrucción	Los caminos rurales y las carreteras que se propongan para su conservación no requieren registro en carretera, deberán ser consensuados entre el Centro SCT y el gobierno del estado, según las necesidades y peticiones hechas. Las obras por atender están sujetas a la disponibilidad presupuestal.
K039 Estudios y proyectos	Con este programa se apoya la elaboración de estudios y proyectos técnicos que cuenten con los elementos necesarios para demostrar la factibilidad de los proyectos.

Fuente: AMIVTAC (2017).

3.2.2 FUENTES EXTERNAS DE FINANCIAMIENTO

En el año 1994, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), a través del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRA), otorgó a México un apoyo financiero de USD 500 millones para el denominado “Programa de Desarrollo Municipal”. El objetivo de este programa era reforzar la capacidad de los Estados participantes para suministrar servicios básicos, dando atención especial a las necesidades de la población de bajos ingresos. El Programa también tuvo por objeto financiar proyectos de infraestructura para pequeñas comunidades y de fortalecimiento institucional de municipalidades medianas y pequeñas. En ese marco, ejecutó 60.000 pequeñas obras municipales, básicamente de agua potable, drenaje, saneamiento, pavimentación y electrificación, lo que representó un 94 % del monto total del programa (USD 833 millones) (BID, 1994).

También entre los años 2007 y 2013, el trabajo mancomunado del BID y el Gobierno de México, por medio del Programa Hábitat, desarrolló infraestructura urbana en 1.400 barrios de 350 municipios del país. De esta forma, se construyeron 45.000 km de pavimentación y obras viales y 25.000 km de redes de agua potable, drenaje y electrificación, además de realizar otras actividades contempladas en el mencionado programa. Cabe resaltar que el programa estaba focalizado en ciudades con al menos 15.000 habitantes, en zonas con alta concentración de la pobreza y rezagos en materia infraestructura, servicios y equipamiento urbano (BID, 2016).

3.3 ASPECTOS OPERATIVOS DE LA GESTIÓN VIAL

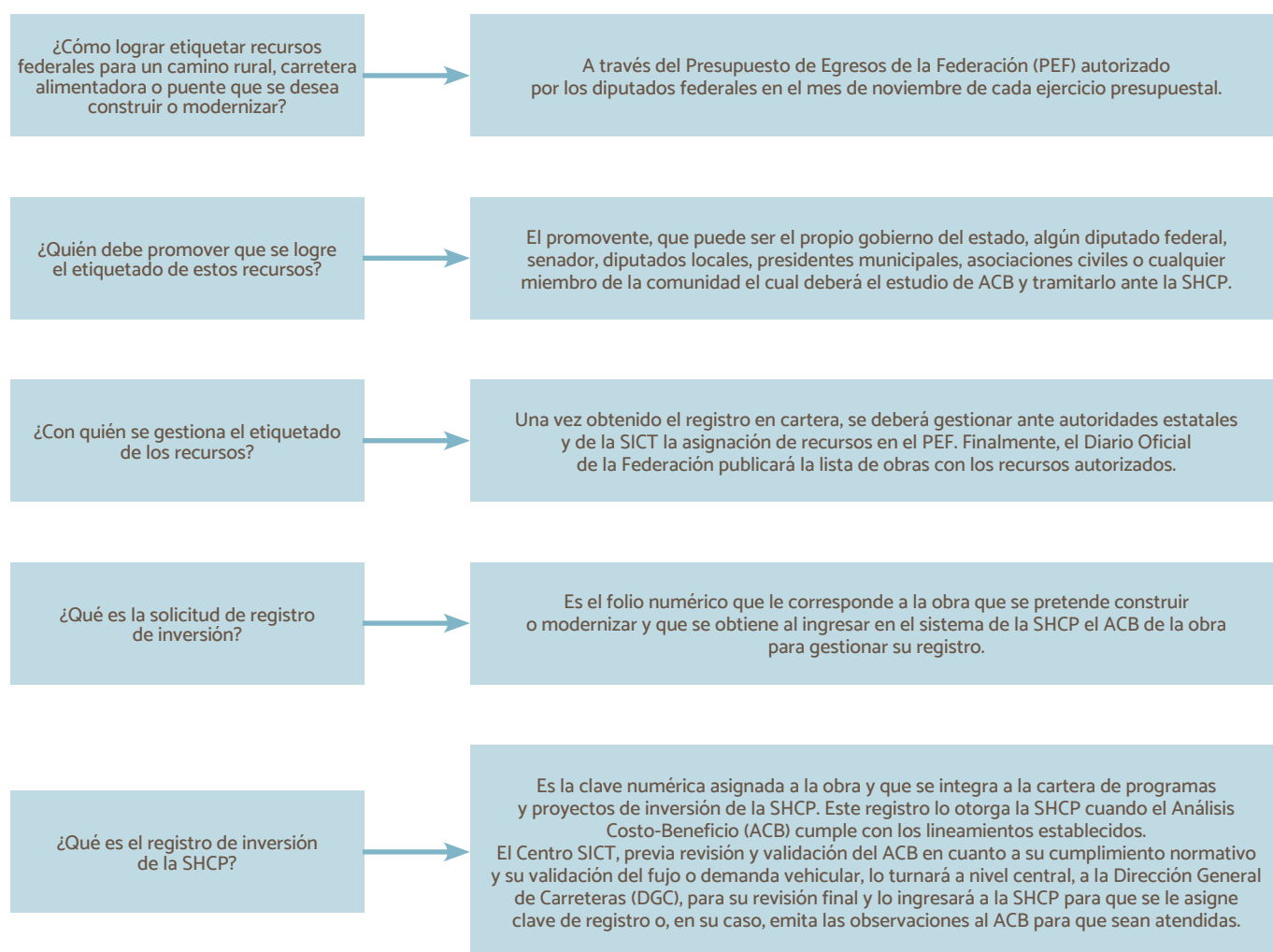
Los instrumentos para la ejecución de las tareas de conservación y mejoramiento de los caminos rurales o alimentadores son, principalmente, la administración directa a través de los departamentos municipales o estatales de obras públicas. Dependiendo de la complejidad de los trabajos, se puede recurrir a la licitación o contratación de terceros.

Desde su creación en 1982, la entonces denominada Secretaría de Comunicaciones y Transportes (hoy Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes), asumió la responsabilidad de llevar a cabo la construcción y conservación de caminos, incluyendo las rutas de los caminos rurales y alimentadores. Para el año 2000, la mayoría de los caminos rurales fueron transferidos a los Gobiernos estatales, por lo que la SICT solo mantuvo un par de miles de kilómetros a su cargo, cantidad que disminuyó con el paso de los años. Sin embargo, la SICT continúa, hasta la fecha, como entidad responsable de construir y conservar caminos, acción que realiza en conjunto con los Gobiernos estatales.

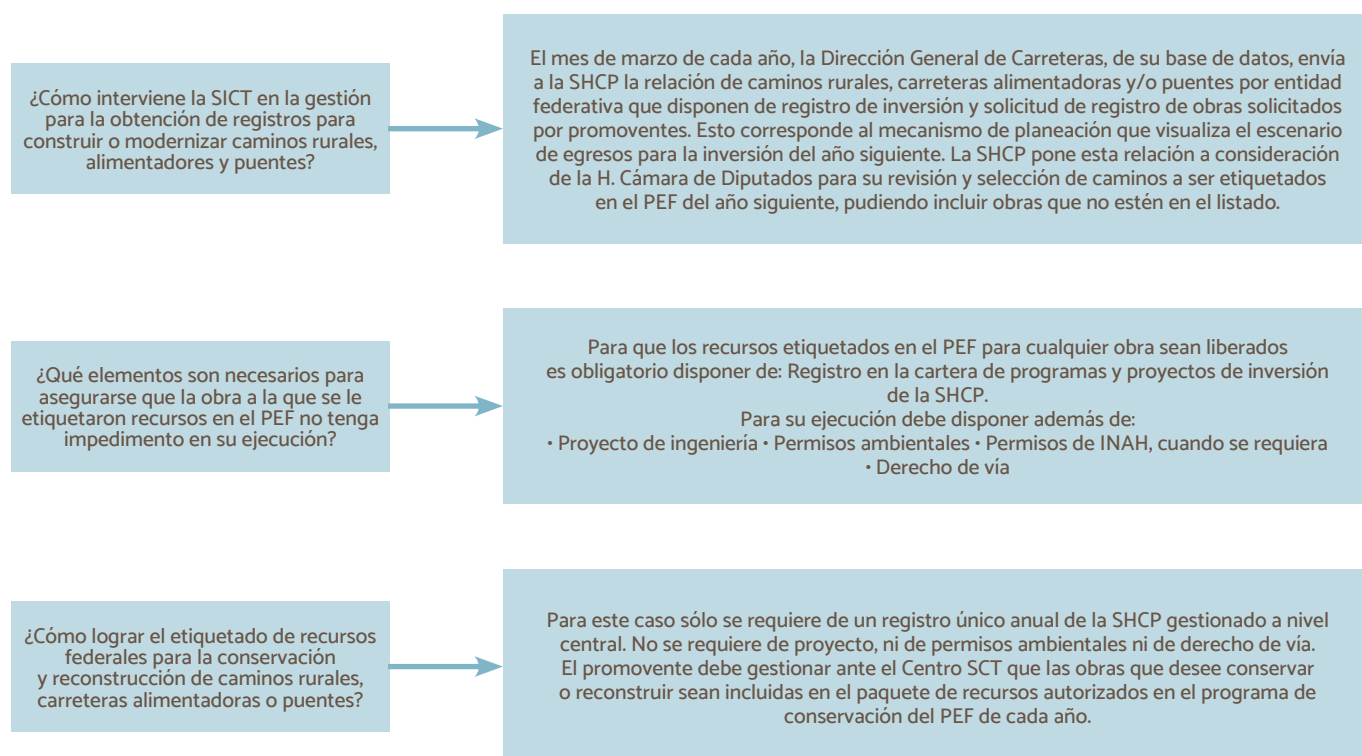
Como se expone en apartados posteriores, con frecuencia, los programas impuestos por las direcciones de caminos rurales y alimentadores, ya sea a nivel federal o estatal, prevén la participación comunitaria de las localidades cercanas a las áreas de trabajo, por un lado, la participación de las personas crea un sentido de pertenencia y apego con su localidad, por otro, representa una fuente de trabajo e ingreso no solo para contratistas externos, sino también para los mismos pobladores del lugar.

A continuación, se muestran algunas recomendaciones para asignar recursos, lo que se conoce como etiquetar, a caminos rurales, carreteras alimentadoras o puentes que estén sujetos a construcción o modernización, así como aquellos que se prevé conservar o reconstruir.

FIGURA 10. RECOMENDACIONES PARA ETIQUETAR CAMINOS RURALES, CARRETERAS ALIMENTADORAS Y PUENTES DENTRO DE LA GESTIÓN DE RECURSOS



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de AMIVTAC (2017).



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de AMIVTAC (2017).

En resumen, para etiquetar el recurso público en el PEF, es necesario cumplir con los requisitos mínimos mostrados en el cuadro 9.

CUADRO 9. REQUISITOS PARA ETIQUETAR EN EL PEF PROGRAMAS PARA CONSTRUIR, MODERNIZAR, CONSERVAR O RECONSTRUIR CAMINOS RURALES Y CARRETERAS ALIMENTADORAS

Construcción y modernización	Conservación y reconstrucción
Requiere:	No requiere:
• Registro de inversión • Proyecto • Permisos ambientales • Liberación de derecho de vía	• Registro de inversión de manera individual • Proyecto • Permisos ambientales • Liberación de derecho de vía

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de AMIVTAC (2017).

3.4 CRITERIOS PARA LA PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE CAMINOS RURALES

Son diversas las metodologías con las cuales los Gobiernos priorizan los trabajos de infraestructura en relación con los caminos rurales. Como es de esperar, los recursos son limitados, por lo que su uso debe tratar de maximizar los beneficios o eficacia en cuanto a los resultados obtenidos al término del proyecto.

En México se identifican algunas políticas públicas, que definen las acciones que se realizan en materia de infraestructura de caminos rurales. Para ello, se destacan dos tipos de enfoques: el primero es el económico, donde destacan variables como el volumen de producción, la cantidad de empleos generados, cambios en la productividad, el número de unidades económicas, los costos de operación vehicular y el valor del tiempo de usuarios, entre otras, el segundo, es el social, donde entre las variables se encuentran el nivel de educación, la salud, la alimentación, la calidad de la vivienda, la migración, la marginación y la pobreza.

El documento técnico “Una metodología multicriterio para la jerarquización de inversiones públicas en proyectos de caminos rurales”, publicado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), ofrece una metodología flexible, que permite utilizar variables tanto de tipo social como económico, dependiendo de la importancia que esas variables tienen para el estudio u proyecto seleccionado. La propuesta metodológica se divide en dos fases: la primera, de acuerdo con el grado de marginación, propone subintervalos de valoración para diferentes municipios en función de su índice de marginación (IM) y población. Esto permite jerarquizar o seleccionar las zonas o regiones con mayor carencia de infraestructura. La segunda fase comprende un método de preferencias variables o multicriterio, haciendo uso del método Electra I, por la cual se analizan seis variables de tipo social, que permiten enriquecer el estudio y tener mayores elementos de juicio en la jerarquización final de los municipios o proyectos involucrados (IMT, 2021).

A lo largo del tiempo, el IMT ha desplegado esfuerzos para el desarrollo de estudios de movilidad rural, con la finalidad de comprender su estado y comportamiento. Su objetivo ha sido proporcionar herramientas de utilidad y solución para aquellos planificadores, entidades gubernamentales y organizaciones involucradas en el desarrollo rural y encargadas de tomar decisiones en el rubro desde la perspectiva del transporte. Dado lo anterior, el IMT se capacitó en el uso de la herramienta “Planificación integral del acceso rural” (PIAR), desarrollada por la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Dicha herramienta considera la habilidad y el nivel de dificultad que supone para los pobladores rurales usar, alcanzar u obtener bienes y servicios básicos. Esta herramienta a través de la aplicación de cuestionarios a comunidades rurales puede ser utilizada para definir la priorización de caminos rurales que pretendan ser construidos o mejorados (IMT, 2022).

3.5 PARTICIPACIÓN COMUNITARIA EN LA MEJORA DE LOS CAMINOS RURALES

Actualmente, es común que la autoridad competente integre a mano de obra local en las actividades de construcción o conservación de caminos rurales, con objeto de generar empleos temporales y apoyar económicamente a la comunidad cerca de las áreas de trabajo.

Un caso en particular, y el más reciente, es del PPCCM, llevado a cabo por el Gobierno federal, en el que se han integrado comités comunitarios de participación social, convocados por la autoridad municipal. En estos comités participan 10 ciudadanos que llevan a cabo las labores de vigilancia para la correcta aplicación de los recursos del Programa.

Dicho Comité debe estar avalado por la autoridad municipal, participando como testigo con el personal designado por la representación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, denominada Centro SCT. Sus miembros deben coordinarse y trabajar en armonía, ya que son corresponsables del cumplimiento de las metas. El Comité debe atestiguar la correcta aplicación de los recursos y verificar el pago al personal que haya trabajado en la ejecución de las obras, teniendo la facultad de recibir quejas y sugerencias de la población beneficiada, así como de intervenir en cualquier conflicto que surja entre las partes durante las labores.

Las personas participantes en los trabajos en campo, a las que se podrá incluir en el registro de nóminas para la compensación de su contribución, se dividen en dos (2) categorías:

Peón (ayudante): deberá ser mayor de 16 años, indistintamente de su género, identificándose como mínimo con un documento oficial a fin de poder ser candidato a participar en el Programa. Su compensación podrá ser de hasta MXN 200 por jornal y sus tareas pueden implicar la carga y descarga de materiales, la limpieza y preparación de las obras y las áreas de construcción, por ejemplo, cavando zanjas, limpiando derribos, escombros y otros desechos, compactar y nivelar el terreno, construir, colocar y desarmar moldes para verter el concreto, y ocuparse del equipo, entre otras actividades.

Cabo de obra (albañil): deberá ser mayor de 16 años, indistintamente de su género, identificándose como mínimo con un documento oficial a fin de poder ser candidato a participar en el Programa. Su compensación podrá ser de hasta MXN 400 por jornal y sus tareas inciden en interpretar planos y diseños para decidir las especificaciones y calcular los materiales que son necesarios, medir la distancia de los puntos de referencia y marcar las directrices para llevar a cabo el trabajo. Esas actividades pueden consistir en el uso de plomadas y niveles, calcular los ángulos y direcciones para determinar los alineamientos horizontales y verticales, utilizar trazos, romper o cortar materiales de construcción al tamaño adecuado, empleando paletas, martillos, sierras eléctricas y otras herramientas especiales, y mezclar cantidades de agregados pétreos, cemento y agua para conseguir mezclas conforme a la resistencia especificada, entre otras.

Ambas categorías de personas forman parte de la cuadrillas de trabajo. Estas son grupos integrados por un número determinado de personas, según sea la actividad por realizar y formadas por albañiles, cabos, peones y cargadores. Dentro de los trabajos que se deben realizar en la obra, una buena organización de las cuadrillas permitirá que se agilice el proceso constructivo y se avance la obra mejor y más rápido. Una de las muchas maneras de trabajar es la asignación de tareas diferentes a cada cuadrilla.

3.6 EXPERIENCIAS E INDICADORES DE IMPACTO

La marginación es un fenómeno estructural que tiene sus orígenes en el patrón histórico del desarrollo de una región (continente, país, municipio, localidad, etc.). La marginación se expresa, por un lado, en la dificultad para propagar el progreso técnico en el conjunto de la estructura productiva y en las regiones del país y, por el otro, en la exclusión de grupos sociales del proceso de desarrollo y del disfrute de sus beneficios.

En México, la marginación social se mide por índices, que valoran las dimensiones estructurales del fenómeno. Para calcularlo, identifica nueve formas de exclusión y mide su intensidad espacial como porcentaje de la población total no participante del disfrute de bienes y servicios esenciales para el desarrollo de sus capacidades básicas. El cálculo y asignación del índice de marginación, ya sea por localidad, por municipio o estado, pueden ser consultados en el portal de la CONAPO, en el apartado de “Índices de marginación”³.

Un estudio realizado por el IMT en 2016 determinó el impacto que tuvo la construcción de tres caminos rurales en el estado de Querétaro, cada uno con características propias y problemáticas diferentes, sobre el nivel de bienestar de la población. Los resultados obtenidos fueron alentadores y permitieron afirmar que es importante fomentar la inversión por parte de las autoridades del sector en este tipo de infraestructura.

El trabajo analizó únicamente los impactos en el grado e índice de marginación, aunque mencionaba la posibilidad de realizar estudios subsecuentes sobre el impacto en otros indicadores, como el acceso a servicios de salud, educación y empleo, el ingreso y el gasto de la población. Es indiscutible que el monitoreo de este tipo de infraestructura permitirá tener una visión más clara y objetiva de todos los beneficios que su construcción proporciona a la población (IMT, 2009). El mejoramiento de caminos y carreteras es un componente de la infraestructura estrechamente relacionado con el crecimiento social y económico de los municipios y de la población que en ellos reside.

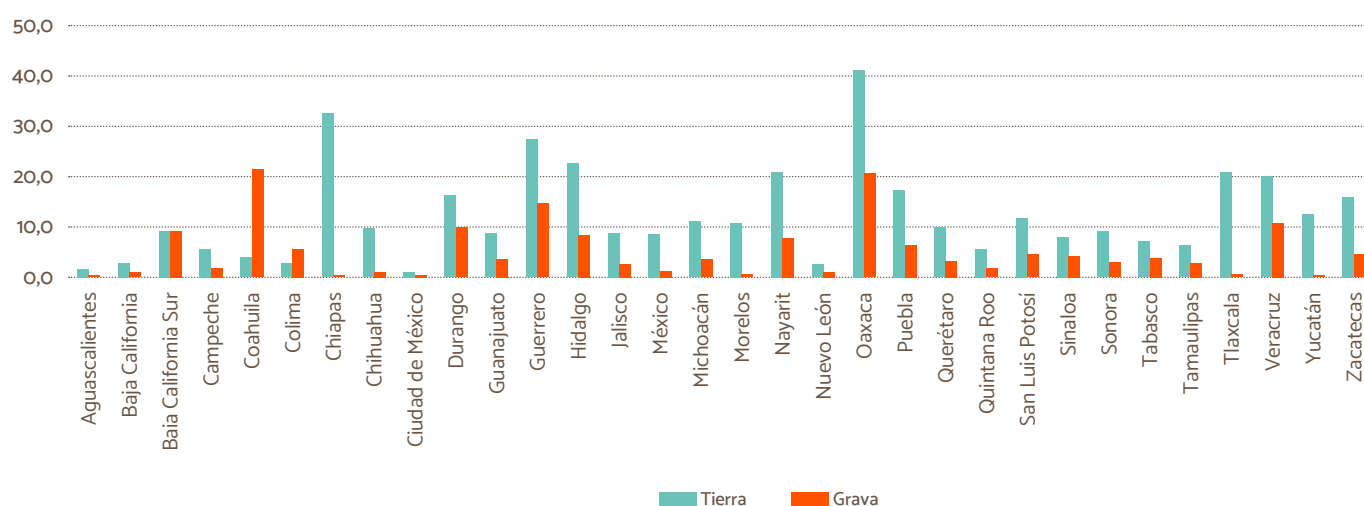
³ Disponible en la página web <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>.

Tal como se expuso en el apartado “Población y aspectos socioeconómicos de México”, el grado de accesibilidad a una determinada localidad depende de las condiciones físicas de la vía de acceso que la conecta a otra localidad o a la cabecera municipal. La disponibilidad de un camino revestido o pavimentado permite que los tiempos de traslado de la población se reduzcan, facilitando con ello la movilidad de la persona a distintos servicios que no se encuentren en el lugar de residencia.

El grado de accesibilidad a una carretera pavimentada depende de las características del entorno. Una localidad puede encontrarse a un costado de la carretera pavimentada, pero las condiciones naturales (inclinación de terreno, uso de suelo), de falta de acceso a servicios y de transporte público repercuten en la clasificación del grado de accesibilidad.

Estudios de CONEVAL determinaron, por medio del análisis de información geográfica, poblacional y de transporte, el grado de accesibilidad a carretera pavimentada (GACP) para cada localidad del país. Datos del 2010 y de 2020 de este estudio, mostraron una disminución del porcentaje de población con accesibilidad muy baja o baja en cada uno de los Estados de México (ver figura 13). Los índices indican un mejoramiento de la infraestructura vial que comunica, sobre todo, a las pequeñas localidades con centros poblacionales más grandes, lo cual puede favorecer el crecimiento de estas localidades y contribuir a su desarrollo.

FIGURA 11. PORCENTAJE DE POBLACIÓN CON ACCESIBILIDAD MUY BAJA O BAJA DE CADA UNO DE LOS ESTADOS DE MÉXICO



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONEVAL (2010 y 2020).



CAPÍTULO 4

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LOS CAMINOS RURALES

CAPÍTULO 4

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LOS CAMINOS RURALES

4.1 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN EN LOS PROYECTOS

En los últimos años, México ha prestado cada vez más atención al resguardo y protección del medio ambiente, la biodiversidad, el sistema paisajístico, los usos tradicionales del suelo, el clima y, sobre todo, de las áreas naturales protegidas, las cuales son un patrimonio social y cultural del país. Para ello, la legislación en materia de medio ambiente se ha ido reformando para aplicar instrumentos y criterios cada vez más estrictos que permitan preservar este recurso tan importante.

La obra civil desarrollada por el sector carretero mexicano se sujeta al cumplimiento de diversas disposiciones, reglamentos y normas aplicables en materia ambiental. Desobedecer estas leyes, no solo implica un daño al entorno, sino que es acreedor de multas, sanciones administrativas e incluso penales, dependiendo de la magnitud y del daño causado al medio ambiente.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) es donde se establecen los lineamientos generales de la política ambiental nacional y las facultades específicas para la federación, los estados y municipios en materia de protección del medioambiente. Uno de sus objetivos es preservar y restaurar el equilibrio ecológico, así como la protección del ambiente en el territorio nacional y las zonas en las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

La LGEEPA logra sus objetivos por medio de los denominados instrumentos de política ambiental: planeación ambiental, ordenamiento ecológico del territorio, instrumentos económicos, regulación ambiental de los asentamientos humanos, evaluación del impacto ambiental, normas oficiales mexicanas, autorregulación y auditorías ambientales, investigación y educación ecológicas, así como los instrumentos de política ecológica de las áreas naturales protegidas.

En este aspecto, la LGEEPA impone diversas obligaciones a actividades y conductas, como es el caso de la construcción, conservación y operación de caminos y carreteras. Algunas obligaciones para este tipo de proyectos son las siguientes:

- Autorización de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), en especial por los cambios de uso de suelo de terrenos forestales o si el proyecto u obra se encuentra en áreas naturales protegidas (ANP).
- Obligación de observar las normas oficiales mexicanas (NOM).
- Registro de emisiones y transferencia de contaminantes.
- Prevención y control de contaminación a la atmósfera.
- Prevención y control de la contaminación del suelo.

Con relación a esta Ley, existe el Reglamento de la LGEEPA, el cual tiene por objeto regular el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, el de Evaluación del Impacto Ambiental y los relativos a áreas naturales protegidas y a ordenamiento ecológico.

El cuadro 10 lista un conjunto de legislaciones, reglamentos y normas aplicables al sector carretero en materia de medio ambiente y recursos naturales de la nación.

CUADRO 10. NORMATIVIDAD APLICABLE AL SECTOR CARRETERO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE MÉXICO

Normatividad aplicable al sector carretero en materia de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México
Código Penal Federal
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
Ley de Aguas Nacionales
Ley Federal de Responsabilidad Ambiental
Ley General de Bienes Nacionales
Ley General de Cambio Climático
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
Ley General de Vida Silvestre
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
Ley General para la Gestión Integral de los Residuos
Ley Orgánica de la Administración Pública Federal
Leyes de Carácter Local
Normas oficiales mexicanas relacionadas
Normativa para la infraestructura del transporte
Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
Reglamento de la Ley General para la Gestión Integral de los Residuos
Reglamento de la LGEEPA en Materia de Áreas Naturales Protegidas
Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental
Reglamento de la LGEEPA en Materia de Ordenamiento Ecológico
Reglamento de la LGEEPA en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Tratados internacionales relacionados con el tema

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la SICT (2016).

El “Manual para estudios, gestión y atención ambiental en carreteras” (SICT, 2016) es un documento dirigido al sector de comunicaciones y transportes, que incorpora criterios e instrumentos que aseguran la óptima protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales para alcanzar el desarrollo sustentable. Dicho manual incorpora la legislación aplicable, organización y procedimientos de la autoridad ambiental, además de recopilar buenas prácticas ambientales de la experiencia obtenida con el desarrollo de la infraestructura de caminos y carreteras internacionales (SICT, 2016). Es posible consultar el Manual mencionado en el portal oficial de la SICT, en su apartado de documentos y manuales de procedimientos⁴.

⁴ Accesible en la página web <https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manuales-2016/manual-atencion-ambiental-carreteras.pdf>.

4.2 ECONOMÍA CIRCULAR Y APROVECHAMIENTO DE MATERIALES

La disponibilidad de recursos para la construcción y conservación de las infraestructuras es cada vez más limitada, razón por la que, junto con otro tipo de factores, las obras tienden a elevar sus costos. Consecuentemente, las autoridades encargadas de estas actividades de construcción y conservación de vías enfrentan crecientes dificultades para poder llevar a cabo dichas labores en la extensa red de carreteras y caminos.

El término economía circular se refiere al aprovechamiento de recursos de consumo mediante su reutilización, reducción, reparación o reciclado, de tal forma que su ciclo de vida se extienda y contribuya, en este caso, a disminuir la explotación de bancos de material para la construcción de vías terrestres de comunicación.

En la construcción de caminos rurales, es posible aplicar este sistema de aprovechamiento de materiales en los seis criterios que intervienen en el proyecto. A continuación se mencionan aquellos criterios generales que favorecen economías (Salas Rico, 2008):

Economía en el proyecto

- En terreno plano se recomienda construir en terraplén, por medio de préstamo lateral y la rasante más económica en función del drenaje.
- En terreno en lomerío, la rasante debe apegarse a las ondulaciones del terreno natural. Hay que procurar que, en tramos donde se requieran cortes o terraplenes, los movimientos de volúmenes sean en distancias cortas.
- En terreno montañoso se recomienda el uso de secciones en firme, evitando altos terraplenes, para que no se compacten las terracerías y no se construyan escalones de liga.

Economía en el drenaje

En la construcción de las obras de drenaje se puede lograr un ahorro significativo si se toman en cuenta las recomendaciones de proyectar y construir obras que permitan utilizar los materiales más abundantes de la región, tales como madera, piedra, arena, grava, cal y tabique.

Para cruces superiores a seis metros, los vados, puentes o una combinación de ambos son la solución. Su elección dependerá de factores, como el TDPA, el presupuesto y el tiempo de ejecución de obra, la fuerza de trabajo y el desarrollo presente o futuro de la región por servir.

Economía en el estudio y el proyecto

- Aprovechar el parteaguas cuando sea posible, con el fin de abatir los costos de construcción de terracerías y drenaje.
- Evitar zonas de alta clasificación de materiales.
- Evitar al máximo los cruces con las corrientes pluviales.
- Proyectar trazos que eviten cortes fuertes.
- Emplear grados de curvatura mayores, con el fin de reducir los volúmenes de terracerías.
- Utilizar contrapendientes a nivel de rasante, lo que permite apegarse a las ondulaciones naturales del terreno y evitar grandes volúmenes de corte.
- Para que no se compacten las terracerías, alojar la sección transversal en firme.
- Considerar la utilización de materiales de la región y mano de obra local en el proyecto de drenaje menor y mayor.
- Cuando las condiciones de cruce sean apropiadas, recurrir a los vados como solución para atravesar ríos.
- En caso de no localizar materiales apropiados, estabilizar el material adicionándole cal o cemento.

Economía en la construcción

- Los trabajos deben ser ejecutados de acuerdo con lo señalado en el proyecto.
- El aseguramiento, el control y la verificación de la calidad de los materiales y de la obra se deben apegar a la normatividad vigente.
- De ser posible, hacer uso de la tecnología en alguna de las etapas de construcción del camino, tal es el caso del uso de productos estabilizadores, aditivos, mezclas de materiales y otras soluciones técnicas.

Economía en la conservación

Las recomendaciones técnicas señalan que una atención oportuna a la conservación del camino permite proporcionar el servicio para el cual se diseñó y construyó, alargando su vida útil y retrasando su reconstrucción en el largo plazo.

La implementación continua de programas para la conservación de caminos rurales o carreteras alimentadoras permite recuperar parcialmente las condiciones originales que tenían cuando fueron construidos, contribuyendo a la disminución del material y recurso empleado. La ausencia de estas actividades de conservación aceleran el desgaste de la estructura de pavimento, lo que obliga a intervenciones más profundas para recuperar niveles aceptables en la calidad del camino o carretera.

Aprovechamiento de material de bancos de préstamo y canteras

El uso de fuentes de abastecimiento de materiales locales, tales como bancos de préstamo y cantera, puede significar importantes ahorros en los costos de un proyecto si se compara con la obtención de material de fuentes lejanas (generalmente comerciales). El uso de materiales locales puede resultar en la aplicación de mayores extensiones de superficie de rodamiento y de protección de taludes. Sin embargo, la calidad de los materiales extraídos de fuentes locales no siempre es la adecuada para el proyecto. Materiales de baja calidad tienen efectos adversos, ya que implican un mayor mantenimiento del camino y su comportamiento puede llegar a ser deficiente (Keller & Sherar, 2004).

Los bancos de préstamo, también conocidos como yacimientos de agregados, y canteras pueden producir impactos negativos importantes en el medio ambiente debido a la erosión, la producción de sedimentos, el cambio de uso del suelo, los efectos en la vida silvestre y problemas de seguridad, entre otros. Por esta razón, la planeación del sitio de extracción, su ubicación y explotación de material deberán generalmente llevarse a cabo en combinación con un análisis ambiental para determinar la disposición y limitaciones, ya sea del banco de préstamo o de la cantera.

Un análisis del sitio de extracción requiere conocer la ubicación del depósito de materiales, el equipo de trabajo, las áreas de almacenamiento y de extracción, los caminos de acceso, los límites de la propiedad, los recursos hídricos cercanos, la cantidad de material explotado y la geometría final del banco, entre otros datos necesarios para un buen estudio.

La explotación de bancos de préstamo, canteras u otras fuentes de abastecimiento de materiales se realizará, siempre que sea posible, en sitios cercanos al proyecto. Esta actividad puede resultar bien en el uso de maquinaria o en mano de obra, dependiendo de las condiciones del sitio, del material y del ritmo de producción.



Ilustración 4. Explotación de cantera con uso de maquinaria pesada.



Ilustración 5. Trituradora de materiales pétreos instalada en campo.

Dependiendo de su cercanía con los proyectos, los bancos de préstamo y canteras pueden proporcionar un recurso excelente y relativamente barato como fuente de materiales. Generalmente, el material extraído requerirá de un proceso de producción, tal como el cribado o triturado, que permita garantizar la calidad del material.

A continuación se enumera una serie de recomendaciones y buenas prácticas para la explotación y aprovechamiento de materiales de bancos de préstamo y canteras, obtenidas de la guía “Ingeniería de caminos rurales – Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales” (Keller y Sherar, 2004).

Prácticas recomendadas

- Explotar localmente bancos de préstamo, canteras u otras fuentes de abastecimiento de materiales siempre y cuando resulte práctico para el proyecto y se dispongan de los análisis y permisos ambientales necesarios para esta actividad.
- Definir un plan de desarrollo de bancos, donde se realice un análisis detallado del sitio de extracción, lo que permitirá controlar el uso de este recurso y las cantidades empleadas para el proyecto.
- Preparar un plan de recuperación de bancos, el cual debe incluir información de la conservación y restablecimiento de la capa vegetal, la configuración final, las necesidades de drenaje, la reforestación y las medidas de control de la erosión.
- Localizar las fuentes de abastecimiento de materiales, ya sea dentro del derecho de vía del camino o fuera de la vista de la calzada.
- Mantener los controles de calidad de la producción de materiales obtenidos de la explotación de bancos de préstamo o canteras, haciendo uso de ensayos de laboratorio o campo.
- Se deberá evitar la extracción de material, tales como gravas y arenas, dentro de ríos o arroyos y, sobre todo, evitar el trabajo con maquinaria dentro de estos cuerpos de agua.

4.3 PROPUESTAS PARA INCORPORAR LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN LOS PROYECTOS

Por sus características, es claro que la construcción, conservación o modernización de caminos rurales no siempre cumple estrictamente con cada una de las disposiciones establecidas por el Estado. Sin embargo, con el tiempo se han dictado especificaciones ambientales generales (EAG), que permiten las buenas prácticas (Salas Rico, 2008). Las siguientes son algunas especificaciones ambientales:

EAG1 - Desmontes: es conveniente que el desmonte no se haga más allá de un metro de la línea de ceros.

EAG2 - Despalmes: el material proveniente de los despalmes puede ser utilizado para proteger los taludes de la terracería contra la erosión, aportar un mejor paisaje al camino y propiciar el desarrollo de especies vegetales.

EAG3 - Desperdicios de cortes y excavaciones para estructuras: hay que colocar el material proveniente de cortes de sección y para la instalación de estructuras de drenaje en los laterales del camino o vaciarlo aguas abajo de este. Este representa uno de los mayores daños al suelo, por lo que se deberá depositar en uno o varios bancos destinados para ello.

EAG4 - Explotación de préstamos de banco: este procedimiento tiende a entrar en desuso por los problemas que ocasiona al ambiente, al drenaje, a la salud, en ocasiones, a la estabilidad de la obra o a la seguridad de operación, y a sus posibles ampliaciones.

EAG5 - Drenaje transversal (alcantarillas): todos los escurrimientos deben contar con su alcantarilla para no perturbar el equilibrio ecológico de las pequeñas cuencas.

EAG6 - Superficies de rodamiento revestidas o de terracerías: aquellos caminos compuestos únicamente por terracerías se encuentran sujetos al clima, lo que ocasiona el levantamiento de polvo al paso de los vehículos y afecta al proceso reproductivo de las plantas y, como consecuencia, a los cultivos de alimentos. También afecta la calidad del aire que las personas respiran de encontrarse cerca de las viviendas. Es importante realizar una buena compactación de la capa de rodadura y realizar procedimientos de conservación periódicamente.

EAG7 - Operación y mantenimiento de la maquinaria: en caso de utilizar equipo y maquinaria que funcionen con combustible, se deberá revisar su estado mecánico antes de su uso para disminuir al máximo las emisiones de gases, las filtraciones de aceite y los ruidos excesivos que puedan perturbar a la fauna o a poblaciones aledañas al camino.

El “Manual para estudios, gestión y atención ambiental en carreteras” (SICT, 2016) incluye otra serie de buenas prácticas de manejo de la infraestructura carretera en su etapa de construcción.



CAPÍTULO 5

PRÁCTICAS DE MEJORAMIENTO DE CAMINOS RURALES

CAPÍTULO 5

PRÁCTICAS DE MEJORAMIENTO DE CAMINOS RURALES

5.1 TÉCNICAS UNIVERSALES

5.1.1 CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS HUELLA-PLACA CON USO INTENSIVO DE MANO DE OBRA

Dada la experiencia con la técnica denominada huella-placa en regiones rurales del país, se recomienda la construcción de este tipo de caminos donde el volumen diario promedio anual (TDPA) es igual o menor a 100 vehículos y la intensidad de vehículos de carga es baja.

La sección transversal de estos caminos se basa en losas de concreto hidráulico, de 80 cm, en las áreas o zonas de roderas por la cuales circulan los vehículos. Entre las losas se coloca un empedrado asentado sobre plantillas de concreto. La sección del camino se complementa con la construcción de cunetas revestidas de concreto hidráulico y de obras de drenaje transversal.

Esta técnica favorece las condiciones funcionales y estructurales de estos caminos, dando al usuario mayor comodidad de circulación y disminuyendo los tiempos de recorrido y costos de operación, además de reducir los trabajos de conservación.

En términos generales, el proceso constructivo se enumera a continuación:

1. Preparación del camino mediante actividades de desmonte y despalme (de ser necesarias), definición y trazo definitivo con base en la sección tipo.
2. Formación de roderas de concreto hidráulico de 20 cm de espesor mediante losas con un ancho definido de 80 cm por 3 metros de largo, en toda la longitud del camino. El concreto hidráulico deberá tener una resistencia a la compresión ($f'c$) simple de 200 kg/cm².
3. Instalación de empedrado entre las roderas previamente construidas, a base de piedras (limpias y previamente humedecidas), cementadas y apoyadas sobre una plantilla de concreto, con una $f'c = 150$ Kg/cm².
4. Construcción de obras de drenaje longitudinales y transversales al camino según lo indique la instancia encargada de dirigir el proyecto.

Algunas consideraciones importantes en este proceso son las siguientes: 1) se deberá garantizar la calidad y resistencia del concreto hidráulico utilizado para la construcción de roderas y empedrados, para lo cual, los materiales pétreos deberán cumplir con los requisitos que establece la normatividad correspondiente, 2) se recomienda utilizar “piedra braza” para la formación de empedrados, aunque,

en caso de no abundar este material, se podrá emplear piedra bola o piedra pepena producto de cortes y excavaciones. En todos los casos, el material debe ser piedra resistente, que no se rompa con facilidad, y tener un tamaño aproximado de 15 cm.

Los siguientes párrafos muestran resumidamente cada una de las actividades a realizar en la construcción de caminos tipo huella placa en relación con el procedimiento efectuado en la construcción de caminos del programa PPCCM. Debido al uso intensivo de mano de obra, el residente de cada proyecto deberá tener en consideración el empleo de las mejores técnicas y supervisión de estas para garantizar la calidad y durabilidad de los trabajos.

CUADRO 11. CONCEPTOS Y RENDIMIENTOS POR CUADRILLA EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS HUELLA-PLACA

Id	Actividad	Unidad de medida	Conformación de cuadrilla	Rendimiento diario promedio por cuadrilla
1	Limpieza y deshierbe	Hectárea (ha)	1 cabo y 20 peones	0,4
2	Escarificación	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 7 peones	25,0
3	Acarreo (carga en camión)	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 5 peones	18,0
4	Afinamiento	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 7 peones	15,0
5	Tendido y compactado	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 7 peones	18,0
6	Excavación	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 7 peones	28,0
7	Acarreo (acamellonado)	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 5 peones	18,0
8	Colocación alcantarilla	Metro (m)	1 cabo y 3 peones	12,0
9	Extracción y carga de material	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 7 peones	21,0
10	Tendido y compactación	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 7 peones	20,0
11	Elaboración de concreto f'c = 150 kg/cm²	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 4 peones	3,0
12	Excavación y afinamiento	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 5 peones	12,5
13	Cimbra	Metro cuadrado (m²)	1 cabo y 5 peones	12,0
14	Colocación de malla electrosoldada	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 5 peones	25,0
15	Colocación de concreto	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 5 peones	4,0
16	Elaboración de mortero	Metro cúbico (m³)	1 albañil y 4 peones	4,0
17	Mampostería	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 2 peones	4,0
18	Recolección y carga de piedra	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 7 peones	21,0
19	Tendido y compactación	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 4 peones	12,0
20	Tendido y compactación (2)	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 7 peones	15,0
21	Elaboración de concreto f'c = 200 kg/cm²	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 3 peones	3,0
22	Colado y acabado	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 5 peones	4,0
23	Acomodo de piedra	Metro cúbico (m³)	1 cabo y 3 peones	12,0

Fuente: elaboración propia con información de la Guía Técnica, Administrativa Operativa para la Pavimentación de Caminos a Cabeceras Municipales, con Uso Intensivo de la Mano de Obra. Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (2020).

Limpieza de la superficie de rodamiento y zonas laterales

Se refiere al corte de la maleza, hierba, zacate y arbustos que crecen en las franjas laterales y en cunetas o contracunetas de caminos rurales.

Procedimiento o ejecución: el corte de vegetación deberá efectuarse a la altura mínima de 10 cm a partir del suelo. Esta actividad no comprende el corte de árboles ni de vegetación de uso agrónomo. Debido a que este tipo de caminos no tienen bien definido su “derecho de vía”, la distancia de las franjas laterales será variable. En zonas áridas, semiáridas o de pastizales se cortará únicamente la vegetación que impida la visibilidad o el tránsito seguro por el camino. En zonas con selva, bosques o manglares, se realizará el deshierbe en una franja de 2 a 4 metros de ancho a las orillas del camino.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 1.

Escarificación por medios manuales de la superficie compactada

Disgregación de material en la superficie original o de la parte superior del suelo que esté formada por material aceptable para la construcción, siempre y cuando las características físicas del suelo del camino lo requieran.

Procedimiento o ejecución: remoción de material existente sobre la superficie del camino al momento de iniciar los trabajos. Si el material es de buena calidad, se coloca y conforma sobre la superficie de la corona del camino, por el contrario, si el material es orgánico y de alta plasticidad, este se clasifica como tal y debe ser dispuesto en sitios donde la autoridad lo indique.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 2 y 3.

Afinamiento y perfilación de secciones de construcción del camino

Definición de la sección del camino y las características geométricas originales de la superficie de rodamiento.

Procedimiento o ejecución: Afinamiento de la sección del camino existente a nivel de terracerías. Esta actividad se ejecuta utilizando mano de obra no calificada y con herramientas manuales. El uso de maquinaria será definido por el residente de obra y en caso de que exista alguna circunstancia particular que lo requiera.

Se recomienda que, para la ejecución de esta actividad, se observen y apliquen los conceptos considerados en la norma N-CTR-CAR-1-01-006-00 “Afinamiento” de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SICT (NIT-SICT). Con el fin de obtener mejores resultados, los materiales deben ser compactables.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 4, 3 y 5.

Excavación para estructuras de drenaje

Se refiere a la remoción y extracción del material necesario para la instalación de las obras de drenaje, así como para el desplante de muros, dentellones, cabezales y aleros de losas, en caso de tratarse de cauces con anchos de 2 a 6 metros.

Procedimiento o ejecución: se excava dejando una holgura de 50 cm a cada lado de la alcantarilla, lo que permite la compactación del material de relleno. El fondo de la excavación donde se asiente la obra de drenaje debe estar libre de raíces, piedras salientes, oquedades u otras irregularidades. Las paredes de la excavación se hacen tan vertical como sea posible.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 3, 6 y 7.

Instalación de alcantarillas de lámina corrugada de acero

Son obras de drenaje que se construyen mediante tubo o arcos de lámina corrugada de acero, formadas por dos o más placas ensambladas y colocadas sobre la excavación para estructuras de drenaje. Se recomienda el uso de tubos de ensamble anidables de 120 cm de diámetro y calibre n.º 12.

Procedimiento o ejecución: los tubos se colocan en el sitio donde previamente se realizó la excavación, formando un ángulo de 90 grados con el eje del camino o, si se trata de un cauce con esviaje al camino, se coloca en el sentido del flujo del agua.

Cuando la distancia entre las obras de drenaje es superior a 300 metros, se debe considerar la construcción de obras de alivio para evitar la erosión de las cunetas al aumentar el gasto que transportan.

Los tramos de tubos se deben colocar de forma que los traslapes longitudinales queden en los costados y no en la parte inferior o superior. Los traslapes transversales se ubican de manera que el extremo del tubo al que corresponda la parte exterior del traslape quede aguas abajo.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 8.

Relleno y compactación con pisón

Tendido y compactación de excavaciones hechas para estructuras, obras de drenaje y subdrenaje, cunetas de terraplenes contiguos a estructuras.

Procedimiento o ejecución: el relleno colocado y compactado puede ser producto de las excavaciones previamente realizadas para albergar las obras de drenaje. El tendido del material se realiza en capas simétricas de 15 cm, el cual debe compactarse hasta alcanzar entre un 90 %

y un 95 % de la masa volumétrica seca máxima referida a la prueba AASHTO estándar⁵, lo cual evitará asentamientos posteriores. El material se debe compactar con equipo manual, como un pisón al grado indicado. Será el residente de obra quien asegure que el grado de compactación sea el adecuado.

Se deben evitar daños en las estructuras de obras de drenaje durante el relleno de las excavaciones.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 3, 9 y 10.

Construcción de cunetas con concreto hidráulico

Las cunetas son “zanjas” adyacentes a los hombros de la corona del camino en aquellas partes donde existen cortes de material. Las cunetas permiten interceptar la precipitación pluvial que escurre sobre la superficie del camino, de los taludes y cortes del terreno, conduciéndola a un sitio donde se pueda desfogar.

Procedimiento o ejecución: la conformación de las zanjas para la construcción de cunetas se efectúa mediante la excavación del terreno adyacente al camino, a una profundidad de entre 30 cm y 40 cm y con un ancho de 80 cm a 100 cm (de acuerdo con la sección tipo). Se recomienda el uso de hilos que sirvan de guía en los procesos de excavación. Una vez conformada y afinada la excavación de la cuneta, se coloca la cimbra necesaria y la malla electrosoldada, que sirven de refuerzo al concreto hidráulico, con resistencia a la compresión de $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$ considerando un espesor de 10 cm, el cual se elabora en obra con ayuda de una revolvedora.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 11, 12, 13, 14 y 15.

Muros de cabeza para alcantarilla a base de mampostería de piedra

Son contruidos de mampostería unida con mortero de cemento, en sus extremos quedan sujetos los tubos de la obra de drenaje, los cuales pueden estar provistos de aleros y delantales de mampostería (ver la figura 31).

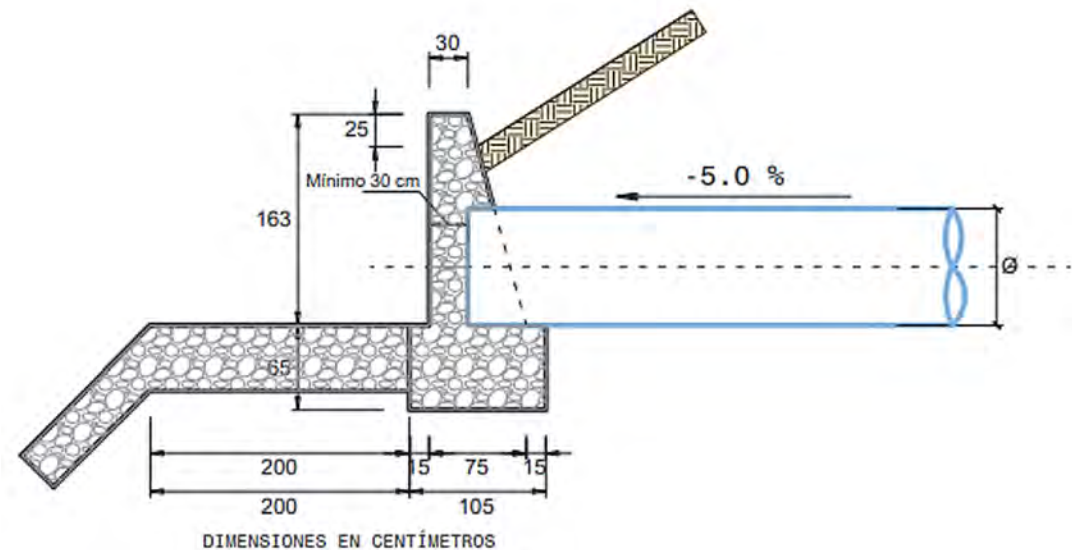
Procedimiento o ejecución: realizada la excavación para albergar la obra, se coloca una plantilla de apoyo para el desplante del muro de 15 cm de espesor, el cual tendrá una sección rectangular constante, con un ancho de 60 a 80 cm (dependiendo de la altura) y una longitud variable.

Las piedras que se utilicen en la mampostería deben ser de un peso no inferior a 30 kg. Además, hay que evitar el uso de piedra con cantos redondeados.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 3, 9, 16 y 17.

⁵ La prueba, denominada por el acrónimo en inglés de la Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte, permite determinar la relación óptima entre el contenido de agua de un material para terracería y su masa volumétrica seca.

FIGURA 12 SECCIÓN TIPO DE MURO DE CABEZA PARA ALCANTARILLA



Muros de contención de mampostería de tercera clase

Estas estructuras se construyen para contener los posibles derrumbes de los taludes en las secciones en corte del camino o para retener la masa de suelo cuando tiende a desplazarse, provocando la falla de la corona del camino. Los muros pueden ser construidos de mampostería de tercera, mampostería seca, concreto ciclópeo o concreto armado. Independientemente de cual sea la técnica, el suelo donde se plante el muro de contención debe disponer de cierta resistencia, de lo contrario se opta por construir muros flexibles (gaviones).

Procedimiento o ejecución: antes de su utilización, las piedras deben ser mojadas y, al colocarlas, cuidar de que el mortero llene cada uno de los espacios entre ellas. Las piedras deberán estar libres de lodo o cualquier otra materia que impida su correcta adherencia.

Cuando el muro de mampostería esté destinado a muro de contención, se deben colocar drenes de policloruro de vinilo (PVC).

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 3, 9, 16 y 17.

Formación de capa drenante en rellenos de cajas

Capa construida con materiales granulares o piedra acomodada que subyace a la estructura del pavimento y permite el desalojo del agua subterránea. Esta capa evita que la humedad suba por capilaridad a las capas superiores, provocando el reblandecimiento de estas y su deterioro.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 18, 3 y 19.

Construcción de subbase

Capa de materiales pétreos que se construye sobre la capa de subrasante, cuya función es proporcionar un apoyo uniforme a las roderas de concreto hidráulico, soportar las cargas transmitidas por los vehículos y distribuir los esfuerzos adecuadamente a la capa inferior.

Procedimiento o ejecución: para cada capa de subbase, el material compactable se extiende en todo el ancho de la sección del camino establecida previamente, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar al 95 % de su masa volumétrica seca máxima, conforme a la prueba AASHTO estándar. Se conforma de manera que se obtenga una capa de material compactado de espesor uniforme igual o mayor a 20 cm.

Una vez tendida y compactada la capa de la subbase y antes de su colocación, se deben realizar las pruebas de laboratorio pertinentes que aseguren que el material cumple con lo establecido por la NIT SICT o, en su caso, por la normativa aplicable de cada región.

Debido a la complejidad de esta actividad, el residente de obra debe decidir si ejecutar dicha actividad con mano de obra o hacer uso de equipo o maquinaria mayor, que asegure la calidad de los trabajos efectuados.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 9, 3 y 20.

Roderas de concreto hidráulico

Las roderas son las huellas de rodamiento correspondientes a la superficie destinada a la circulación de los vehículos en determinada sección del camino. Las huellas se conforman por dos losas longitudinales construidas con concreto hidráulico, con un ancho de 80 cm y un espesor de 20 cm, juntas de dilatación o cortes transversales a cada 300 cm, separadas en cada rodera a una distancia de 100 cm entre sí.

Tienen como función proporcionar una superficie uniforme, resistente, cómoda y segura para el tránsito de los vehículos, además de soportar y distribuir el peso de los vehículos hacia capas inferiores del pavimento.

Procedimiento o ejecución: según sea la sección del camino (de 4 m a 6 m de ancho), se traza la ubicación de los límites de cada rodera, con la finalidad de colocar el cimbrado de cada una de ellas, teniendo la precaución de que este se encuentre a nivel para el colado uniforme del espesor de 20 cm. El vaciado del concreto hidráulico se realiza distribuyéndolo de manera homogénea, procurando que sea vibrado manualmente durante su colocación. Una vez vibrado y nivelado el concreto, se le da un acabado “cepillado” o “estampado” a fin de proporcionar una superficie antideslizante para que el vehículo que transite tenga un agarre a la superficie y evite el deslizamiento.

Materiales: Los materiales pétreos utilizados en la elaboración del concreto deben cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la NIT-SICT. Los agregados van por separado, es decir, arena y grava, a fin de que la dosificación se cumpla, para que el concreto alcance su resistencia de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días del vaciado. El cemento que se utilice tiene que ser tipo portland.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 9, 3, 13, 21 y 22.

Consideraciones generales:

- Optar por cimbrado en tramos de tres metros (tableros), propiciando juntas de dilatación, para tramos en curva se deberá utilizar cimbra de madera.
- Las roderas de concreto hidráulico se rellenan utilizando revolvedoras de un saco, vaciando el concreto directo al encofrado, lo que permite optimizar la mano de obra y tener un mejor porcentaje de avance.
- Cuando la manipulación de la revolvedora en el sitio del encofrado es difícil, se usan carretillas.
- El acabado de las roderas de concreto hidráulico se realiza de manera transversal, su marcado es de al menos 3,2 mm de ancho, con separación de 25 mm, y pueden tener el diseño y procedimiento que convenga a la comunidad.
- El material a emplear para el curado de las roderas de concreto hidráulico debe ser plástico con un espesor de 1 a 2 mm. Cuando se realice el curado del concreto se debe evitar caminar sobre la superficie debido a que esto provocaría daños sobre la misma.
- Las juntas de dilatación se realizan a cada 3 m de manera transversal, la dimensión de la junta es 1/3 del espesor del pavimento. Se pueden realizar cuñas de madera de dimensiones singulares.



Ilustración 6. Colocación de cimbra de madera en tramo en curva para colado de roderas de concreto hidráulico

Fuente: <https://imparcialoaxaca.mx/oaxaca/436061/covid-19-frena-obras-en-caminos-rurales-de-oaxaca/>



Ilustración 7. Colado de roderas de concreto hidráulico

Fuente: <https://www.oaxaca.gob.mx/comunicacion/wp-content/uploads/sites/28/2021/11/AMH-02-2.jpg>

Empedrado a base de piedra

El empedrado es un recubrimiento utilizado para rellenar los espacios entre roderas. Para ello se utilizan piedras colocadas en forma manual, ahogadas en concreto hidráulico.

Procedimiento o ejecución: para la ejecución de este trabajo comúnmente se utiliza piedra de pepena, recolectada de zonas aledañas al camino. De no disponer de este material, se puede utilizar del banco más cercano piedra bola o piedra braza. Debe ser una piedra que no se rompa fácilmente y tener un solo tamaño, preferentemente de 10 a 15 cm.

Antes de iniciar la construcción, en los casos que se requiera, se excava una “caja” con la profundidad suficiente para que el nivel terminado del empedrado coincida con el nivel de las roderas previamente construidas. La relación del empedrado ciclópeo es de 60 % de concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ y 40 % de piedra. Esto se debe realizar colocando una capa de concreto hidráulico de 4 cm de espesor como base y, posteriormente, la piedra. Luego se realiza el relleno con concreto. Este proceso se repite hasta alcanzar el mismo nivel que las roderas adyacentes. Es importante que las piedras se coloquen buscando que la parte más plana de la misma forme la superficie de rodamiento.

Conceptos utilizados (ver el cuadro 11): id. 10, 18, 3, 11, 22 y 23.

Otras consideraciones:

- En el caso de que exista material aprovechable o de desecho producto de los cortes, se debe depositar en el banco de desperdicio más cercano designado por la autoridad. Este tiene que estar ubicado fuera del derecho de vía y contar con el permiso del propietario o, en su caso, debe llevarse al sitio donde se construyan terraplenes.
- Es posible que, antes de la construcción de las huellas de concreto hidráulico, se efectúe un barrido de la superficie y, posteriormente, se aplique un riego de liga con emulsión asfáltica ECR-65. La cantidad de riego será de aproximadamente 1,5 l/m² o la que señale el fabricante del producto. La dosificación definitiva se determina mediante las pruebas de laboratorio.
- Para la ejecución de la obra, se deben construir y mantener en estado transitable todo el tiempo requerido las desviaciones necesarias para derivar el tránsito fuera de la obra y facilitar su construcción o reparación. Lo mismo se debe hacer con los caminos de acceso para comunicar los frentes de trabajo, los lugares para la obtención de los materiales destinados a su construcción y para permitir el movimiento de los equipos, maquinaria y vehículos necesarios para su realización. La ejecución de estos trabajos puede o no estar considerada en el presupuesto de la obra.



Ilustración 8. Empedrado a base de piedra en construcción de caminos tipo huella-placa

Fuente: <https://pbs.twimg.com/media/D1ankNYXQAEiz5k?format=jpg&name=medium>

5.1.2 ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO CON USO DE ADITIVOS QUÍMICOS TRADICIONALES

5.1.2.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ÓXIDO DE CALCIO

El óxido de calcio, también llamado “cal viva”, es un producto de la calcinación de rocas calizas, que se constituye principalmente por óxido de calcio (CaO) y otros componentes. Adicionar cal a los materiales arcillosos empleados para la formación de terracerías, en mayor o menor grado, reduce el índice plástico y la humedad, aumenta la estabilidad volumétrica de los materiales cohesivos, incrementa la resistencia a la compresión simple y el valor soporte de California⁶ (CBR, por sus siglas en inglés). Por lo tanto, ayuda a mejorar la resistencia de la capa que se estabiliza.

En México, la técnica de estabilización de suelos con cal ha empezado a difundirse a partir de las experiencias documentadas para urbanización y plataformas en fraccionamientos e industria, además, está respaldada por las investigaciones realizadas por el IMT en 2008 y por la Dirección General de Servicios Técnicos del Centro SICT Jalisco en años subsecuentes. Actualmente, se cuenta con la norma N CTR-CAR-1-01-018-21, que establece los lineamientos para la construcción de terraplenes tratados con cal para carreteras. Dicha norma puede ser consultada en el sitio de NIT-SICT.

Algunas otras ventajas del uso de óxido de calcio para la estabilización de suelos son:

- Tiene un alto rendimiento.
- Permite utilizar suelos de desecho, como arcillas.
- Se aprovechan materiales de corte o que están directamente sobre el trazo del camino.
- Mitiga la explotación de bancos de materiales.
- Facilita la trabajabilidad y compactación de los materiales.
- No requiere de tiempos cortos para ser mezclado, tendido y compactado.
- El suelo estabilizado puede estar listo para tenderse y compactarse al día siguiente.
- Por el requerimiento de agua que tiene para hidratarse y la reacción exotérmica que genera, sirve para secar materiales saturados

Para la construcción de un camino estabilizado con óxido de calcio, hay que remitirse a las particularidades generales de cada proyecto. Los siguientes conceptos se refieren a las actividades generales para la construcción de este tipo de caminos.

⁶ El CGR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia.

Construcción de terracerías

- **Excavación para estructuras.** En esta actividad se deben excavar todas y cada una de las obras de drenaje que indique el proyecto, respetando los niveles marcados con la finalidad de que las estructuras queden bien desplantadas y permitan su óptimo funcionamiento. La ejecución total de esta actividad debe seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-01-007 Excavación para estructuras.
- **Rellenos.** Se llevan a cabo en las cunetas de los terraplenes y filtros en las caras posteriores de los estribos, con el grado de compactación que indique el proyecto, teniendo cuidado de no dañar la obra de drenaje. La ejecución total de esta actividad debe seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-01-011 Rellenos.
- **Terraplenes.** Su construcción se realiza donde lo indique el proyecto, respetando los niveles de la rasante y de acuerdo con los siguientes grados de compactación: terraplenes al 90 % de su peso volumétrico seco máximo (PVSM) y subrasantes al 100 % de su PVSM, ambos obtenidos de la prueba AASHTO modificada. Se utilizan materiales producto de los cortes compactables o materiales procedentes del banco. La ejecución total de esta actividad debe seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-01-009 Terraplenes.

Construcción de estructuras

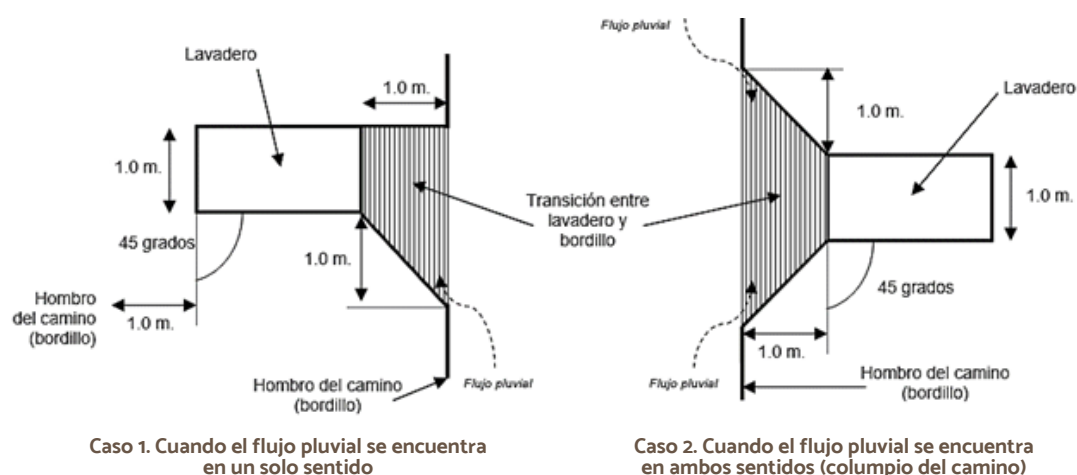
- **Mampostería de 3.ª clase.** Se lleva a cabo en donde lo indique el proyecto, en los espesores y dimensiones que este prevea. La ejecución total de esta actividad debe seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-02-001 Mampostería de piedra.

Construcción de drenaje y subdrenaje

- **Alcantarillas de lámina corrugada de acero.** Estos elementos deben colocarse en los sitios donde previamente se han realizado las excavaciones para tal fin o en los sitios donde el proyecto lo indique. Las alcantarillas de lámina pueden ser de acero galvanizado calibre 12 de 1,05 m, 1,20 m y 1,50 m de diámetro. El procedimiento y ejecución total de esta actividad deberá seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-03-001 Alcantarillas de lámina corrugada de acero.
- **Zampeado.** Para su construcción, se utiliza concreto ciclópeo de $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$, en los canales de entrada y salida de las obras de drenaje con un espesor de 30 cm, así mismo se construye en los accesos a los predios colindantes del camino con un espesor de 15 cm, con objeto de evitar el azolve de las cunetas. La ejecución total de esta actividad debe seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-02-002 Zampeado.

- **Cunetas.** Primeramente, se debe afinar la excavación de acuerdo con las secciones, niveles, alineación y acabados en la forma y lugar que indique el proyecto. La pendiente de la cuneta debe ser la misma que la del camino, su tamaño es de 0,15 m² de sección transversal por metro lineal, empleándose un concreto hidráulico de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ con un espesor de 10cm. La ejecución total de esta actividad debe seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-03-003 Cunetas.
- **Lavaderos.** Se llevan a cabo en donde lo indique el proyecto con concreto hidráulico de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, con un espesor de 10 cm y un ancho efectivo de 1 metro. Se construyen anclajes intermedios de los lavaderos, con separación de entre 3 m y 5 m, unidos por medio del colado monolítico con acero de refuerzo. La ejecución total de esta actividad debe seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-03-006 Lavaderos.
- **Transición entre bordillo y lavadero.** La unión del lavadero con el bordillo se hace mediante una transición de 45 grados con respecto al eje del lavadero y abanicos en la intersección de este con el acotamiento u hombro de la corona, los cuales deben tener pendiente de manera que permitan encauzar el agua rápidamente a la entrada del lavadero. Se construye con concreto hidráulico de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, con un espesor de 10 cm. La ejecución total de esta actividad deberá seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-03-006 Lavaderos. Las características y dimensiones de los lavaderos se muestran en la figura 15.

FIGURA 13. CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LOS LAVADEROS



Construcción de capa estabilizada

A continuación, se describe el procedimiento a realizar para la estabilización de suelos cohesivos. Antes de comenzar, se debe llevar a cabo el muestreo en campo del material que se busca estabilizar, para determinar la calidad completa del material en el laboratorio. Obtenidos los resultados de laboratorio, se coloca el óxido de calcio sobre la superficie a tratar en las proporciones y dosificaciones que indiquen dichos resultados y que comúnmente oscila entre el 2,5 % y el 3,0 % por m³ de material a tratar de su PVSM.

Colocado el óxido de calcio en campo, se inicia el recuperado o escarificado de la capa existente en el espesor que marque el proyecto, para continuar con la homogenización del material existente en el lugar.

Para el mezclado de materiales, se recomienda el uso de estabilizadoras o motoconformadoras, cuidando de que no queden grumos de arcilla con un diámetro superior a 1½ pulgadas ("). Es importante también evitar que el material se seque, por lo que se debe disponer de pipas de agua en cantidad suficiente para humedecer el material constantemente.

Una vez que la homogeneización se ha completado, se verifica la humedad para comprobar que está un 3 % por encima de la óptima e iniciar el tendido y compactado de la subrasante hasta el nivel que indique el proyecto. La compactación debe realizarse al 100 % de su PVSM, con un espesor constante de 30 cm y un ancho promedio de 5 metros. La ejecución total de esta actividad deberá seguir, en lo que corresponda, los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-04-004 Capas estabilizadas.



Ilustración 9. Material escarificado y encamado para dosificación de óxido de calcio.



Ilustración 10. Formación de capa estabilizada con óxido de calcio, en Municipio Tomatlán en el Estado de Jalisco, México.

Fuente: SICT. (2018). *Aplicación y seguimiento a Caminos Rurales estabilizados con Óxido de Calcio en el Estado de Jalisco*. Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.



Ilustración 11.
Homogeneización de arcilla
con óxido de calcio.



Ilustración 12. Aspecto físico de
capa estabilizada con óxido de
calcio, en Municipio Tomatlán
en el Estado de Jalisco, México.

Fuente: SICT. (2018). *Aplicación y seguimiento a Caminos Rurales estabilizados con Óxido de Calcio en el Estado de Jalisco*. Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

Después de estabilizado el suelo existente con óxido de calcio, es posible impregnar la capa de subrasante y colocar una capa de rodadura por el sistema de dos riegos de sello, además de instalar todos los señalamientos horizontales y verticales pertinentes.

La utilización del óxido de calcio en la estabilización del material existente contribuye al cuidado del medio ambiente, ya que se evita la extracción de materiales nuevos para la formación de terracería y pavimentos. Además es un material más económico que los empleados en los métodos tradicionales.

Determinación de la cantidad aproximada de cal

Para determinar la cantidad de cal (óxido de calcio) para la estabilización de suelos blandos, se utiliza como referencia la prueba de Eades & Grim, especificada en la norma **ASTM D6276 o AASHTO T 220-66**, en sus versiones más recientes. Este método proporciona una referencia precisa de la cantidad de cal que debe ser adicionada a un suelo para lograr su estabilización y mejorar con ello sus propiedades mecánicas. Sin embargo, es importante realizar las pruebas de laboratorio necesarias para verificar la capacidad de soporte final del suelo.

De manera resumida, el procedimiento a seguir para obtener el contenido de cal que hay que adicionar al suelo es el siguiente:

1. Tomar una muestra de suelo seco o húmedo de aproximadamente 2 kg y almacenarla en bolsa o envase de plástico herméticamente cerrado.
2. Tamizar la muestra con una malla n.º 40, procurando desbaratar todos los grumos manualmente para hacer pasar la mayor cantidad de material por la malla.
3. Pesarse una serie de 5 muestras de 20 gramos (g) cada una y colocarlo en frascos iguales con tapa.
4. Pesarse por separado una serie de muestras de cal con equivalentes de 3, 4, 5, 6 y 7 % del peso de la muestra de suelo.
5. Adicionar a cada frasco las muestras de cal.
6. Homogenizar muy bien las muestras en los frascos con el suelo y la cal.
7. Adicionar 100 ml. de agua a cada una de las muestras y agitarlas durante un minuto cada 15 o 20 minutos, durante una hora.
8. Posteriormente, medir el pH de cada una de las muestras y seleccionar aquella con un valor cercano a 12,4.
9. La relación de cal de la muestra seleccionada será aquella empleada para determinar:
 - Las curvas de compactación del suelo tratado (prueba Proctor modificada)
 - La prueba de resistencia a compresión de la mezcla suelo-cal (ASTM D 5102).
 - La determinación del módulo de resiliencia (AASHTO T294-94).
 - La prueba con tubo de succión (por sus siglas en inglés TST) para evaluar la susceptibilidad al agua.

5.1.2.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON USO DE CEMENTO

La estabilización con cemento consiste en el tratamiento del material existente en el camino con el conglomerante hidráulico (el cemento). De esta manera se aporta al suelo cierta resistencia mecánica, mayor rigidez y estabilidad frente al tráfico y un mejor comportamiento frente a los efectos del agua.

Previamente, se deben realizar estudios del suelo y del comportamiento del tráfico del camino con el objetivo de determinar la dosificación de suelo-cemento, actividad que se debe llevar a cabo en laboratorio.

El proceso se realiza in situ con ayuda de maquinaria convencional o especializada para esta labor. La estabilización del suelo se realiza con el mismo material que se encuentra en el trazo del camino, sin necesidad de adicionar materiales externos, excepto el cemento, en el orden del 2 % al 5 % en peso.

Tras realizar una mezcla homogénea del suelo con el cemento y el agua, se procede a su colocación y compactación, produciéndose el fraguado y endurecimiento del cemento.

Proceso de ejecución

ILUSTRACIÓN 13. PASOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS



I. Nivelación y perfilado del camino y sus cunetas.



II. Carga del cemento en la tolva que lo distribuye y dosifica sobre la traza del camino.



III. La máquina estabilizadora realiza la mezcla del suelo con el conglomerante.



IV. Rodillo compactador.



V. Estado de la pista estabilizada y compactada.

1. Según el estado del camino existente, puede ser necesario realizar tareas previas de preparación, perfilado y nivelación, así como adicionar agua al suelo para conseguir la humedad optima tanto para la hidratación del cemento como para la compactación del suelo.
2. Después, se realiza la distribución del cemento, mediante equipos dotados de tolva y distribuidor.
3. Una vez distribuido el conglomerante, se debe escarificar y homogenizar el suelo con el cemento. Esta actividad se puede realizar también con un equipo denominado “recicladora”, el cual, mediante un rodillo con picas, revuelve, levanta y mezcla el suelo con el cemento, dejando a su paso una mezcla lista para compactar.
4. Mezclado el suelo con el cemento con el grado de humedad optimo, se procede a compactar la mezcla con rodillos compactadores que en pasadas sucesivas consiguen la densidad optima, es decir, el grado de compactación deseado.
5. Tras la computación, se aplica un tratamiento superficial que puede ser un riego de sello y gravilla, con objeto de sellar la superficie, evitar el polvo y hacerlo más cómodo al rodar.
6. Se realiza la compactación final para asegurar la adherencia y consolidación del tratamiento superficial con el suelo.

Si por el camino transitan vehículos de carga, se recomienda realizar la estabilización de solo un carril del camino y dejar libre el otro para que los vehículos pesados transiten y den tiempo de que el cemento fragüe y se endurezca.

Criterios de aceptación o rechazo

Estos criterios son:

1. En cuanto a la calidad de los materiales estabilizados, que tanto estos, ya sean solos o después de mezclados, como es el caso de los productos modificantes, cumplan con las características establecidas en la normativa.
2. En cuanto a los niveles, que el alineamiento, perfil y sección de la capa estabilizada cumplan con lo establecido en el proyecto. Las tolerancias del nivel de la superficie en cada punto nivelado serán con respecto al proyecto. Si no existe una justificación técnica por parte del constructor y avalada por la dependencia responsable, se recomiendan tolerancias de 1,5 cm de acuerdo con la norma N-CSV-CAR-4-02-005/14. Las nivelaciones se ejecutan con nivel fijo y comprobación de cierre, obteniendo los niveles con aproximación al milímetro. Las distancias horizontales se miden con aproximación al centímetro.

3. En cuanto a la determinación del grado de compactación, este se verifica de acuerdo con la norma M.MMP.1.16.20 de la normativa para la infraestructura del transporte de la SICT, mediante un equipo no destructivo denominado deflectómetro de impacto ligero (LWD, por sus siglas en inglés). La frecuencia de prueba se considera a cada 50 m o menos para un tramo de estudio de 500 m de longitud o menos, de acuerdo con la distribución de los puntos de prueba que se establecen en la norma M.MMP.1.16.20 de la normativa para la infraestructura del transporte de la SICT.
4. Respecto a la resistencia de la capa estabilizada, para comprobar el cumplimiento de lo especificado en el proyecto, se toma un muestreo de especímenes cilíndricos de la mezcla para la construcción de dicha capa por cada 300 m³ de producción. El muestreo consta de la elaboración de 3 especímenes, los cuales se ensayan a compresión simple de acuerdo con la norma M.MMP.2.02.058, un espécimen se ensayará a la edad de 7 días, otro a los 14 días y el tercero, a los 28 días.

5.1.3 REVESTIMIENTO DE SUPERFICIE CON RIEGOS DE SELLO

El riego de sellos consiste en la construcción de una capa de rodadura delgada (carpeta de uno o dos riegos), buscando formar una membrana impermeabilizante que proteja la superficie y, en menor magnitud, que absorba esfuerzos cuando a este se le adicionan fibras sintéticas.

Usualmente, este tratamiento se aplica a carpetas asfálticas a manera de conservación, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapaje y la seguridad de la superficie de rodadura. Por su reducido espesor, este tratamiento no tiene función estructural.

En México, diversos centros SICT de la nación han utilizado este sistema de riegos de sello para revestir caminos rurales. El sistema se ha aplicado, sobre todo, a caminos a nivel de subrasante o por encima de capas subbase y base estabilizadas previamente con cal o cemento, dando buenos resultados en periodos de corto y mediano plazo.

Las especificaciones técnicas del uso de esta técnica se detallan a continuación:

Riego de impregnación

Sobre la nueva base hidráulica debidamente terminada, superficialmente seca y barrida, se aplica un riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica ECI-60 o el producto que garantice una penetración mínima de 4 mm. La cantidad de riego será de aproximadamente 1,5 l/m² o la que señala el fabricante del producto. La dosificación definitiva se determina mediante las pruebas de laboratorio que en su momento efectúe el ejecutor. En general, la ejecución deberá cumplir con los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-04-004.

Aplicación de riego de arena

Sobre la base impregnada, se aplica un riego de arena para cubrirla, con la proporción que indique el proyecto, tomando como referencia 4 l/m². La ejecución deberá cumplir con los lineamientos indicados en la norma N-CTR-CAR-1-04-004.

Carpeta por el sistema de riegos

Inmediatamente después de efectuado el riego de impregnación, se coloca la carpeta por el sistema de riegos en proporción aproximada de 8 a 12 l/m² para el primer riego con material pétreo tipo 2 en seco, sin premezclar. El segundo riego se hace con material pétreo tipo (3B), premezclado, en una proporción de 6 a 8 l/m². El premezclado del material pétreo tipo (3B) se debe realizar procurando que el contenido asfáltico no sea mayor al 1 % del peso, de tal manera que el material pétreo esté totalmente cubierto por una película de asfalto y, a su vez, no forme “grumos” durante los movimientos de almacenaje y acarreo. El contratista deberá hacer los mosaicos de prueba en cada capa para ajustar la dosificación de los riegos de liga. Su ejecución debe apegarse a lo que corresponda en la norma N-CTR-CAR-1-04-008.

5.2 TÉCNICAS INNOVADORAS

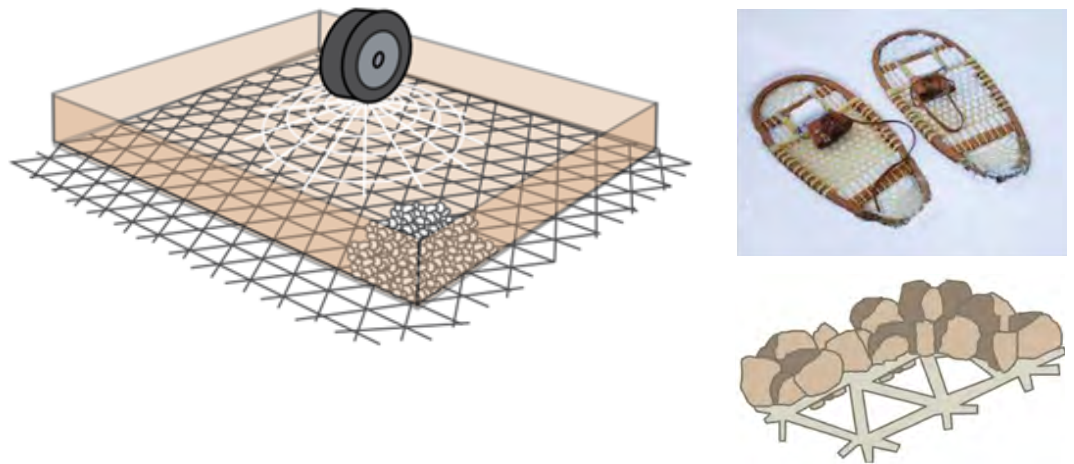
Dentro de las estabilizaciones de suelos con procedimientos mecánicos, lo más utilizado desde antiguamente es el pedraplén (formación de terraplén con roca de dimensiones mayores a 8”). Sin embargo, cuando los acarreos desde los bancos de materiales representan un gasto oneroso o se quiere cuidar el entorno ecológico, es necesario recurrir a otras opciones. Por esta razón y por la necesidad de optimizar recursos, en México se han estado utilizando nuevas técnicas en la construcción de vías terrestres y, con respecto a las estabilizaciones, se han utilizado materiales geosintéticos, en su mayoría geomallas.

5.2.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS HACIENDO USO DE MATERIALES GEOSINTÉTICOS

Las principales características de la estabilización con geomallas son las siguientes:

- 1. Menor esfuerzo en las capas de subrasante:** La geomalla crea un material compuesto mejorado y mecánicamente estabilizado para construir sobre suelos blandos. La geometría triangular disipa de forma radial el esfuerzo que imponen las cargas aplicadas.

FIGURA 14. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN UNA CAPA DE SUELO GRANULAR CON GEOMALLA

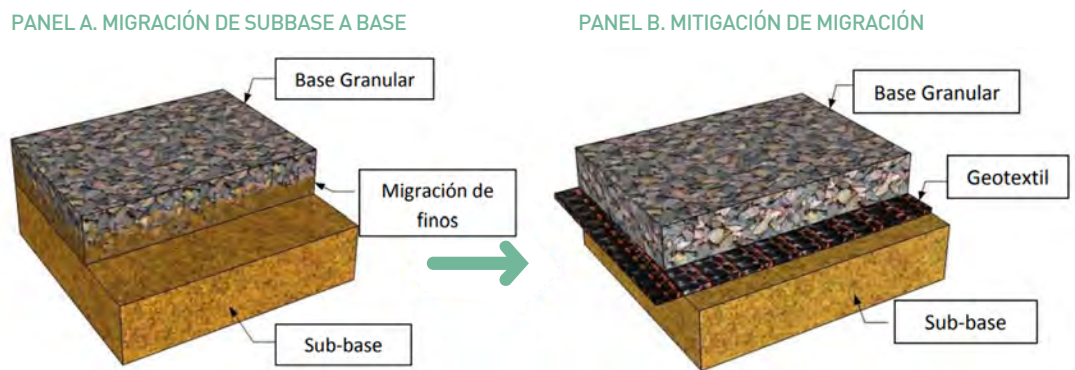


2. Efecto de zapato de nieve: La profundidad de las costillas y las características de rigidez radial de la geomalla triangular hacen que esta sea muy efectiva a la hora de confinar el relleno granular. Este mecanismo brinda un efecto de “zapato de nieve”, mejorado en subrasantes blandas mediante una mayor trabazón de las partículas del agregado durante el esfuerzo de compactación.

Los mecanismos de trabajo que genera un geosintético integral sobre el suelo blando son el de membrana que funciona a tensión, dado que absorbe en parte los esfuerzos transversales, y el material granular, que contribuye a los esfuerzos de compresión, reforzando así la componente vertical. Esto ayuda a mejorar el comportamiento estructural del sistema de suelo reforzado y, a su vez, permite brindar funciones extra de separación, filtración y confinamiento lateral.

En materia de pavimentos, los geosintéticos pueden ser colocados en diferentes etapas de la conformación de la estructura del pavimento. Una aplicación habitual es poner los geotextiles por encima de la capa de subrasante, lo que evita que exista una mezcla de materiales entre dicha capa y la base de la vía, manteniendo la integridad de la construcción intacta. Esta solución suele ser útil cuando la capa de subrasante presenta una gran cantidad de finos (suelos que contienen grandes cantidades de limo o arcilla).

FIGURA 15. MIGRACIÓN DE FINOS DE CAPA SUBBASE A CAPA BASE Y MITIGACIÓN DE MIGRACIÓN DE FINOS EN CAPAS DE PAVIMENTO HACIENDO USO DE GEOTEXTILES



Actualmente, existen gran variedad de empresas dedicadas a la fabricación y distribución de materiales geosintéticos. Cada una de estas compañías ofrece la asesoría técnica necesaria a las autoridades o contratistas que deseen usar alguno de sus productos. También existe software especializado que ayuda al diseño de pavimentos con adición de materiales geosintéticos. Es importante recalcar que estos programas de cómputo suelen tener un costo y que su uso requiere de capacitación, razón por la cual se recomienda acudir a uno de los proveedores de geosintéticos y exponerle la problemática de cada proyecto en cuestión, para que le brinde la mejor alternativa que garantice una solución al problema original.

El uso de geosintéticos no es algo nuevo en países como Estados Unidos de América o en Europa. Las pruebas e investigaciones han dado lugar a diferentes metodologías para su aplicación y uso en cuanto a pavimentos se refiere. Para el diseño de estabilización en subrasante para caminos no pavimentados, el método de diseño Giroud-Han (G-H) desarrolla una ecuación que es usada para el cálculo del espesor de agregado requerido. La publicación del método en 2004, en el *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* (revista de ingeniería geotécnica y geoambiental), de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE, por sus siglas en inglés), culminó después de varios años de investigación (desde el estudio Giroud Noiray de 1981). La ecuación de diseño G-H ha sido referida en la “Guía de Construcción y Diseño de Geosintéticos”, manual elaborado por la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos de América.

Este método es uno de los más aceptados y reconocidos de contribución estructural haciendo uso de un geotextil y una geomalla en bases con agregados. La ecuación empleada por el método es la siguiente:

$$h = \frac{\left\{ 0.868 + CF \left(\frac{r}{h} \right)^{1.5} \right\} \log_{10} N}{\left\{ 1 + 0.204 [R_E - 1] \right\}} \times \left[\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\left(\frac{s}{f_s} \right) \left\{ 1 - 0.9 \exp \left[- \left(\frac{r}{h} \right)^2 \right] \right\} N_c C_u}} - 1 \right] r \quad (17)$$

Donde:

H = Espesor compactado de agregado requerido (m).

CF = Factor de calibración para el geosintético usado en el diseño ({0,661 – 1,006}2 , para geomallas biaxiales).

N = El número de ejes que transitan.

RE = Módulo de ratio límite de agregado compactado de suelo en subrasante (máximo = 5,0).

P = Carga de la rueda (KN).

r = Radio de la rueda equivalente en el área de contacto (m).

s = Profundidad de rodera permisible (mm, para profundidades de rodera entre 50 mm y 100 mm).

fs = Profundidad de rodera de referencia (75 mm).

Nc = Factor de capacidad de carga (3,14 para no reforzados, 5,14 para refuerzo con geotextil, 5,71 para refuerzo con geomalla).

Cu = Fuerza cortante de subrasante no drenada (tomada como 30 KPa x CBR del suelo de subrasante entre CBR de 1 % a 5 %).

P/ π 2 = Presión de contacto del neumático (KPa) y es equivalente a la presión del neumático (p).

Es importante hacer notar que el método de diseño ha sido calibrado por Giroud-Han para superficie de roderas entre 50 mm (2”) y 100 mm (4”) y para subrasantes con resistencias entre los 30 kPa (CBR = 1 %) y los 150 kPa (CBR = 5 %), para una capa de agregado compactado con resistencia de 600 kPa (CBR = 20 %).

También hay que mencionar los mecanismos de trabajo del geosintético sobre los suelos blandos. Las fallas que usualmente ocurren están relacionadas con la carga aplicada y la capacidad de carga del suelo de cimentación. Por este motivo, se debe conocer el tipo de vehículo, la carga por eje, la presión de contacto y el valor relativo de soporte del suelo. Con base en esto, hay que hacer un análisis preliminar por cualquiera de los métodos conocidos para la estabilización de suelos blandos con geosintéticos integrales.

Además de la metodología expuesta por Giroud-Han para el diseño de estructuras de pavimentos con geosintéticos, se hace también referencia al estándar AASHTO R 50-90. Esta es una guía que proporciona orientación a los diseñadores de pavimentos interesados en incorporar geosintéticos con el fin de reforzar la capa base de las estructuras de pavimentos flexibles.

En términos generales, el procedimiento de diseño para incorporar geosintéticos con esa finalidad, indicado por el estándar AASHTO R 50-90, es el siguiente:

1. Realizar una evaluación inicial de la aplicabilidad de un geosintético a partir de la evaluación de la resistencia de la capa subrasante y su comportamiento en condiciones similares.
2. Diseñar los espesores de la estructura de pavimento sin refuerzo, basándose en los parámetros de diseño de materiales sin refuerzo.
3. Determinar los beneficios de utilizar geosintéticos y definir el objetivo o los beneficios por alcanzar.
4. Los beneficios deben identificar un TBR, un BCR o ambos.
 - El TBR se define como la relación del número de repeticiones de carga de una estructura de pavimento reforzado para alcanzar un estado de falla y el número de repeticiones de carga de la misma sección de pavimentos sin reforzar hasta alcanzar el mismo estado de falla.
 - El BCR se define como el porcentaje de espesor de la base o subbase de un pavimento reforzado, en comparación con el espesor de la base o subbase de un pavimento sin refuerzo, para lo que consideran estructuras con los mismos materiales e igual ciclo de vida.
5. Desarrollar un diseño preliminar de pavimentos con geosintéticos (reforzado) que refleje los beneficios por alcanzar. Apoyarse en los procedimientos enlistados en:
 - National Highway Institute (NHI) Participant Notebook –“Geosynthetic Design and Construction Guidelines”, April 1999⁷.
 - Geosynthetic Materials Association (GMA) White Paper II –“Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures,” June 2000.

La precisión de los métodos usados aún se encuentra en desarrollo, por lo que la construcción y desempeño de la estructura de pavimento deben ser monitoreados, tal y como lo indican ambas metodologías. Casos de estudio o aplicación similares pueden ser utilizados como referencia para estimar los beneficios del empleo de materiales geosintéticos como refuerzos de pavimentos.

⁷ Disponible en <https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/21000/21600/21668/PB99130841.pdf>.

De manera general, el empleo y diseño de estructuras reforzadas con geosintéticos debe comprender, en ese orden, los siguientes puntos.

1. Realizar un análisis del ciclo de vida con relación al costo, para el cual se deben conocer los costes de construcción de ambas estructuras de pavimento, con y sin refuerzo de geosintéticos, además de determinar otros beneficios resultantes de utilizar esos nuevos materiales.
2. Preparar la especificación de materiales, con base en los resultados previamente obtenidos. El ingeniero o diseñador deberá autorizar una serie de productos y materiales aprobados para el diseño del pavimento. El contratista tendrá la opción, según los resultados de diseño, de seleccionar los materiales de mayor rentabilidad, disponibilidad y economía.
3. Preparar la especificación técnica, prestando atención al proceso de instalación, la ubicación del geosintético en la estructura del pavimento y los procedimientos de calidad, descritos en estos planos y documentos.
4. Monitorear el proceso constructivo para asegurar la correcta instalación de los geosintéticos vertical y horizontalmente dentro de la estructura de pavimento, permitiendo con ello mitigar daños al geosintético y asegurar su correcto funcionamiento.
5. Monitorear el comportamiento del pavimento en el tiempo con objeto de evaluar el desempeño del geosintético y poder relacionar los beneficios para los cuales la estructura fue diseñada.
6. Utilizar esta especificación para fomentar un programa anual de evaluación del comportamiento y desempeño del geosintético.
7. Basado en el desarrollo y realización de cada uno de los puntos antes mencionados, diseñar procedimientos o especificaciones de materiales que reflejen los resultados de cada estudio.

Para obtener información más detallada del procedimiento del diseño de pavimento reforzado con geosintéticos, consultar la guía de diseño expuesta en el documento “Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures” (GMA, 2000), así como el estándar AASHTO M-288 “Geotextile Specification for Highway Applications”.

Proceso de construcción o instalación de un geosintético en suelos blandos

Para la instalación de un material geosintético en suelos blandos, se deben dar los pasos siguientes:

1. Colocar el geosintético sobre la zona lacustre o blanda saturada. Es importante el traslape mínimo de 90 cm o hacer una costura en mariposa con hilo de poliéster de alto peso molecular.

FIGURA 16. COLOCACIÓN Y TRASLAPE DE GEOSINTETICO



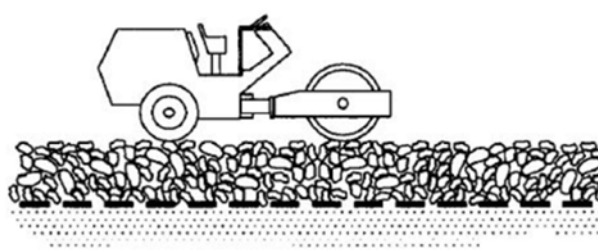
ILUSTRACIÓN 14. COLOCACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE CAPA GRANULAR SOBRE GEOSINTÉTICO



2. Colocar una capa de material granular no menor a la de diseño (mínimo 250 mm). El material granular debe tener una calidad preferiblemente triturado y bien graduado con tamaño de 1½" a 6" y menos del 10 % de finos (tamiz n.º 200). El material granular se debe colocar al inicio del borde del geosintético de refuerzo, para después desplazarlo con retroexcavadora (tractor), respetando el espesor mínimo sobre el geosintético. Se recomienda hacer la distribución del agregado comenzando por los bordes laterales del geosintético para producir un anclaje lateral y después continuar con el llenado por el centro del vial o plataforma.

3. Colocada la capa granular, se recomienda “bandearla” con rodillo compactador vibratorio. Esto ayuda a disipar la presión del poro, incrementar la densidad y disminuir la relación de vacíos, lo que contribuye a uniformizar la plataforma de trabajo y brindar mejor soporte para la construcción de las capas consecuentes.

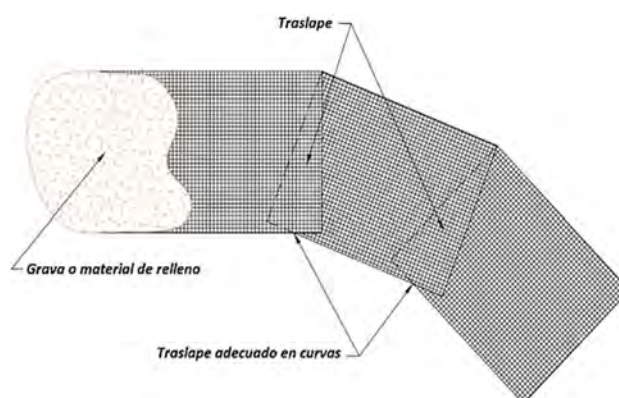
FIGURA 17. BANDEO DE MATERIAL GRANULAR CON RODILLO COMPACTADOR



4. En seguida se recomienda colocar las siguientes capas granulares, según las calidades establecidas en el proyecto, con sus respectivos espesores de la estructura de pavimento o plataforma y compactarlas como mínimo al 98 % de la prueba Proctor.
5. En curvas, el geosintético debe ser cortado con sus correspondientes traslapes o costuras para desarrollar la geometría de la curva propuesta. El mínimo traslape permitido debe estar en función de la tabla AASHTO M288-06.

FIGURA 18. TRASLAPE MÍNIMO DE GEOSINTÉTICO EN CURVAS EN FUNCIÓN DE LA TABLA AASHTO M288-06

CBR del suelo	Traslape Mínimo
> 3	30 a 45 cm
1-3	60 a 90 cm
0.5 - 1	1 m ó cosido
<0.5	Cosido

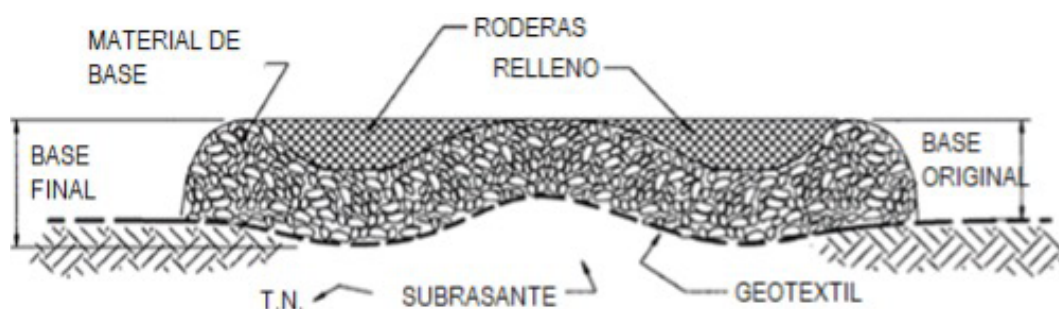


Fuente: AASHTO. (2011). *M288-06: Standard Specification for Geotextile Specification for Highway Applications*. EE. UU: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Consideraciones generales

En ocasiones cuando el camino o plataforma se encuentra en operación durante la fase de construcción pueden existir roderas o ahuellamientos mayores que los del diseño. Esto se debe en ocasiones a que el suelo es en ciertas zonas más débil que el cálculo establecido. El mecanismo de trabajo del geosintético de refuerzo brinda un aporte por el mecanismo de membrana de tensión, el cual ayuda a evitar el incremento de esa rodera o la posible falla por capacidad de carga, tensionándose a un nivel donde puede mantener en equilibrio la estructura. Una carga mayor a la considerada en el diseño o un espesor granular menor sobre el geosintético puede provocar el rompimiento de este material. Por ello es esencial la información brindada por el cliente en materia de valor soporte del suelo y las cargas por eje. En aquellas zonas donde se presenten roderas o ahuellamientos mayores, se recomienda cubrirlas con nuevo material selecto y hacer el procedimiento de compactación usual.

FIGURA 19. RODERAS TRATADAS CON NUEVO MATERIAL BASE



El geosintético de refuerzo no reemplaza las obras de drenaje, por lo que se recomienda contar con una ingeniería hidráulica que especifique claramente la infraestructura necesaria para la conducción de agua, esto con el fin de evitar problemas de inundaciones que generen daños en el vial.

Fallas posibles y soluciones

En ocasiones las condiciones del sitio son peores a las consideradas o los proyectos tienen diversos desafíos con condiciones adversas a las cuales hay que adaptarse. A continuación, se mencionan las posibles razones de las fallas que se puedan presentar en la obra:

- Una vez colocado el material granular, los camiones se atascan al llevar acarreo consecuentes. Bajo esta condición las posibles razones son las siguientes:
 - Los camiones tienen una carga y presión de contacto mayor a la de diseño.
Solución: Incrementar la sección de suelo granular con base en el diseño.
 - El suelo presenta peores condiciones en cuanto a su valor relativo de soporte.
Solución: Se requiere el rediseño para determinar un mayor espesor o utilizar un geosintético con mayor módulo a la tensión.

En caso de rotura del geosintético por el exceso de carga se debe hacer una limpieza del área afectada y colocar un parche con los traslapes mínimos basados en la tabla AASHTO M288-06 (ver punto 6 del “Proceso de construcción o instalación de un geosintético en suelos blandos”).

- La falla se presenta muy cerca de los bordes laterales del camino.

Solución: Incrementar la extensión del geosintético a fin de brindar el mecanismo de anclaje.

- La zona está inundada por lluvias y reblandece el suelo.

Solución: Drenajes provisionales son esenciales para mitigar el trabajo en condiciones saturadas.

- Se presentan roderas o ahuellamientos, pero no hay deformación en el geosintético.

Solución: Es muy probable que el material que se usa por encima del geosintético no cumpla con las calidades adecuadas (plástico) y presente una deformación plástica. Es decir, no soporta esfuerzos de compresión adecuadamente.

5.3 TÉCNICAS EXPERIMENTALES

5.3.1 EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO O SISTEMA DE NUEVA TECNOLOGÍA

Los productos o sistemas sujetos a evaluación siguen el siguiente proceso:

1. Se da de alta el producto o sistema en el portal de nuevas tecnologías, donde se requiere información de la empresa interesada, domicilio, nombre del producto o sistema y una breve descripción del mismo, entre otros datos.
2. Se emite un oficio de registro, donde además se indica la información técnica complementaria con la que debe cumplir para la evaluación teórica y la forma de entregarla.
3. Se analiza la información recibida del punto anterior, de ser necesario, se complementa la documentación con información adicional, solicitándola vía correo electrónico, el cual debe ser respondido con brevedad. Una vez completada la información, se da por concluida la etapa teórica.
4. Se realizan las pruebas de laboratorio que la unidad administrativa considere oportunas, de ser posible en las instalaciones de la SICT o el IMT. Las pruebas también se pueden realizar en el laboratorio que la empresa seleccione, siempre y cuando este se encuentre acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

5. Concluida la etapa de pruebas de laboratorio, si la DGST lo considera conveniente, se analiza un tramo de prueba, donde se utiliza el producto o sistema con la finalidad de evaluar a escala real su comportamiento a corto, mediano y largo plazo, llevándose un seguimiento en el tiempo. El tramo debe ser propuesto por el promovente y queda bajo su responsabilidad.
6. Concluidos todos los puntos anteriores, se emite una opinión técnica, donde se dictamina si el producto o sistema es o no es una opción viable para ser empleados en obras a cargo de la SICT.

Es importante aclarar que el costo de los ensayos realizados, así como del tramo de prueba que pueda requerirse construir en su momento, deben ser cubiertos en su totalidad por el promovente, en los términos de lo establecido por la ley federal de derechos vigente.

5.3.2 NORMATIVA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE CAPAS DE PAVIMENTO

Para aquellos trabajos relativos a capas estabilizadas para subrasantes, revestimientos, subbases y bases, es necesario consultar la norma N-CSV-CAR-4-02-005/14 cuando se trate de trabajos de reconstrucción o la norma N-CTR-CAR-1-04-003/14 para trabajos de construcción de la NIT-SICT.

Se entiende por trabajos de construcción o reconstrucción de capas estabilizadas el tratamiento químico o mecánico de los materiales empleados en la formación de alguna de las capas de pavimento antes mencionadas, el tendido de estos y su compactación. Para el caso de la estabilización química se deben incorporar productos que modifiquen alguna de las características del material, mejorando su comportamiento mecánico o hidráulico. Algunos de estos productos pueden ser materiales asfálticos, cemento portland, cal hidratada, polímeros, enzimas orgánicas, materiales puzolánicos y minerales naturales sintéticos, combinados con cualquiera de los productos anteriores.

La construcción o reconstrucción de algunas de las capas de pavimento haciendo uso de materiales estabilizados puede parecer similar a la técnica empleada cuando en su lugar se emplean materiales convencionales o sin estabilizar. Sin embargo, conviene conocer de manera resumida algunos de los puntos que contienen las normas antes mencionadas.

Cabe indicar que ambas normas son bastante similares, por lo que los siguientes puntos pueden aplicarse para ambas.

Equipo empleado

El equipo utilizado para la construcción de capas estabilizadas debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto y en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de la obra. Dentro de estos equipos se encuentran los siguientes:

- **Planta de mezclado**, bien del tipo pugmill o amasado, de tambor rotatorio, o bien de mezclado continuo, capaz de producir una mezcla homogénea. Debe estar equipada con tolvas para almacenar el material por estabilizar y silos o tanques que permitan almacenar el producto estabilizador y el agua cuando se requiera.
- **Estabilizadora** autopropulsada, capaz de mezclar uniformemente los materiales con el producto estabilizador y el agua cuando se requiera.
- **Motoconformadoras**. Se utilizan solo en casos en que no sea posible emplear equipos de mezclado.
- **Extendedoras** autopropulsadas, capaces de esparcir y precompactar la capa que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto.
- **Compactadores** autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera a los rodillos.

Proceso de ejecución

El material, el producto estabilizador y, en su caso, el agua se mezclarán en las proporciones indicadas en el proyecto o aprobadas por la SICT, para producir un material homogéneo, mediante uno de los siguientes procedimientos.

- **Mezclado en planta**, bien con el uso de plantas de tipo pugmill o de tambor rotatorio, o bien en mezcladoras de tipo continuo, donde la dosificación de materiales se hará por masa o por volumen, respectivamente. El material estabilizado se transporta al sitio de construcción sin que este se altere.
- **Mezclado en campo**. El material se mezcla en la estabilizadora, incorporando y distribuyendo el producto estabilizador hasta obtener una mezcla homogénea, posteriormente, el material estabilizado se tiende en el sitio de colocación y compactación.

Para el caso de formación de subrasantes, se comienza escarificando esta capa hasta la profundidad del proyecto. El material obtenido se disgrega y mezcla con el producto estabilizador y, en su caso, con agua.

- Mezclado con motoconformadora. Salvo que el proyecto lo indique o lo apruebe la SICT, no se permite el uso de este equipo para el mezclado de materiales con productos estabilizadores.

El tendido y conformación de materiales estabilizados debe extenderse en capas sucesivas en todo el ancho de la corona, haciendo uso de una extendedora, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar al grado indicado en el proyecto o aprobado por la SICT y en los niveles establecidos en el proyecto.

La compactación se hace longitudinalmente, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

Si el producto estabilizador utilizado requiere de curado o alguna otra actividad adicional posterior a la compactación, se lleva a cabo según lo indique el proyecto o la SICT. Se recomienda evitar la circulación del tránsito para esta actividad o cuando se usen emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados.

Criterios de aceptación o rechazo

Bajo los criterios establecidos en ambas normas, con base en el control de calidad que ejecute el contratista de la obra, se comprueba también:

- La calidad de los materiales estabilizados. Los materiales que se utilicen en la construcción de capas estabilizadas son los que indique el proyecto o la SICT y deben cumplir con lo establecido en las normas siguientes:
 - N-CMT-2-02-001 Calidad del cemento portland
 - N-CMT-4-02-001 Materiales para subbases
 - N-CMT-4-02-003 Materiales para bases tratadas
 - N-CMT-4-03-001 Cal para estabilizaciones
 - N-CMT-4-05-001 Calidad de materiales asfálticos
 - Normas aplicables del libro CMT Características de los materiales

Se verifica también que los materiales estabilizados son mezclados conforme a las proporciones indicadas en el proyecto. Esta verificación se hace mediante alguno de los siguientes criterios:

- Compactación o resistencia a la compresión simple del material estabilizado. Esta se determina por medio de calas o con la extracción de corazones, ubicados al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme lo indica el “Manual M-CAL-1-02 Criterios estadísticos de muestreo”.

Se verifica que el alineamiento, perfil y sección de la capa estabilizada cumplan con lo establecido en el proyecto y con las tolerancias que indican cada una de las normas en cuestión.

Medición

Cuando la construcción de capas estabilizadas se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutado conforme a lo indicado en la norma, el avance o la cantidad de trabajo realizado se determina de la siguiente forma:

- Los productos estabilizadores que se utilicen se miden tomando como unidad el kilogramo o el litro, según sea el caso, con aproximación a la unidad y en referencia a las cantidades indicadas en el proyecto.
- Las capas estabilizadas se miden tomando como unidad el metro cúbico de capa estabilizada compactada, según su tipo, y para cada grado de compactación y material empleado en la capa. El volumen se calculará con base en los levantamientos topográficos.

Base de pago

Cuando la construcción de capas estabilizadas se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutado conforme a lo indicado en la norma, el avance o la cantidad de trabajo se paga de la siguiente manera:

- Los productos estabilizadores que se utilicen se miden tomando como unidad el kilogramo o el litro, según sea el caso, con aproximación a la unidad y en referencia a las cantidades indicadas en el proyecto. El pago incluye:
 - El valor de adquisición o elaboración del producto estabilizador.
 - El cargo por almacenamiento.
 - Las operaciones de calentamiento o bombeo requeridas.
 - Los tiempos de los vehículos empleados en transporte de carga y descarga.
- Las capas estabilizadas se miden tomando como unidad el metro cúbico de capa estabilizada compactada, según su tipo y para cada grado de compactación y material empleado en la capa. El volumen se calcula con base en los levantamientos topográficos. El pago incluye, entre otros:
 - El desmonte y despalme de los bancos.
 - La instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.
 - Los permisos de explotación de los bancos de agua.
 - Las operaciones de mezclado, tendido y compactado.
 - El afinamiento del acabado superficial
 - La limpieza de zonas afectadas durante y después de la construcción.
 - Los tiempos de los vehículos empleados en transporte de carga y descarga.

5.3.3 ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO CON ADITIVOS QUÍMICOS NO TRADICIONALES

5.3.3.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON POLÍMEROS

La utilización de aditivos para estabilizar el suelo, al igual que el cemento y la cal, promueven un cambio en las propiedades de este y permiten que sea compactado de mejor manera. Estos aditivos pueden ser agentes repelentes de agua o agentes de unión. En los últimos años han aparecido en el mercado varios aditivos no tradicionales, los cuales pueden agruparse de la siguiente manera:

- Cloruros: sales, de calcio, de magnesio, de sodio.
- Aditivos de arcilla: Aditivos de arcilla, arcilla, filler, bentonita, montmorilonita.
- Emulsiones electrolíticas: Emulsiones enzimáticas, enzimas.
- Lignosulfonatos: Lignosulfonatos, lignina, sulfato de lignina, sulfitos de lignina.
- Emulsiones sintéticas de polímero: acetato de polivinilo, acrílico de polivinilo.
- Emulsiones de resinas de árboles: emulsiones de aceites, emulsiones de alquitrán de pino.

Debido a la falta de información de los aditivos no tradicionales, uno de los retos que los ingenieros enfrentan en campo es decidir rápidamente qué aditivo aplicar y en qué cantidad. Desde el año 2016, el IMT ha evaluado el uso de polímeros, los cuales tienen la ventaja de ser económicos y menos peligrosos para el ambiente que otras soluciones.

Los polímeros consisten en cadenas largas de hidrocarburos. Estos materiales son fácilmente modificados, dando como resultado combinaciones sin fin de polímeros utilizados en diferentes industrias. Muchos de estos (ya sean aniónicos, catiónicos o no iónicos) han sido propuestos como estabilizadores (Ingles y Metcalf, 1973, citados por Dhakad y Trivedi, 2018).

Varios estudios han determinado que la mayor parte de los estabilizadores químicos reaccionan con el suelo en dos formas: el aditivo se basa en reacciones químicas específicas con las partículas de suelo o los aditivos proporcionan estabilización física a través del uso de agentes de unión. Los polímeros caen dentro de la segunda categoría (Tingle et al., 2007, citados por Dhakad y Trivedi, 2018).

Los polímeros más comúnmente utilizados en la estabilización de suelos son el acetato de vinil o acrílico basado en copolímeros. Estas emulsiones de polímeros consisten generalmente de un 40-50 % de partículas sólidas con respecto al peso de la emulsión (Newman y Tingle, 2004, Tingle et al., 2007, citados por Dhakad y Trivedi, 2018). Los copolímeros acrílicos se dispersan en una emulsión polimérica por surfactantes o agentes de humedecimiento cuando se mezclan con el suelo. El polímero se cura entonces por evaporación del agua y el que queda se une para formar una película continua alrededor del agregado. Estas ligas crean resistencia adicional entre

las partículas de suelo. Debido a que el mecanismo principal del polímero es formar ligas físicas, la mejora en resistencia depende de la capacidad del polímero para recubrir las partículas. Por lo tanto, los polímeros son menos efectivos en suelos finos debido a la alta superficie específica (Tingle et al., 2007, citados por Dhakad y Trivedi, 2018).

De los tres estudios llevados a cabo por el IMT para analizar el comportamiento de un polímero fabricado por un ingeniero mexicano, se pudieron concluir los siguientes puntos:

1. Para que la mezcla suelo-polímero muestre un incremento en propiedades mecánicas, posterior al proceso de compactación, se debe dejar secar para que el agua de la mezcla se evapore y se formen las ligas entre polímero-suelo. Esto trae como consecuencia mayores resistencias del material.
2. Si a la mezcla suelo-polímero no se le permite el secado, las propiedades mecánicas de la mezcla serán similares a las del suelo sin polímero.
3. Si la mezcla de suelo-polímero se seca y posteriormente se humedece, sin que haya después un proceso de secado, el material mejorado con polímero ve reducidas sus propiedades (CBR, resistencia en compresión simple, módulo de resiliencia, deformación permanente, etc.). Por lo tanto, el agua sí afecta las propiedades de la mezcla suelo-polímero.
4. Por otro lado, en campo no solo se presenta un ciclo de secado y humedecimiento, sino que este proceso puede repetirse varias veces. Por lo tanto, también se llevaron a cabo pruebas con secado-humedecimiento-secado, en las que se observa que el material sigue manteniendo su resistencia siempre y cuando pierda agua después de haberla ganado.
5. Se observó que materiales como la arena, que en condición natural se encuentra en estado suelto, potencializa sus propiedades mecánicas de forma importante al adicionarle el polímero en diferentes porcentajes y compactarla.
6. Para el caso de la arena con polímero, la altura capilar se ve reducida, mientras que el suelo natural colapsa ante la absorción de agua. Por esto, en la arena con polímero sí se pueden determinar las propiedades mecánicas, pero no en la arena natural.
7. En el proyecto uno se estudió un suelo mejorado con 6 % de polímero, en el segundo se agregó 8 % de polímero a una arena, en el tercer proyecto se estudiaron tres cantidades de polímero: 6 %, 8 % y 10 %. Al parecer, ninguno de los tres porcentajes es el óptimo, ya que las propiedades mecánicas fueron aumentando a medida que se incrementó la cantidad de polímero, como se observó en el proyecto 3.

8. Por otro lado, en cuanto al tiempo óptimo de secado, entre 14 y 28 días ya se presenta la evaporación del agua en su mayor parte. A tres días de secado, el suelo-polímero presenta propiedades similares al suelo natural.
9. El material de base incrementa su resistencia en un 61 % si tiene 10 % de polímero y se permite un tiempo de secado de 28 días.
10. El CBR de la base granular parece no mejorar si el material tiene polímero cuando las muestras son saturadas durante 96 horas.
11. Si el CBR de la base granular se ensaya en seco, la base con polímero indica valores de CBR mayores (para 14 días de secado, que fue la condición ensayada).

En la actualidad, se ofrecen en el mercado gran cantidad de aditivos que, según sus fabricantes, son un elemento potenciador de las propiedades de los materiales de construcción de carreteras y caminos, pero son pocos los aditivos que cuentan con estudios que lo demuestren. Por esto, su uso se sujeta a la evaluación que se realiza antes de ser utilizados como material para estabilizar capas de suelo. Por su parte el IMT y la SICT han elaborado un protocolo para la evaluación de aditivos implementado desde hace algunos años (ver el subapartado “Evaluación de un producto o sistema de nueva tecnología”).

5.3.3.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ZEOLITAS SINTÉTICAS

Las zeolitas sintéticas, en adición de los metales alcalinos y alcalinotérreos, son en conjunto un aditivo con características químicas específicas, que contribuyen unas con otras a que ocurran reacciones químicas proactivas o reactivas al añadirlas a las mezclas de cemento. Al adicionar este compuesto a materiales como subrasantes, subbases y bases, es posible incrementar la flexibilidad y la fuerza de las diferentes capas de los caminos, mejorando con ello el desempeño y comportamiento de una estructura de pavimento.

De acuerdo con información obtenida de fabricantes de estos aditivos, la estabilización química de suelos con uso de zeolitas sintéticas puede tener las siguientes ventajas:

- **Estructurales y constructivas**
 - Logra que los suelos se estabilicen e inmovilicen.
 - Reduce las etapas y el tiempo de realización del procedimiento constructivo.
 - Reduce el espesor del pavimento estructural con el mismo desempeño que el tradicional.
 - Mejora la adherencia de los materiales, aumenta la resistencia a la flexión y a la compresión.

- **Mantenimiento**

- Reduce los mantenimientos preventivos de las capas que conforman los caminos.

- **Costos**

- Reduce la necesidad de aditivos adicionales a un mínimo absoluto.
- Alarga la vida de los caminos.
- Reduce las etapas y el tiempo de realización del procedimiento constructivo.
- Evita la importación de materiales mejorados.
- Reduce el consumo de combustibles.

Desde 2007, el IMT ha estudiado el uso de zeolitas sintéticas para la estabilización de diferentes tipos de materiales. Con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico, se realizaron las pruebas para la determinación del módulo elástico y el módulo de resiliencia en materiales de calidad para subrasante, subbase y base bajo dos condiciones: a) estabilizados únicamente con cemento portland, y b) estabilizados con cemento portland y zeolitas sintéticas (Pérez García, 2016).

A continuación, se describen de manera breve los resultados obtenidos del proyecto “IE-08/14” realizado por el IMT, donde se evaluó mediante diferentes pruebas, el comportamiento de los materiales mencionados en el párrafo anterior.

Materiales empleados

Se emplearon materiales para subrasante, subbase y base procedentes de diferentes bancos ubicados en el estado de Querétaro.

Los materiales mencionados fueron muestreados, secados al aire y cribados por el tamiz de una pulgada. Estos se redujeron a un tamaño de 50 kg aproximadamente.

Las pruebas de laboratorio llevadas a cabo fueron las siguientes:

- Análisis granulométrico (ASTM 136-06).
- Determinación de las características óptimas de compactación (ASTM D1557).

Posteriormente, se realizaron los cálculos para determinar la cantidad de agua, de cemento y de zeolita sintética que había que agregar a los materiales. Dichas proporciones fueron calculadas con base a los criterios del cuadro 12.

Es importante resaltar que el cálculo de kilogramos por dosificar en los especímenes tanto de cemento portland como de zeolitas sintéticas mencionados en el cuadro 12 son relaciones obtenidas en la investigación de referencia. Esas relaciones tienen que ver con los diversos tipos de material (suelo) empleados en los ensayos y de la evaluación de un producto comercial con zeolitas sintéticas. Por este motivo, estas cantidades de cemento Portland y zeolitas sintéticas son un ejemplo de dosificación de ambos productos y no una regla a seguir.

CUADRO 12. CÁLCULO DE LAS CANTIDADES DE MATERIALES A MEZCLAR

Especimen Material	Suelo Natural	Suelo-Cemento	Suelo-Cemento-Zeolita
Masa Total W_t (g)	$W_t = 95\% \gamma_{dm\max} * V$ W_t = Masa total requerida para la elaboración de especímenes (g) $\gamma_{dm\max}$ = 0.95 del peso específico seco máximo del material (g/ cm ³) V = Volúmen del molde (cm ³) (aumentando 0.5 cm en la altura para considerar el enrase)		
Masa de Suelo S_s (g)	$S_s = \frac{W_t}{W_{prom} \left(1 + \frac{100}{100}\right)}$ W_{prom} = Contenido de agua inicial del suelo		
Agua W_w (g)	$W_w = \left(\frac{\%W_{opt} + F - \%W_{prom}}{100} \right) S_s$ $\%W_{opt}$ = Obtenido de curvas de compactación F = Factor de pérdida de humedad por manipulación (entre 2 y 2.5)		
Cemento Pórtland (kg)	$Vol (m^3) = \frac{S_s}{(\gamma_{dm\max})} \rightarrow 1m^3 \text{ de mat} \rightarrow 180 \text{ kg de cemento}$ $Vol m^3 \rightarrow X = W_{cemento} \text{ kg}$		
Zeolita sintética (kg)	$1m^3 \text{ de mat} \rightarrow 1.8 \text{ kg de zeolita}$ $Vol m^3 \rightarrow X = W_{zeolita} \text{ kg}$		

Fuente: Pérez García (2016).

Los distintos materiales fueron mezclados con las proporciones obtenidas y compactados en cinco capas dentro de cilindros, conforme a la determinación de impactos necesarios por capa para lograr el peso volumétrico deseado. Cabe mencionar que el número de golpes se verificó posteriormente y se ajustó para que la última capa compactada sobresaliera 5 mm del molde cilíndrico, esto debido a especificaciones propias del proyecto.

Elaborados todos los especímenes para cada tipo de material (suelo natural, suelo-cemento, suelo cemento zeolitas sintéticas), estos se colocaron en un cuarto húmedo por un tiempo de curado de 1, 7, 14, 28, 60 y 90 días, a excepción del material de subrasante, cuyas propiedades se estudiaron un año después del tiempo de curado.

Pruebas realizadas a los especímenes

- Prueba de resistencia a compresión con medición del módulo de elasticidad. Para esta prueba se utilizó el equipo INSTRON, que se emplea para pruebas de compresión simple y cuenta con un transformador diferencial de variación lineal (LVDT, por sus siglas en inglés), el cual es un dispositivo que sirve para medir las deformaciones del espécimen. Los resultados obtenidos de la prueba fueron datos de carga y desplazamiento que, al graficarlos, proporcionaron la curva de esfuerzo-deformación, a partir de la cual se determinó el módulo de elasticidad.
- Medición del módulo de resiliencia. El espécimen fue preparado para ser colocado en una celda triaxial bajo el dispositivo de carga, donde se atornilló con la celda de carga y se ajustaron los LVDT para iniciar la prueba y el registro de datos. El software del equipo proporcionó un resumen final de los módulos de resiliencia de cada secuencia de carga, donde estos se grafican con el esfuerzo desviador o el esfuerzo volumétrico, de acuerdo con lo que se requiera.

Resultados obtenidos

En resumen, en el marco de la investigación llevada a cabo por el IMT sobre un producto estabilizante con zeolitas sintéticas, se realizaron pruebas en distintos tipos de materiales. Entre ellas estaban las pruebas de resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y el módulo de resiliencia tanto para la mezcla de material con la adición de cemento y zeolita sintética como para la mezcla de referencia del material con la adición de solo cemento. Las conclusiones obtenidas del estudio fueron las siguientes:

- La resistencia a una compresión simple se incrementa con el tiempo de curado, pero para tiempos de curado mayores que 300 días, parece alcanzar valores constantes. Esto se observó en ambas mezclas de subrasante-cemento y subrasante-cemento-zeolitas sintéticas.
- La resistencia a compresión simple de la mezcla de subbase-cemento es ligeramente mayor que la de la mezcla de subbase-cemento-zeolitas sintéticas.
- La resistencia a compresión simple de la mezcla de base-cemento-zeolitas sintéticas mostró valores por encima de la mezcla de base-cemento a 60 y 90 días de curado.
- Los módulos de elasticidad de la subrasante estabilizada solo con cemento o con cemento y zeolitas sintéticas fueron muy similares para todos los tiempos de curado.
- Las muestras de subbase estabilizadas con cemento y zeolitas sintéticas presentaron valores del módulo de elasticidad superiores a las muestras de subbase con solo cemento a los 28 días de curado. Para tiempos de curado mayores, los valores se normalizaron.

- Para el caso del material subrasante, el módulo de elasticidad fue medido a lo largo de un año. En este lapso los módulos de elasticidad parecían haberse degradado en este tipo de material.
- El efecto de las zeolitas sintéticas sobre los tres materiales estudiados, mostraron módulos de resiliencia superiores que en aquellos que no las contenían.
- En el caso del material de subbase estabilizado con cemento, se observó que los módulos de resiliencia aumentaban hasta los 28 días de curado, para 60 y 90 días de curado, los módulos de resiliencia ya no presentaban variaciones importantes. En cambio, este material estabilizado con cemento y zeolitas sintéticas, presentó desde los primeros tiempos de curado, módulos de resiliencia similares a los obtenidos a 90 días de curado.

5.3.4 USO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

El avance de la tecnología y el empleo de nuevos materiales han contribuido a la construcción de obras viales mas durables. Tal es el caso del poliestireno expandido (EPS, por sus siglas en inglés), cuyo uso para la construcción de caminos y carreteras comenzó en los años setenta y todavía se emplea y sigue siendo estudiado.

El EPS es un producto innovador bastante utilizado en la construcción en países como Noruega, Japón y Estados Unidos de América. En México, son pocas las obras en las que ha sido empleado y esto quizá se deba al desconocimiento de sus propiedades.

Un estudio realizado en 2016 por el IMT tuvo por objetivo presentar los antecedentes del uso de EPS como material de construcción en carreteras y mostrar las propiedades mecánicas de este material en dos densidades. A continuación, se describe de manera breve cada uno de los apartados desarrollados en dicho estudio.

Antecedentes sobre el uso de EPS

Existen dos tipos de poliestireno, conocidos colectivamente como poliestireno celular rígido (RCPS). En geotecnia los llaman poliestireno expandido (EPS) y poliestireno extruido (XPS). El primero es fabricado en planta, de forma que tenga la textura de una capa individual, y se fusiona de forma térmica. Generalmente, su color es blanco, pero en países como Canadá y el Reino Unido le dan color con propósitos de mercadotecnia. Por otro lado, el XPS se forma en un proceso único y continuo que da como resultado un material con una estructura celular uniforme, generalmente este material es coloreado (Horvath, 1999).

El EPS es fabricado en grandes bloques de diferentes tamaños, pero frecuentemente son de 2 m por 0,75 m por 0,75 m.

Funciones del EPS

De acuerdo con Horvath (1999), los EPS pueden tener las siguientes funciones:

- Aislamiento térmico. Debido a la gran cantidad de aire (98 % aproximadamente) es un aislante.
- Relleno de peso ligero. El material EPS puede tener una densidad tan baja como 10 kg/m³, que es menos que un 1 % de los suelos y rocas. A pesar de su baja densidad, el material tiene una rigidez tal que soporta vehículos, trenes, aviones y construcciones ligeras.
- Transmisor de fluidos. Puede ser altamente permeable (muchos EPS no lo son) si el producto final se forma o se corta de manera que contenga vacíos o canales para que fluyan los líquidos.
- Amortigua vibraciones. La alta relación de rigidez con respecto a su densidad hace que amortigüe vibraciones de pequeña amplitud y ruido producido por los motores de vehículos o ruido del tren.
- Inclusión compresible. El EPS puede ser colocado detrás o sobre estructuras muy rígidas. El material controla el movimiento de suelo o roca, lo cual reduce a su vez la carga sobre la estructura.

Factores que puede afectar la determinación de las propiedades del EPS

Resistencia a la compresión. Pruebas realizadas por Awol (2012) demostraron que las muestras cilíndricas y las de tipo disco proporcionan valores mayores de rigidez, por otro lado, si a la muestra le reducen su tamaño, la rigidez se subestima.

Efecto del tamaño de muestra (creep⁸). Pruebas de esfuerzo realizadas por Awol (2012) indicaron que cerca del 1 % de deformación total se registra dentro de los primeros 5 días para muestras cúbicas de 5 cm. Si la muestra tiene un tamaño de 10 cm o 15 cm de lado, la deformación es del 0,85 % y el 0,55 %, respectivamente. Esto indica que, a mayor tamaño de muestra, la deformación se reduce, además, más del 97 % de la deformación se presenta de forma inmediata.

Efecto de la forma de la muestra. Awol (2012) obtuvo que la deformación es similar en el cubo, disco, o cilindro, sin embargo, la muestra con forma de disco muestra la menor cantidad de deformación inmediata, pero la velocidad con la que se deforma el espécimen es mayor.

Efecto de la temperatura. Si se incrementa la energía térmica, también crece la velocidad del cambio que permite reajustes moleculares y, por lo tanto, deformación. Las muestras fueron ensayadas a un esfuerzo constante de 30 kPa y a temperaturas de -20 °C, -10 °C y -5 °C. Las deformaciones obtenidas fueron del 0,89 %, 0,76 % y 0,67 %, respectivamente (Awol, 2012).

⁸ Por este término en inglés se conoce la tendencia de un material sólido a deformarse de manera permanente cuando es sometido a niveles de presión superiores a su capacidad para soportarlos.

Especificaciones del EPS

En México, la NIT-SICT considera el “poliestireno expandido” como un tipo de geosintético. Sin embargo, hasta el año 2016 no se había emitido ninguna normativa sobre el uso de EPS en la infraestructura del transporte.

Para fines de diseño y normativos, el Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras (NCHRP, por sus siglas en inglés) creó la norma NCHRP 24-11, donde se muestran los valores de esfuerzo elástico límite para EPS con densidades de 16, 20, 24 y 32 kg/m³, así como las densidades mínimas permitidas nominales o por bloque (para cada una de las densidades).

Los cuadros 13 y 14 muestran las densidades y propiedades mínimas permitidas del EPS de acuerdo con los indicados en la norma NCHRP 24-11.

CUADRO 13. DENSIDADES DEL EPS EN LA NORMA NCHRP 24-11 (01)

Designación del material		Densidad mínima permitida, kg/m ³	
NCHRP 24-11(01)	ASTM C578	Todo el bloque	Muestra para control de calidad
EPS40	I	16	15
EPS50	VIII	20	18
EPS70	II	24	22
EPS100	IX	32	29

CUADRO 14. PROPIEDADES MÍNIMAS PERMITIDAS DEL EPS ESPECIFICADAS EN LA NORMA NCHRP 24-11 (01)

Designación del material	Densidad seca (kg/m ³)	Resistencia a compresión, kPa	Resistencia a flexión, kPa	Esfuerzo elástico límite, kPa	Módulo tangente inicial, MN/m ²
EPS40	15	69	173	40	4
EPS50	18	90	208	50	5
EPS70	22	104	276	70	7
EPS100	29	173	345	100	10

Por su parte, la ASTM también creó su propia especificación, la ASTM D6817-07, cuyas propiedades más relevantes son resumidas en el cuadro 15.

CUADRO 15. PROPIEDADES FÍSICAS PARA LOS MATERIALES EPS ESPECIFICADAS EN LA NORMA ASTM D6817-07

Tipo	EPS12	EPS15	EPS19	EPS22	EPS29	EPS39	EPS46
Densidad mínima (kg/m ³)	11.2	14.4	18.4	21.6	28.8	38.4	45.7
Resistencia a compresión mínima a 1 %, (kPa)	15	25	40	50	75	103	128
Resistencia a compresión mínima a 5 %, (kPa)	35	55	90	115	170	241	300
Resistencia a compresión mínima a 10 % ^A , (kPa)	40	70	110	135	200	276	345
Resistencia a flexión mínima (kPa)	69	172	207	276	345	414	517
Índice de oxígeno mínimo, % en volumen	24	24	24	24	24	24	24

^A, si la fluencia ocurre antes del 10% de deformación, reporte la resistencia a compresión y la deformación en la fluencia además de la resistencia a compresión al 1%, 5% y 10% de deformación.

Resultados obtenidos en pruebas realizadas por el IMT

Con base en los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas con los especímenes de EPS de 22 y 29 Kg/m³, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

- El EPS es un material que ha sido utilizado con bastante éxito en diferentes obras de ingeniería de acuerdo con lo reportado en la literatura.
- En México, el EPS ha sido utilizado en pocas obras, lo que quizá se deba a que no se tiene conocimiento de su comportamiento y propiedades. De igual manera, no existe normativa ni especificaciones.
- Los valores de resistencia a tensión son diferentes a los reportados en la norma ASTM D6817-07. Esto puede deberse a que en esta investigación se utilizó una viga de 15 cm de ancho por 15 cm de altura y 50 cm de longitud. La norma para EPS requiere otras dimensiones de espécimen, también la carga es aplicada en diferente forma.
- Con respecto al módulo de resiliencia, este se incrementa a medida que aumenta la densidad del material.

- El confinamiento no afecta el valor del módulo de resiliencia.
- El esfuerzo desviador tiene un mayor efecto en el módulo de resiliencia de EPS con menor densidad.
- El EPS de mayor densidad presenta menos capacidad de amortiguamiento.

De las pruebas de deformación en muestras de 29 kg/m³ se obtuvo que no se acumula deformación permanente en el espécimen de prueba si el nivel de carga aplicado está dentro del rango elástico.



CAPÍTULO 6

REFERENCIAS

CAPÍTULO 6

REFERENCIAS

- AMIVTAC (2017).** *Caminos rurales y carreteras alimentadoras: guía para la gestión de obras.* Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.
- AMIVTAC (2018).** *Estabilización química y refuerzo mecánico de suelos.* Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.
- AMIVTAC (2021).** *Evaluación del desempeño de pavimentos mecánicamente estabilizados.* Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.
- Awol, T. A. (2012).** A parametric study of creep on EPS geofoam embankments. Norwegian University of Science and Technology. Department of Civil and Transport Engineering.
- Balbuena Cruz, A. y Ascencio Laguna, A. (2016).** *Planificación integral del acceso rural. Zona norte del municipio de Amealco. Informe de investigación.* México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Dhakad, R. S. and Trivedi, M. K. (2018).** Study of the Enhancement of Strength of Clayey Soil Stabilized with Acrylic Polymer. IJSRD International Journal for Scientific Research and Development. Vol. 6, Issue 02, 2018.
- BID (1994).** *Informe de terminación de proyecto (PCR): Programa de Desarrollo Municipal.* Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- BID (2016).** *Programa Hábitat: cerrando brechas en los barrios formales de México.* Obtenido de Impacto: Efectividad en el desarrollo. <https://blogs.iadb.org/efectividad-desarrollo/es/programa-habitat-mexico/>.
- CEMEX (2020).** *Rehabilitación ecología de caminos y vías rurales.* CEMEX.
- CONAPO (2010).** Capítulo 3. Marginación de las localidades. En Índice de marginación por localidad 2010.
- Ciudad de México (CDMX):** Consejo Nacional de Población.
- CONAPO (2021).** *Índice de marginación por localidad 2020.* Consejo Nacional de Población.
- CONEVAL (2021).** *Grado de accesibilidad a carretera pavimentada.* Ciudad de México (CDMX): Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Figueira, J., Greco, S., Roy, B. y Slowinski, R. (2013).** *Electre methods: Main features and recent developments.* París, Francia: Dauphine Université de Paris.
- García-García, J., Reding-Bernal, A. y López-Alvarenga, J. (2015).** Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica* 2(8). [https://doi:10.1016/s2007-5057\(13\)72715-7](https://doi:10.1016/s2007-5057(13)72715-7).

- GMA (2000).** *Geosynthetic reinforcement of the aggregate base course of flexible pavement structures - White Paper II.* Geosynthetic Materials Association.
- Horvath, J. S. (1999).** *Lessons learned from failures involving Geofoam in Roads and Embankments.* Manhattan College Research Report No. CE/GE-99-1
- IMT (2009).** *Evaluación del impacto social que ha tenido la construcción de algunos caminos rurales en México.* Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT (2015).** *Sostenibilidad de la infraestructura de transporte rural. Estudio piloto, México.* Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT (2019).** *Manual estadístico del sector transportes.* Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT (2021).** *Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con un polímero.* Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT (2021).** *Una metodología multicriterio para la jerarquización de inversiones públicas en proyectos de caminos rurales.* Sanfandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT (2022).** *Metodología PIAR como insumo para conocer las necesidades de transporte en cadenas de suministro cortas en entornos rurales.* Instituto Mexicano del Transporte.
- INEGI (2020).** *Censo de población y vivienda 2020.* Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI-SICT-IMT. (2021).** *Documento técnico descriptivo Red Nacional de Caminos.* Ciudad de México (CDMX): Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Keller, G. y Sherar, J. (2004).** *Ingeniería de caminos rurales – Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales.* (I. M. Transporte, Trad.) US Agency for International Development (USAID).
- OIT (2005).** *Planificación integral del acceso rural (PIAR).* Lima: Organización Internacional del Trabajo.
- Pérez García, N. (2016).** *Evaluación del modulo de elasticidad (E), modulo de resiliencia (Mr) y permeabilidad (K) en mezclas de agregados estabilizados con cemento portland y roadcem (zeolitas sintéticas, compuestos alcalino y activadores de patenete).* Instituto Mexicano del Transporte.
- Salas Rico, R. (2008).** *Evolución de los caminos rurales en México.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.
- SEMARNAT (2010).** *Atlas geográfico del medio ambiente y recursos naturales.* México D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT (2014). *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.* Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SHCP (2015). *Metodología para la evaluación de proyectos de caminos rurales y alimentadores.* Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

SICT (2009). *Difusión de acciones del Gobierno Federal en materia de caminos rurales y alimentadores.* Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT (2016). *Manual para estudios, gestión y atención ambiental en carreteras.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT (2018). *Manual proyecto geométrico carreteras.* Ciudad de México (CDMX): Dirección General de Servicios Técnicos.

SICT (2020). *Convenio para el otorgamiento de un subsidio en materia del PPCCM para el municipio de “La Reforma” en el estado de Oaxaca.* Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT (2020a). *Documento diagnóstico del programa presupuestario K037.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT (2020b). *Guía técnica, administrativa operativa para la pavimentación de caminos a cabeceras municipales, con uso intensivo de la mano de obra.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.
https://www.dof.gob.mx/2021/SCT/GUIA_TECNICA_2021.pdf

SICT (2020c). *Documento diagnóstico del programa presupuestario K031.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT.(2020d). *Documento diagnóstico del programa presupuestario U-004.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT (2021). *Avances físico-financieros, enero-diciembre 2021 del PPCCM.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT (2022). *Solicitud para evaluación de un producto o sistema de nueva tecnología.* Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

Tingle, J.S., Newman, J.K., Larson, S.L. y Weiss, C. A. (2007). Stabilization Mechanism of Nontraditional Additives. Transportation Research Board Journal of Transportation Research Board.



CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA

- AMIVTAC. (2017).** *Caminos rurales y carreteras alimentadoras: guía para la gestión de obras.* Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.
- AMIVTAC. (2018).** *Estabilización química y refuerzo mecánico de suelos.* Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.
- AMIVTAC. (2021).** *Evaluación del desempeño de pavimentos mecánicamente estabilizados.* Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.
- Balbuena Cruz, A., & Ascencio Laguna, A. (2016).** *Planificación Integral del Acceso Rural. Zona norte del municipio de Amealco. Informe de investigación.* México: Instituto Mexicano del Transporte.
- BID. (1994).** *Informe de Terminación de Proyecto (PCR): Programa de Desarrollo Municipal.* Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- BID. (7 de Junio de 2016).** *Programa Hábitat: cerrando brechas en los barrios formales de México.* Obtenido de Impacto: Efectividad en el desarrollo: <https://blogs.iadb.org/efectividad-desarrollo/es/programa-habitat-mexico/>.
- CEMEX. (2020).** *Rehabilitación ecología de caminos y vías rurales.* CEMEX, S.A.B. de C.V.
- CONAPO. (2010).** *Capítulo 3. Marginación de las localidades.* Ciudad de México (CDMX): Consejo Nacional de Población.
- CONAPO. (2021).** *Índice de marginación por localidad 2020.* Consejo Nacional de Población.
- CONEVAL. (2021).** *Grado de accesibilidad a carretera pavimentada.* Ciudad de México (CDMX): Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Figueira, J., Greco, S., Roy, B., & Slowinski, R. (2013).** *Electre Methods: Main Features and Recent Developments.* París, France: Dauphine Université of París.
- García-García, J., Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. (2015).** *Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. Investigación en Educación Médica.* doi:10.1016/S2007-5057(13)72715-7.
- GMA. (2000).** *Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures - White Paper II.* Geosynthetic Materials Association.
- IMT. (2009).** *Evaluación del impacto social que ha tenido la construcción de algunos caminos rurales en México.* Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT. (2015).** *Sostenibilidad de la infraestructura de transporte rural. Estudio piloto, México.* Instituto Mexicano del Transporte.

- IMT. (2019).** *Manual Estadístico del Sector Transportes*. Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT. (2021).** *Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con un polímero*. Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT. (2021).** *Una metodología multicriterio para la jerarquización de inversiones públicas en proyectos de caminos rurales*. Sanfandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT. (2022).** *Metodología PIAR como insumo para conocer las necesidades de transporte en cadenas de suministro cortas en entornos rurales*. Instituto Mexicano del Transporte.
- INEGI. (2020).** *Censo de población y vivienda 2020*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI-SICT-IMT. (2021).** *Documento Técnico Descriptivo Red Nacional de Caminos*. Ciudad de México (CDMX): Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Keller, G., & Sherar, J. (2004).** *Ingeniería de caminos rurales – Guía de campo para las mejores prácticas de administración de Caminos Rurales*. (I. M. Transporte, Trad.) US Agency for International Development (USAID).
- OIT. (2005).** *Planificación Integral del Acceso Rural (PIAR)*. Lima: Organización Internacional del Trabajo.
- Pérez García, N. (2016).** *Evaluación del modulo de elasticidad (E), modulo de resiliencia (Mr) y permeabilidad (K) en mezclas de agregados estabilizados con cemento portland y roadcem (zeolitas sintéticas, compuestos alcalino y activadores de patenete)*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Salas Rico, R. (2008).** *Evolución de los caminos rurales en México*. Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.
- SEMARNAT. (2010).** *Atlas geográfico del medio ambiente y recursos naturales*. México D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2014).** *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SHCP. (2015).** *Metodología para la Evaluación de Proyectos de Caminos Rurales y Alimentadores*. Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- SICT. (2009).** *Difusión de acciones del Gobierno Federal en materia de Caminos Rurales y Alimentadores*. Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT. (2016). *Manual para Estudios, Gestión y Atención Ambiental en Carreteras.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT. (2018). *Manual Proyecto Geometrico Carreteras.* Ciudad de México (CDMX): Dirección General de Servicios Técnicos.

SICT. (2020). *Convenio para el otorgamiento de un subsidio en materia del PPCCM para el municipio de “La Reforma” en el estado de Oaxaca.* Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT. (2020a). *Documento diagnóstico del programa presupuestario KO37.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT. (2020b). *Guía técnica, administrativa y operativa para la pavimentación de caminos a cabeceras municipales, con uso intensivo de la mano de obra.* Ciudad de México (CDMX). https://www.dof.gob.mx/2021/SCT/GUIA_TECNICA_2021.pdf: Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT. (2020c). *Documento diagnóstico del programa presupuestario KO31.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT. (2020d). *Documento diagnóstico del programa presupuestario U-004.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT. (2021). *Avances físico-financieros, Enero – Diciembre 2021 del PPCCM.* Ciudad de México (CDMX): Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

SICT. (2022). *Solicitud para evaluación de un producto o sistema de nueva tecnología.* Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE