Comunicaciones
Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes

Subsecretaría de Infraestructura
Dirección General de Servicios Técnicos



Manual para la Conservación Ambiental de las Carreteras

Un enfoque de Economía Circular

Ciudad de México, agosto 2025 /Primera edición

Manual para la Conservación Ambiental de las Carreteras

Un enfoque de Economía Circular

Comunicaciones
Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes

Manual para la Conservación
Ambiental de las Carreteras

ISBN: en trámite

Elaboración: agosto 2025

Queda prohibido, salvo excepción prevista por la ley, la reproducción (electrónica, química, mecánica, óptica, de grabación o fotocopia), distribución, comunicación pública y transformación de cualquier parte de esta publicación –incluido el diseño de cubierta–, sin la previa autorización escrita de los titulares de la propiedad intelectual.

© SICTDerechos reservados.

Comunicaciones
Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Manual para la Conservación Ambiental de las Carreteras
Un enfoque de Economía Circular

Mtro. Jesús Antonio Esteva Medina
Secretario de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes

Ing. Juan Carlos Fuentes Orrala
Subsecretario de Infraestructura

Ing. Laura Suárez Medina
Directora General de Servicios Técnicos

Ing. Juan Manuel Mares Reyes
Director Ejecutivo de Desarrollo Técnico

Contenido

Introducción y contexto 5
Objetivo 6
Alcances 7
Relevancia del manual para el sector carretero en México 7

1. Fundamentos y enfoque de la economía circular aplicados a la conservación de las carreteras 9
1.1. Introducción a la economía circular 9
1.2. Principios clave y objetivos de la conservación de las carreteras en la economía circular 16
1.3. Beneficios ambientales, sociales y económicos de la economía circular en la conservación de las carreteras 19

2. Análisis de la situación actual de la conservación de las carreteras en México 23
2.1. Reseña histórica de la conservación de las carreteras en México 23
2.2. Situación legal actual en términos de la economía circular y su vinculación con las prácticas de conservación y rehabilitación de las carreteras 24
2.3. Análisis de la red carretera en general 26
2.4. Experiencias del sector en términos de economía circular 30
2.4.1. Conservación de biodiversidad 31
2.4.2. Gestión de residuos 33
2.4.3. Eficiencia energética y emisiones 38
2.4.4. Conservación rutinaria y periódica 39
2.4.5. Políticas y procedimientos 39
2.4.6. Innovación y futuro 40
2.4.7. Resultados del análisis de residuos y prácticas identificadas en la conservación de las carreteras por actividad 40

2.5. Análisis del impacto ambiental en la conservación de las carreteras en México ·· 53
2.5.1. Calificación de impactos sin medidas de mitigación ····· 72
2.5.2. Derecho de vía ····· 85
2.5.3. Cuerpo de la carretera (pavimentos) ····· 87
2.5.4. Puentes, estructuras ····· 87
2.5.5. Túneles ····· 88
2.5.6. Obras de drenaje ····· 89
2.5.7. Taludes ····· 90
2.5.8. Señalización ····· 91
2.5.9. Distribución aproximada de los impactos adversos en la conservación carretera actual. ····· 91
2.5.10. Conclusión del análisis de impacto ambiental ····· 93
2.6. Análisis del nivel de madurez de las practicas de economía circular en la conservación de las carreteras en México ····· 93
2.7. Hacia un futuro sostenible en la conservación y obras de las carreteras en México, desafío y oportunidad ····· 97

3. Implementación de estrategias de economía circular en la conservación de las carreteras 99
3.1. Gestión de materiales y residuos ····· 99
3.2. Gestión de materiales y residuos en las practicas de conservación de las carreteras ····· 104
3.3. Ciclos de vida de los materiales en la conservación de las carreteras ····· 107
3.3.1. Residuos de construcción (concreto y agregados) ····· 108
3.3.2. Residuos sólidos de metal y chatarra ····· 109
3.3.3. Residuos sólidos de plástico, papel y cartón ····· 110
3.3.4. Fracción orgánica ····· 111
3.3.5. Lodos ····· 112
3.3.6. Caucho ····· 113
3.3.7. Vidrio ····· 114
3.3.8. Pinturas y aceites ····· 115
3.4. Importancia de la durabilidad de los materiales y tecnologías emergentes en la conservación de las carreteras ····· 116
3.4.1. Pavimentos, cuerpo y derecho de vía ····· 116
3.4.2. Puentes y estructuras ····· 120
3.4.3. Túneles ····· 122
3.4.4. Obras de drenaje ····· 124
3.4.5. Taludes ····· 128
3.4.6. Señalización y dispositivos de seguridad ····· 128
3.5. Factibilidad para separar y gestionar los materiales resultantes en las obras de conservación de las carreteras y su implementación de técnicas de economía circular ····· 129

4. Prácticas sustentables para carreteras: una oportunidad para diseñar infraestructura verde vial y reducir emisiones bajo el enfoque de la economía circular 135
4.1. Alternativas y estrategias para minimizar emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero con el uso de pavimentos sustentables ····· 135
4.1.1. Mezclas asfálticas sustentables para pavimentos ····· 136
4.1.2. Otras tecnologías sustentables aplicables a la conservación de las carreteras ····· 145
4.2. Prácticas de control de erosión ····· 146
4.2.1. Terrazas ····· 146
4.2.2. Disipadores de energía ····· 150
4.2.3. Geotextiles ····· 153
4.2.4. Sistemas de drenaje sostenible (SUDS) ····· 156
4.3. Eficiencia energética ····· 174
4.3.1. Fuente energía fósil ····· 174
4.3.2. Fuente alternativa ····· 176
4.3.3. Fuentes renovables ····· 177
4.3.4. Maquinaria hibrida ····· 183
4.3.5. Iluminación sostenible ····· 184
4.3.6. Generación híbrida ····· 185

Estrategias de economía circular para minimizar el impacto ambiental en la conservación de las carreteras por tipo de activos carreteros 187
5.1. Valoración del impacto y aplicación de estrategias de economía circular por activo carretero, en la conservación de las carreteras ····· 195
5.1.1. Pavimentos, cuerpo y derecho de vía ····· 195
5.1.2. Puentes y estructuras ····· 196
5.1.3. Túneles ····· 197
5.1.4. Obras de drenaje ····· 197
5.1.5. Taludes ····· 198
5.1.6. Señalización y dispositivos de seguridad ····· 199
5.2. Evaluación comparativa de matrices de impacto ambiental: escenarios con y sin aplicación de prácticas de economía circular ····· 200
5.3. Resumen de estrategias de economía circular para la conservación de las carreteras ····· 203

6. Gestión para la implementación de las practicas de economía circular 209
6.1. Aspecto normativo ····· 209
6.2. Gestión de financiamiento ····· 210
6.2.1. Creación de fondos públicos y privados ····· 210
6.2.2. Financiamiento internacional ····· 211

6.2.2.1. Pago por servicios ambientales o del ecosistema 211
6.2.2.2. PSA de captura de carbono y créditos de carbono 215
6.3. Infraestructura logística y operativa 218
6.4. Fomento de la innovación tecnológica 219
6.5. Capacitación y transferencia de conocimiento 221
6.6. Participación ciudadana y educación comunitaria 222

7. Conclusiones generales 225

8. Bibliografía 227

9. ANEXOS 233
9.1. Anexo 1. Residuos y prácticas identificadas en el mantenimiento y conservación de las carreteras por estructura y actividad (identificación de alternativas de valorización de residuos). 233
9.1.1. Derecho de vía 233
9.1.2. Pavimentos 240
9.1.3. Puentes y estructuras 257
9.1.4. Túneles 267
9.1.5. Obras de drenaje y complementarias 271
9.1.6. Taludes 295
9.1.7. Señalamiento y dispositivos de seguridad 300
9.2. Anexo 2. Alternativas sustentables para el manejo de residuos en las actividades de conservación de las carreteras 313
9.2.1. Derecho de vía 313
9.2.2. Pavimentos 315
9.2.3. Puentes y estructuras 320
9.2.4. Túneles 325
9.2.5. Obras de drenaje y complementarias 328
9.2.6. Señalamientos y dispositivos de seguridad 343
9.3. Anexo 3. Clasificación de residuos por categoría normativa 348

Contenido de Tablas

Tabla 2.1. Kilómetros de las carreteras y caminos pavimentados en México. Elaboración propia con datos de Instituto Mexicano del Transporte (2025) 27
Tabla 2.2. Actividades de la conservación de las carreteras generadoras de impactos ambientales. 54
Tabla 2.3. Componentes y factores ambientales susceptibles de impacto por las acciones del proyecto. 60

Tabla 2.4. Matriz causa-efecto (cruce de los componentes y factores ambientales respecto a las obras y actividades de la conservación de las carreteras). ····· 61
Tabla 2.5. Categorías de valoración del índice de Impacto de acuerdo con metodología Bojórquez – Tapia et al (1998). ····· 73
Tabla 2.6. Matriz de calificación de los impactos ambientales sin la consideración de estrategias de economía circular en el manejo de residuos ·· 74
Tabla 2.7. Total de impactos ambientales por categoría. ····· 85
Tabla 2.8. Principios de economía circular de acuerdo con distintos autores y que se alinean con el modelo de Ellen MacArthur, utilizados en la conservación de las carreteras. ····· 94
Tabla 2.9. Niveles de madurez identificados. Adaptado de *(Connolly et al., 2023)* ····· ***96***
Tabla 2.10. Estrategias para la sostenibilidad en la infraestructura vial: una proyección a corto, mediano y largo plazo. ····· 98
Tabla 3.1. Clasificación de los residuos ····· 101
Tabla 3.2. Etapas clave de la economía circular aplicables a la conservación de las carreteras y su relevancia operativa ····· 102
Tabla 3.3. Descripción del proceso de las 7 etapas de la economía circular ····· 103
Tabla 3.4. Identificación general de residuos por actividad en las prácticas de conservación de las carreteras ····· 105
Tabla 3.5. Factibilidad de implementación de técnicas de economía circular en residuos generados por conservación de las carreteras ····· 130
Tabla 5.1 Total de impactos ambientales por categoría. ····· 188
Tabla 5.2 Comparación de impactos ambientales en la conservación de las carreteras con y sin enfoque de economía circular ····· 201
Tabla5.3 Comparación del impacto ambiental entre prácticas convencionales y enfoque de economía circular en la conservación de las carreteras ····· 201
Tabla 5.4. Estrategias de economía circular identificadas en las actividades de conservación. Resumen de las estrategias (alternativas de buenas prácticas ambientales en la conservación de las carreteras. ····· 204

Contenido de Figuras

Figura 1.1. Diagrama de mariposa de la economía circular ····· 10
Figura 1.2. Esquema de la economía circular para el sector de la construcción ····· 11
Figura 1.3. Esquema general sobre la economía circular ····· 12
Figura 1.4. Determinación de impactos ambientales desde el inventario de entradas y salidas. ····· 13
Figura 1.5. Fases que componen los proyectos viales ····· 14
Figura 1.6. Inventario de entradas y salidas durante todo el procedimiento constructivo. ····· 14
Figura 1.7. Pasos para la implementación del LCCA. ····· 15
Figura 1.8. Deterioro e intervenciones de la carretera ····· 18
Figura 2.1. Desafíos y problemas actuales en la conservación de las carreteras. ····· 28

Figura 2.2. Planta de asfaltos en mineral del monte donde se observan los principales materiales de construcción. ····· 30
Figura 2.3. Residuos de concreto y materiales inertes. Elaboración propia. ····· 42
Figura 2.4. Metales y residuos asociados a su generación. ····· 44
Figura 2.5. Platicos, papel y cartón asociados a su generación. ····· 45
Figura 2.6. Fracción orgánica asociados a su generación. ····· 46
Figura 2.7. Lodos asociados a su generación. ····· 47
Figura 2.8. Ejemplo de sedimentos y lodos en las obras de drenaje. ····· 48
Figura 2.9. Caucho asociado a su generación. ····· 49
Figura 2.10. Ejemplos de modificación de paisaje por la construcción de las carreteras. 90
Figura 3.1. Etapas de la economía circular aplicadas a la infraestructura vial ····· 104
Figura 3.2. Corazón de mezcla tipo SMA para análisis de laboratorio ····· 119
Figura 3.3. Ejemplo de drenaje transversal y longitudinal. ····· 123
Figura 3.4. Ejemplo de alcantarilla transversal. ····· 124
Figura 3.5. Ejemplo de bordillo recorrido de campo Cd. Valles-Tamazunchale. ····· 126
Figura 4.1. Proceso de recuperación o reciclaje de pavimento asfaltico. ····· 137
Figura 4.2. Capas intermedias de asfalto con caucho. ····· 141
Figura 4.3. Terrazas. ····· 147
Figura 4.4. Esquema de una terraza a declive. ····· 148
Figura 4.5. Campos en terrazas en las montañas Ghats occidentales. Kodaikanal, Tamil Nadu, India ····· 149
Figura 4.6. Terrazas cerca de la aldea Changyuan, Ciudad de Linfen, provincia de Shanxi, en el norte de China ····· 150
Figura 4.7. Esquema de disipadores de energía ····· 151
Figura 4.8. Estructuras de desalojo pluvial o lavaderos. ····· 152
Figura 4.9. Estructuras de disipación de energía y lavaderos. ····· 153
Figura 4.10. Uso de geotextiles en carretera (Diagrama) ····· 154
Figura 4.11. Aplicación de geotextiles en la Autopista Nacional No. 3, Taiwan. ····· 155
Figura 4.12. Aplicación de geotextiles en carreteras, Malasia. ····· 156
Figura 4.13 Esquema general de una cuneta verde: ····· 157
Figura 4.14. Franja filtrante. ····· 158
Figura 4.15. Ejemplo de aplicación de una cuneta verde: ····· 159
Figura 4.16. Ejemplo de aplicación de una cuneta verde: ····· 160
Figura 4.17. Esquema general de un filtro de composta. ····· 161
Figura 4.18. Aplicaciones de los filtros de composta. ····· 162
Figura 4.19. Esquema de funcionamiento de cuencas de sedimentación. ····· 163
Figura 4.20. Cuenca de sedimentación, Franklin, Alabama. ····· 164
Figura 4.21. Cuenca de sedimentación, Tama, Iowa. ····· 165
Figura 4.22. Humedal pluvial. ····· 167
Figura 4.23. Humedal artificial y su perfil. ····· 167
Figura 4.24. Ejemplo de uso de cisternas en carreteras, República de Yemen. ····· 168
Figura 4.25. Diseño de un biorretenedor de contaminantes ····· 169
Figura 4.26. Ejemplo de biorretención, Sandy Forks Road, Carolina del Norte, Estados Unidos. ····· 170

Figura 4.27. Ejemplo de pozo de infiltración de escurrimientos de las carreteras en Etiopía. ····· 172
Figura 4.28. Iluminación alimentada con energía solar en Idaho. ····· 179
Figura 4.29. Alumbrado público que combina energía solar y eólica. ····· 180
Figura 4.30. Sistema de calefacción para carreteras en un puente. ····· 182
Figura 4.31. Excavadora híbrida HB215LC-1 de Komatsu. ····· 184

Contenido de Gráficas

Gráfica 2.1. Distribución del gasto de inversión en proyectos de la SICT, 2023 (Millones de pesos). ····· 29
Gráfica 2.2. Estimación de la generación de residuos en la conservación de una carretera. ····· 41
Gráfica 2.3. Impactos adversos generados a cada factor ambiental por tipo de estructura durante la conservación de las carreteras. ····· 92

Contenido de Fotografías

Fotografía 2.1. Revestimiento de talud mediante guías ····· 33
Fotografía 2.2. Revestimiento de taludes mediante la siembra directa sobre geomalla ····· 34
Fotografía 2.3. Residuos típicos de obras menores de conservación como son papel, cartón y madera ····· 35
Fotografía 2.4. Residuos de construcción en Carretera antes de entrar a Mineral del Monte ····· 35
Fotografía 2.5. Acopio en centro SICT de Pachuca de señalética metálica residual ····· 36
Fotografía 2.6. Muro de gaviones construido de macizos rocosos fracturados. ····· 37
Fotografía 2.7. En la foto se observa el aprovechamiento de las lajas resultado del derrumbe. ····· 37
Fotografía 2.8. Colocación de caucho en jardinería para controlar la erosión y el drenaje ····· 50
Fotografía 2.9. Deshierbe del derecho de vía manual y mecánico. Carretera 15D. Tramo Mazatlán- Culiacán, en el Edo. de Sinaloa ····· 86
Fotografía 3.1. Capa de riego de sello en una carretera en México ····· 117
Fotografía 3.2. Colocación de mortero asfaltico en una carretera en México ····· 118
Fotografía 3.3. Poste para delimitación del derecho de vía con polímero reciclado, en México. ····· 120
Fotografía 4.1. Sellado de grietas en losas de concreto con asfalto modificado con caucho de llanta pulverizada. Autopista 40D. Arco Norte. Tramo Pachuca-Tulancingo en el Edo. de Hidalgo. ····· 139
Fotografía 5.1. Sustitución de cercado de derecho de vía, con postes fabricados de polímeros reciclados en una carretera de Colombia. ····· 195

Fotografía 5.2. Renivelación de acotamientos (tramo de prueba) con mezcla asfáltica en frío (RAP 100%), en una carretera en el Edo. de Sinaloa, México. ····· 196
Fotografía 5.3. Reconstrucción de bordillos de concreto y con caucho Actividades realizadas en trabajos de conservación de una carretera en México ····· 198
Fotografía 5.4. Construcción de muro de mampostería de protección con material producto de derrumbe de talud. Actividades realizadas en trabajos de conservación de una carretera en México. ····· 199
Fotografía 5.5. Reposición e instalación de señalamiento horizontal (dispositivos reflejantes con materiales reciclados en una carretera en México ····· 200

Prólogo

Las carreteras son y han sido históricamente elementos fundamentales para el desarrollo económico, social y territorial de cualquier nación, por lo que su conservación se convierte en actividades de gran relevancia para este fin. Sin embargo, en el contexto actual, marcado por una crisis ambiental global, estas actividades enfrentan retos inéditos en materia de sostenibilidad. México, con una red carretera que representa una arteria vital para su economía y la integración de su vasto territorio, se encuentra en un momento crucial para redefinir sus estrategias de gestión vial bajo un enfoque que equilibre progreso, sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

El "*Manual para la Conservación de Carreteras bajo el Enfoque de Economía Circular*" surge como una herramienta visionaria y oportuna en este contexto. Este documento no solo responde a los desafíos operativos inherentes al sector carretero, sino que también reconoce la necesidad de adoptar modelos innovadores que mitiguen los impactos ambientales y optimicen los recursos. Al enmarcar sus recomendaciones dentro de la Economía Circular, el manual propone una transformación sistémica que va más allá del reciclaje y la reutilización, invitando a replantear desde los procesos de planeación y diseño de las obras carreteras, hasta la disposición final de los materiales y residuos.

El documento contextualiza su relevancia en un marco político y normativo que comienza a evolucionar. *La Estrategia Nacional de Economía Circular* y las iniciativas legislativas emergentes son evidencia de un cambio de paradigma en la gestión de recursos. Aunando a este progreso normativo, se deben complementar las acciones concretas en el sector carretero, tales como la integración de tecnologías avanzadas de reciclaje, el desarrollo de infraestructura para la valorización de residuos y el diseño de incentivos económicos que impulsen la transición hacia prácticas sostenibles.

Este manual también es un llamado a la colaboración intersectorial. La sostenibilidad en el sector carretero no puede lograrse de manera aislada; requiere de la participación activa de todos los actores involucrados, desde los responsables de la planificación y operación vial, los gobiernos, usuarios, las comunidades locales y el sector privado. Solo mediante una gestión coordinada y una visión compartida será posible materializar el potencial de la Economía Circular en este ámbito.

Por último, el manual subraya que la Economía Circular no solo es una respuesta a los desafíos ambientales, sino también una oportunidad económica. Al reducir costos operativos, optimizar recursos y generar empleos en sectores emergentes, la adopción

de estas prácticas puede transformar al sector carretero en un motor de innovación y desarrollo sostenible.

En definitiva, *el Manual para la Conservación de Carreteras bajo el Enfoque de Economía Circular* es un documento que pretende posicionar a México en la vanguardia de la gestión vial sostenible. Su publicación marca un hito en el camino hacia un futuro donde la infraestructura vial sea sinónimo de resiliencia, eficiencia y respeto por el medio ambiente. Este manual es una invitación y, al mismo tiempo, un desafío para todos aquellos comprometidos con construir un México más sostenible y conectado.



Ing. Laura Suárez Medina
Directora General de Servicios Técnicos

Lista de acrónimos

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Sistema de certificación para evaluar el desempeño ambiental de edificios y proyectos de infraestructura.

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles.

DAP: Declaración Ambiental de Producto. Informe estandarizado que proporciona información sobre el impacto ambiental de un producto durante su ciclo de vida.

DOF: Diario Oficial de la Federación. Publicación oficial del gobierno mexicano donde se publican leyes, reglamentos y disposiciones gubernamentales.

EDGE: Excellence in Design for Greater Efficiencies. Certificación que promueve construcciones sostenibles, especialmente en regiones emergentes, enfocándose en eficiencia energética y uso de recursos.

GyCEI: Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Sustancias responsables del calentamiento global y el cambio climático.

LCA: Life Cycle Analysis, por sus siglas en inglés. Análiaia de Ciclo de Vida. Es una herramienta para analizar el impacto ambiental de un producto o servicio a lo largo de su vida útil. En este manual se utilizará el acrónimo en inglés por ser el más ampliamente utilizado a nivel mundial.

LCCA: Life Cycle Cost Analysis por sus siglas en inglés. Análisis del costo del ciclo de vida es una herramienta que sirve para evaluar las implicaciones financieras de un producto o servicio En este manual se utilizará el acrónimo en inglés por ser el más ampliamente utilizado a nivel mundial.

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design. Sistema de certificación internacional para edificaciones sostenibles.

PET: Polietileno Tereftalato. Tipo de plástico reciclable comúnmente utilizado en envases y textiles.

PVC: Policloruro de Vinilo. Es un polímero termoplástico obtenido a partir de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Usado en la construcción en tuberías y perfiles principalmente.

RAEE: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Residuos provenientes de dispositivos electrónicos al final de su vida útil.

RAP: Recycled Asphalt Pavement por sus siglas en inglés. Pavimiento Asfáltico Reciclado. es un material de construcción obtenido de la recuperación y procesamiento de pavimentos de asfalto antiguos que han sido removidos durante proyectos de reconstrucción, rehabilitación o fresado de carreteras. El RAP está compuesto principalmente por agregados (roca y arena) y un ligante asfáltico, que con el paso del tiempo ha envejecido, pero aún conserva propiedades valiosas que pueden ser aprovechadas

RCD: Residuos de Construcción y Demolición. Materiales residuales generados durante la construcción, renovación o demolición de edificaciones y obras viales.

RCP: Reglas de Categoría de Producto. Directrices que establecen cómo medir y reportar el impacto ambiental de productos en categorías específicas.

RME: Residuos de Manejo Especial. Residuos que requieren un tratamiento especializado por sus características físicas, químicas o biológicas.

RNC: Red Nacional de Caminos. Representación cartográfica digital y georreferenciadas de la infraestructura vial en México.

RP: Residuos Peligrosos. Residuos que representan un riesgo para la salud humana o el medio ambiente debido a su corrosividad, reactividad, toxicidad, explosividad, inflamabilidad o características biológico-infecciosas.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Entidad gubernamental mexicana responsable de diseñar y supervisar políticas ambientales.

SICT: Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (México). Organismo gubernamental encargado de la infraestructura vial y transporte en México.

SDUS: Sustainable Urban Drainage Systems. Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible diseñados para gestionar el agua de lluvia y minimizar impactos ambientales.

Glosario

Análisis de Ciclo de Vida: Herramienta para evaluar el impacto ambiental de un producto o servicio desde la extracción de sus insumos o materiales, producción y uso, hasta su disposición final o reciclaje.

Bioingeniería de taludes: Técnicas que utilizan plantas, materiales orgánicos y estructuras diseñadas para estabilizar taludes, el suelo y reducir la erosión en proyectos de infraestructura vial.

Ciclo Cerrado: Concepto que se aplica en distintos ámbitos, en este manual es el proceso donde se conserva la materia y energía con el entorno resultando en un modelo de producción que busca eliminar los residuos al reutilizar materiales en un bucle continuo de uso y reciclaje disminuyendo la explotación de recursos naturales sostenido por energías renovables así como eliminar o reducir las necesidades energéticas de fuentes no renovables.

Diseño bioclimático: Refiere a un enfoque de diseño y construcción que tiene en cuenta las condiciones climáticas y las características naturales del entorno para optimizar el desempeño ambiental de las infraestructuras viales. Esto incluye el uso de materiales y técnicas que aprovechan las condiciones locales, como la orientación del sol, , las condiciones climatológicas y la vegetación, para mejorar la eficiencia energética, reducir el impacto ambiental y garantizar la adaptación a los cambios climáticos.

Ecodiseño: Proceso de diseño que integra criterios ambientales en el diseño, en la planificación, fabricación y gestión de residuos de productos para minimizar su impacto a lo largo del ciclo de vida.

Economía Circular: Modelo económico que busca mantener los recursos en uso durante el mayor tiempo posible mediante principios y aplicación de técnicas como el rediseño, el reciclaje, la reutilización, la extensión de vida útil entre otros, promoviendo la sostenibilidad ambiental y económica.

Erosión: Proceso de desgaste y transporte de suelos y materiales debido a la acción del agua, viento u otras fuerzas, comúnmente agravado por actividades de construcción.

Impacto Ambiental: Alteración positiva o adeversa sobre el medio ambiente, como consecuencia directa o indirecta de las actividades humanas, como proyectos de infraestructura, que afectan el suelo, agua, aire y biodiversidad o por fenómenos naturales.

Infraestructura Verde: Construcción y mantenimiento de infraestructuras que integran soluciones basadas en la naturaleza para reducir impactos ambientales adversos y promover la sostenibilidad a partir de los impactos ambientales positivos.

IoT: Internet of Things por sus siglas en inglés. Internet de la cosas es un concepto que se refiere a la conectividad entre los objetos de la vida diaria con el internet. El objetivo es permitir que existan comunicación e interacción creando un mundo más interconectado y responsable.

Materias Primas Secundarias: Materiales o subproductos recuperados de procesos productivos que se utilizan como insumos para nuevos procesos productivos, reduciendo la necesidad de materias primas vírgenes.

Minerales Secundarios: Materiales obtenidos del reciclaje de residuos de construcción y demolición, utilizados como sustitutos de recursos vírgenes.

Reciclaje *In Situ*: Procesos de incorporación de materias primas o minerales secundarios en procesos de construcción, conservación o mantenimiento directamente en el sitio de construcción, conservación o mantenimiento para reducir costos de transporte y minimizar impactos ambientales adversos.

Residuo Cero: Enfoque estratégico que busca eliminar la generación de residuos mediante la reutilización, el reciclaje y la optimización de procesos productivos para minimizar el impacto ambiental.

Residuos de Construcción y Demolición (RCD): Materiales resultantes de actividades de construcción, renovación o demolición de obras civiles, incluyendo concreto, madera, asfalto y metales, sujetos a manejo especial

Residuos Orgánicos: Materiales de origen biológico, animal o vegetal y que que tiene la capacidad de descomponerse o degradarse de forma natural a través de la acción de microorganismos. .

Revalorización: Estrategia para maximizar el valor de los residuos a través de su transformación en insumos útiles para otros procesos industriales.

Subproductos: Materiales o residuos secundarios generados durante un proceso de producción que por sus características no pueden ser utilizados en la producción primaria sin una transformación.

Trazabilidad: Capacidad de identificar y registrar el origen, trayectoria, transformación, uso y destino final de materiales, insumos, residuos o emisiones a lo largo de todas las etapas de un proceso productivo o de conservación. En el contexto de la Economía Circular y de la gestión de infraestructura carretera, la trazabilidad permite asegurar el cumplimiento normativo, optimizar el uso de recursos y garantizar la transparencia ambiental y operativa.

Valorización de Residuos: Proceso de transformación de residuos en materiales o recursos útiles para otros procesos o para este mismo a través de la adición de valor.

Vida de servicio. Período durante el cual un elemento, componente o infraestructura cumple con las funciones para las que fue diseñado, manteniendo niveles adecuados de desempeño técnico, funcional y de seguridad. Su duración depende de factores como la calidad de los materiales, las condiciones de operación, el mantenimiento aplicado, el entorno ambiental y los hábitos de uso

Introducción y contexto

La conservación de carreteras en México enfrenta desafíos significativos, derivados de la necesidad de mantener una red carretera extensa, que es vital para el desarrollo económico y social del país. A la vez resulta de gran importancia reducir los impactos ambientales negativos asociados con estas actividades. Este manual surge como una herramienta para incentivar la implementación de buenas prácticas ambientales en el sector carretero, integrando tanto experiencias nacionales, como lecciones aprendidas de otros países para optimizar el manejo de materiales y residuos. La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) ha acumulado un vasto conocimiento en la gestión de infraestructura carretera, y con este manual, se busca canalizar dicho conocimiento hacia prácticas que promuevan la sostenibilidad en el sector.

La creciente urgencia de adoptar prácticas sostenibles en la conservación de carreteras se debe a múltiples factores, entre ellos, la degradación acelerada de los pavimentos por condiciones climáticas e intenso flujo vehicular, la limitada disponibilidad de recursos financieros, los costos crecientes para disposición de residuos y la fuerte dependencia de materiales vírgenes, cuya extracción y uso impactan negativamente el medio ambiente. Estos factores han puesto de manifiesto la necesidad de transitar hacia un modelo de Economía Circular en la infraestructura carretera, donde se busca resolver esta problemática.

Actualmente, en México, la iniciativa de la Ley General de Economía Circular, únicamente se encuentra aprobada por el Senado, este proyecto requiere aun de la aprobación de la Cámara de Diputados para su posterior publicación en el Diario Oficial de la Federación, no obstante, entre sus objetivos principales se encuentra el promover la eficiencia en el uso de productos, servicios, materiales, materias primas secundarias y subproductos a través de la reutilización, el reciclaje y el rediseño. Esta Ley promoverá la participación de las personas físicas y morales en los modelos de Economía Circular y establecerá un Plan de Economía Circular como una herramienta administrativa basada en la responsabilidad que comparten los fabricantes con sus distribuidores y usuarios finales de los productos y servicios, cumpliendo con los principios y criterios de conformidad con la Economía Circular. Paralelamente, la SEMARNAT presentó el documento “Bases para la Elaboración de un Diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México, 2024”, como una guía no obligatoria, pero sí de dirección y de compromisos de desarrollo para el país, que impulsa prácticas circulares, especialmente en la construcción, integrando ecodiseño, reciclaje y eficiencia energética. Este marco

anticipa normativas futuras, alentando el uso de materiales reciclados y fomentando infraestructura sostenible, con beneficios económicos y ambientales que preparan a México para un cambio estructural.

El objetivo de este manual es servir como guía para analizar y aplicar herramientas y procedimientos de vanguardia para impulsar el desarrollo sostenible en el manejo de la energía, materiales y residuos para la conservación de carreteras. Se busca identificar y recomendar alternativas de valorización que permitan reducir, reutilizar, reparar, renovar, recuperar y/o reciclar los materiales de construcción, alineándose con la meta de "residuo cero". Asimismo, la intención de reducir las emisiones de GyCEI e incorporar fuentes de energía renovables alineándose a la meta de "carbono neutro". Estos enfoques contribuyen no solo a reducir el impacto ambiental adverso, sino también a mejorar la eficiencia de los recursos, optimizar el uso de materiales y generación de residuos, extender la vida útil de las infraestructuras y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático.

Implementar buenas prácticas de conservación de carreteras bajo principios de Economía Circular implica una profunda concientización sobre la relevancia de preservar los ecosistemas, la salud pública y la estabilidad económica a largo plazo. Mediante la adopción de tecnologías avanzadas, el uso de materiales reciclados, y la planificación eficiente de recursos, se pretende que las actividades de conservación de carreteras contribuyan a la sostenibilidad del país. El rediseño de procesos hacia un modelo de conservación más resiliente y menos dependiente de materiales vírgenes y fuentes de energía fósil no solo representa una responsabilidad ambiental, sino también una oportunidad para modernizar la infraestructura carretera de México de forma alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Naciones Unidas (2015):

- **Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles**
- **Objetivo 17: Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible y**
- **Objetivo 13: Adaptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.**

La incorporación temprana de estas prácticas puede anticipar, prevenir y preparar poco a poco a la SICT, ante los cambios legislativos que pueden derivarse del enfoque de la Economía Circular. En este sentido el presente manual, es uno de los primeros pasos que tendrá que dar la SICT ante los cambios que se aproximan.

Objetivo

Desarrollar un manual para la conservación ambiental de carreteras que, a partir de la revisión de buenas prácticas ambientales implementadas en México y otros países, así como de la experiencia acumulada por la SICT, sirva como herramienta y guía para promover prácticas sostenibles y de Economía Circular en la conservación de carreteras en México.

Alcances

Analizar diferentes tecnologías y procedimientos a nivel nacional e internacional para el manejo de materiales y residuos asociados con las obras de conservación de carreteras, para identificar y recomendar alternativas de valorización que permitan construir dinámicas de aprovechamiento a través del rediseño, reducción, reutilización, reparación, renovación, recuperación y/o reciclaje, con miras a la aproximación del concepto “residuo cero” y/o “carbono neutro”.

Relevancia del manual para el sector carretero en México

Este manual se presenta entonces como un paso hacia un futuro en el que la conservación de carreteras no solo sea eficiente y económico, sino también consciente del entorno y socialmente responsable. Su correcta implementación y adopción pueden posicionar a México como un referente en la gestión sostenible de infraestructura carretera, demostrando que es posible armonizar el desarrollo con la protección del medio ambiente. En este sentido, adquiere una relevancia estratégica en México debido a los desafíos ambientales y socioeconómicos asociados con la infraestructura vial. En el contexto de los lineamientos establecidos en el documento Bases para la Elaboración de un Diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México, 2024 (SEMARNAT, 2024), se subraya que la construcción de infraestructura vial se encuentra entre las actividades económicas con mayor impacto ambiental debido al alto consumo de recursos y la generación de residuos. Este sector, que abarca actividades como la producción de acero, cemento y otros materiales esenciales para las carreteras, contribuye significativamente a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GyCEI) y a la contaminación ambiental.

La relevancia del manual radica en su capacidad para establecer directrices específicas que promuevan prácticas sostenibles dentro del sector. Estas prácticas buscan mitigar los impactos ambientales y optimizar el uso de recursos mediante la adopción de principios de Economía Circular. En particular, se destacan los siguientes argumentos clave que refuerzan su importancia:

- **Mitigación de Emisiones de GyCEI y Huella Material:** Según la SEMARNAT (2024), la industria de la construcción contribuye directamente al 10% de las emisiones de GYCEI nacionales y genera más de 11 millones de toneladas de Residuos de Manejo Especial (RME) anualmente, muchas veces depositados en sitios no controlados. Un manual enfocado en la Economía Circular permite establecer lineamientos para reducir estos impactos, como el reciclaje de materiales de pavimentación y la reutilización de residuos en proyectos de infraestructura. Este enfoque no solo disminuye la huella ambiental del sector, sino que también crea oportunidades para el aprovechamiento de recursos secundarios.
- **Optimización de Recursos y Promoción de Materiales Sostenibles:** La implementación de prácticas como el uso de concreto reciclado en subbases y el procesamiento de residuos en hornos cementeros detallada en el diagnóstico de la SEMARNAT, representa una herramienta clave para transformar el sector. El manual, al estandarizar estas prácticas, asegura que los proyectos carreteros contribuyan a

reducir el consumo de materiales vírgenes y promuevan la transición hacia materiales sostenibles, como cementos bajos en carbono.

- **Gestión de Residuos y Economía Circular:** La relevancia del manual también se centra en su capacidad para cerrar los ciclos de materiales mediante estrategias como la reutilización de RCD y la gestión eficiente de plásticos y aditivos derivados de las actividades de mantenimiento. Estas acciones no solo previenen la contaminación de suelos y cuerpos de agua, sino que también fomentan la creación de mercados digitales para subproductos de construcción y materiales reciclados, alineados con las tendencias globales de sostenibilidad.
- **Fomento de la Resiliencia y la Adaptación Climática:** La infraestructura carretera es un componente esencial de la resiliencia urbana y rural frente al cambio climático. El manual establece una conexión directa entre la conservación, y la resiliencia de los entornos al promover prácticas como el diseño bioclimático, considerar registros climatológicos actualizados en el diseño de obras de drenaje, el control de erosión y la estabilización de taludes con soluciones basadas en la naturaleza. Esto no solo reduce la vulnerabilidad de las carreteras frente a eventos extremos, sino que también garantiza su funcionalidad a largo plazo.
- **Preparación ante Cambios Normativos:** En un contexto donde la Economía Circular se posiciona como un eje central en las políticas públicas internacionales, el manual actúa como una herramienta que prepara al sector para cumplir con normativas futuras. Además, su implementación anticipada puede facilitar el acceso a incentivos fiscales y programas de financiamiento internacional alineados con las metas de sostenibilidad de México.

1. Fundamentos y enfoque de la economía circular aplicados a la conservación de las carreteras

En esta sección se explicarán los fundamentos de la Economía Circular y cómo estos pueden ser aplicados al contexto de la conservación de carreteras. Este concepto se ha ilustrado en el denominado "diagrama de la mariposa" (Figura 1.1), que expresa los flujos de los bienes tecnológicos en el ala derecha y los flujos de los bienes naturales en el ala izquierda. En el centro el proceso productivo que inicia con el consumo de materiales finitos, combustibles y materiales renovables y no renovables para iniciar con el proceso de producción de insumos para la producción de bienes y servicios y terminan con la gestión al término de la vida útil o de servicio. En esta etapa última es dónde se insertan las principales estrategias de la Economía Circular: extensión de vida útil, reutilización, remanufactura, reacondicionamiento, reciclaje (en los flujos tecnológicos) y extracción de subproductos bioquímicos, digestión anaerobia para la producción de biogás, gestión de energías renovables a partir de la biomasa (en los flujos del capital natural). Este modelo generalizado pretende cambiar la economía de "usar, consumir y desechar" por uno en el que los desechos se convierten en los insumos nuevamente de los bienes y servicios producidos o para otros sectores o industrias.

1.1. Introducción a la economía circular

La Economía Circular es un modelo de producción y consumo sostenible que se basa en tres principios (Ellen MacArthur Foundation, 2024) y que se han adaptado para este manual para la conservación de carreteras. Es importante agregar que los principios de Economía Circular son aplicables a todas las etapas del desarrollo de la infraestructura:

1. Eliminar o disminuir los residuos y la contaminación desde el diseño y en todo el ciclo de vida del servicio
2. Promover ciclos cerrados en las actividades de conservación y modernización, manteniendo su utilidad y valor el mayor tiempo posible.
3. Regenerar los recursos naturales que dan origen a los materiales o que son impactados por las actividades de conservación, mantenimiento y modernización incorporando fuentes de energía renovables y disminuyendo el consumo de fuentes de energía no renovable.

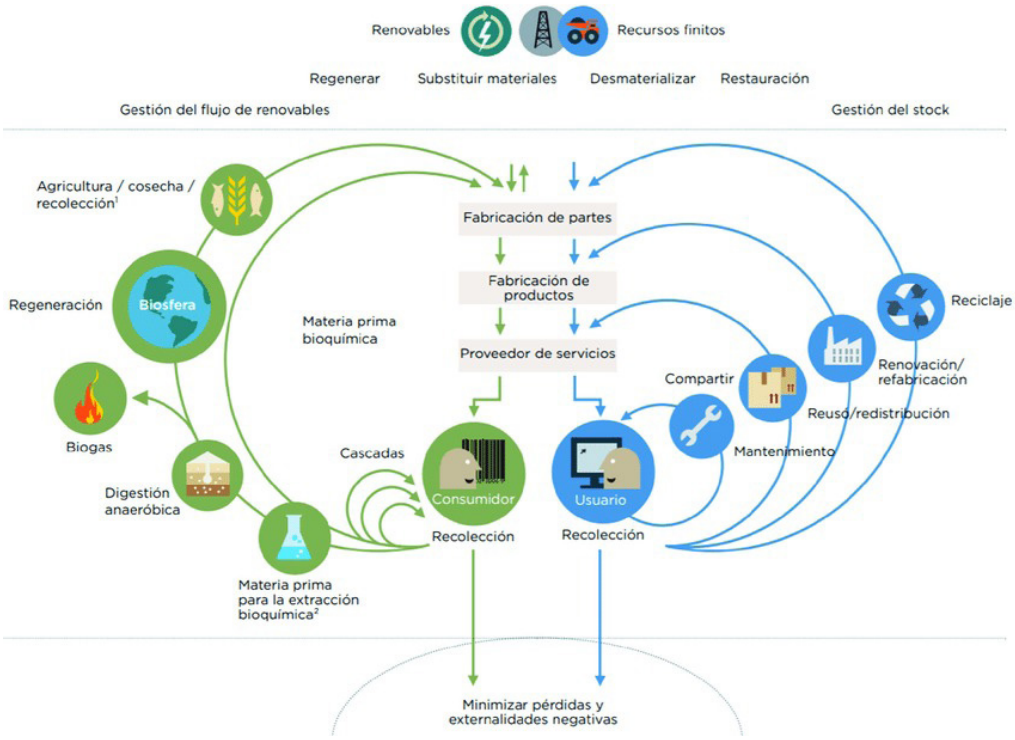


Figura 1.1.
Diagramas de mariposa de la economía circular
Fuente: (Fundación Ellen MacArthur)

La aplicación de estos tres principios requiere el uso de distintas herramientas en todas las etapas del ciclo de vida de carreteras. Estos principios tienen como objetivo crear sistemas restaurativos y regenerativos por diseño y durante todo el ciclo de vida, de forma análoga en como ocurre en los ciclos naturales y biogeoquímicos. Al cerrar los ciclos y mantener los recursos en uso el mayor tiempo posible, se busca reducir la presión sobre el medio ambiente, disminuir las emisiones de carbono y fomentar la eficiencia económica, contrastando con el modelo lineal tradicional que sigue el principio de "extraer, usar y desechar".

La implementación de la Economía Circular ofrece múltiples beneficios tanto ambientales como económicos. Entre los principales beneficios ambientales se encuentran:

- La reducción de residuos,
- La conservación de recursos naturales,
- La disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y,
- La creación de nuevos mercados y empleos a partir de la reutilización y reciclaje de materiales.

Estos beneficios promueven un desarrollo sostenible y una mayor resiliencia económica y ambiental.

En el contexto de la conservación de carreteras, la Economía Circular implica un uso más eficiente de los recursos disponibles, favoreciendo la reutilización, reciclaje y

valorización de materiales. En este sentido, la transición hacia una infraestructura vial más sustentable requiere el fortalecimiento de políticas de I+D+i (Investigación, Desarrollo e innovación) que impulsen nuevas tecnologías, materiales reciclados y prácticas sostenibles en la conservación de carreteras. Esto incluye prácticas como el reciclaje de capas de asfalto y concreto, lo que disminuye la demanda de materias primas vírgenes, reduce los impactos ambientales asociados a su extracción y procesamiento, y optimiza los costos del mantenimiento vial. Asimismo, puede extenderse al uso de materiales más sustentables en otros elementos de la infraestructura, como pinturas con bajo contenido de compuestos volátiles o señalización fabricada con materiales reciclados o reciclables. La (Figura 1.2). adaptada por la Fundación CONAMA (2018), representa un modelo de Economía Circular Economía Circular aplicado al sector de la construcción. En ella, las actividades de conservación se destacan en color verde, y puede observarse cómo estas interactúan con los procesos de obra nueva a través de la adecuada gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD). La gráfica también indica puntos estratégicos donde herramientas como el ecodiseño y el análisis del ciclo de vida (ACV) pueden integrarse para mejorar la sostenibilidad en todas las fases del proyecto.

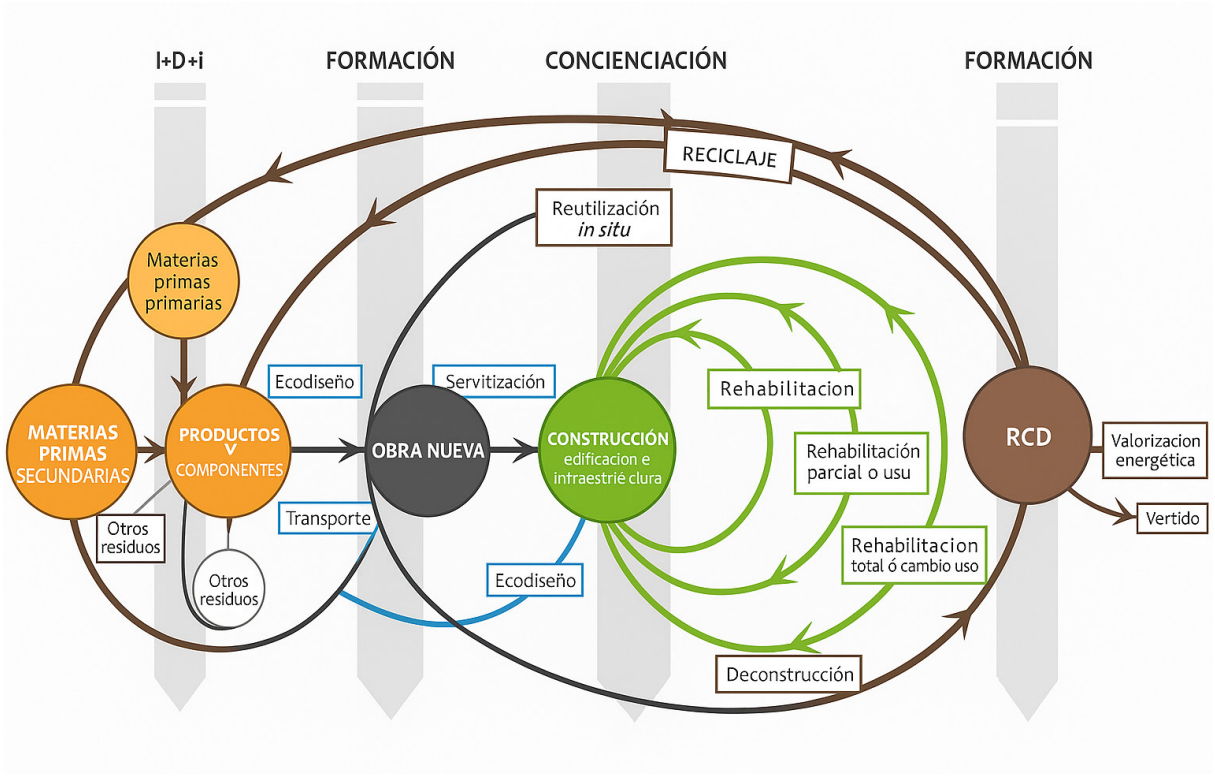


Figura 1.2.
Esquema de la economía circular para el sector de la construcción
Fuente: (Fundación CONAMA, 2018)

No obstante, es importante no perder de vista que la Economía Circular no solo se centra en el flujo de materiales. La Figura 1.3. propone un enfoque más holístico,

integrando la gestión del capital natural (agua, aire, suelo, biodiversidad), el capital mineral (ciclo material) y el capital social (infraestructura, conocimientos, costos e inversiones), mostrando cómo estos interactúan con los ciclos naturales y productivos. Este esquema enfatiza la necesidad de transitar hacia modelos de infraestructura vial que también consideren el flujo energético, la resiliencia ecosistémica y el desarrollo humano sostenible.

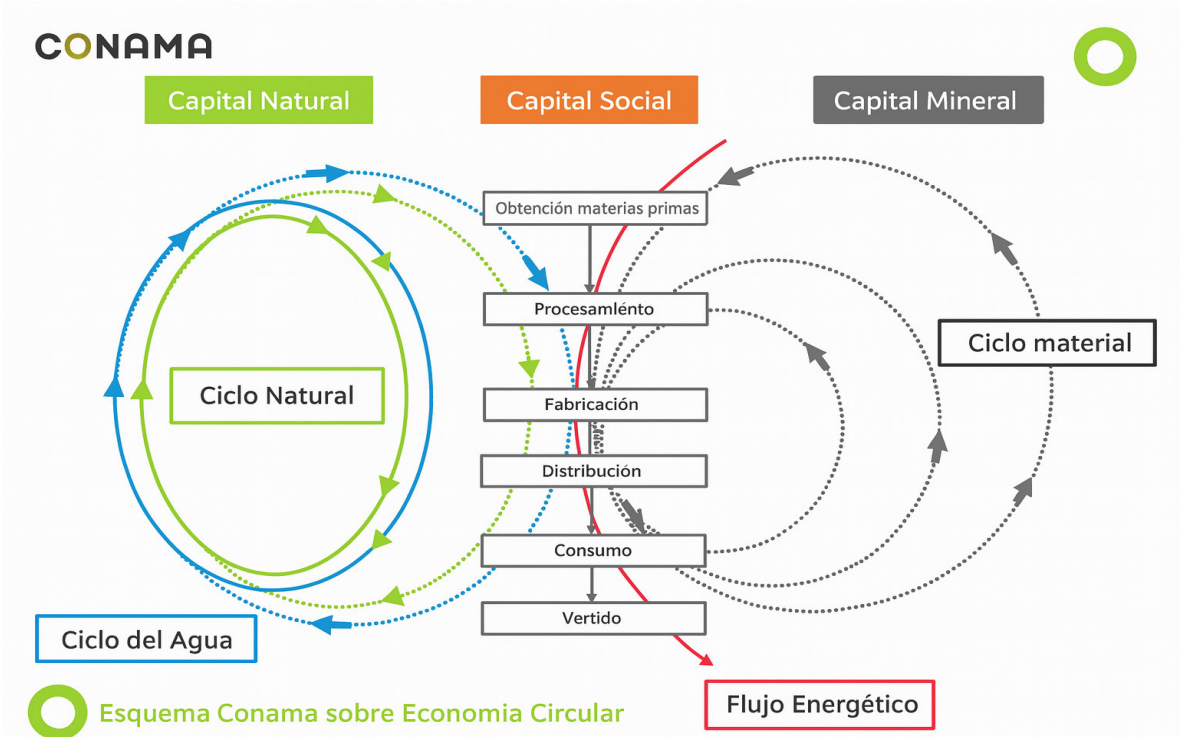


Figura 1.3.
Esquema general sobre la economía circular
Fuente: (Fundación CONAMA, 2018)

En el diagrama se aprecia en qué etapas del ciclo de vida de la construcción de carreteras es necesario considerar algunas herramientas como el ecodiseño o el análisis de ciclo de vida (ACV);). El análisis del ciclo de vida ACV y de Costo de Ciclo de Vida (CCV) son metodologías que intentan identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto, considerando varias opciones o alternativas de un «bien» (producto, tecnología, obra, servicio, suministro, etc.) para seleccionar la más conveniente desde el punto de vista medioambiental y económico, respectivamente (Romero, 2003; Perelli, y Parra, 2017).

De acuerdo con Zapata *et al.* (2021) las etapas esenciales dentro del ACV son:

1. Definir los alcances y objetivos que se quieren abordar con el estudio a ejecutar.
2. Análisis del inventario, el cual contiene todos los datos, tanto de entrada como de salida.

3. La evaluación de los impactos, que comprende cómo afecta cada uno de los elementos del inventario en el ambiente.
4. La interpretación, que consiste en evaluar cada uno de los datos de salida obtenidos durante el análisis, con el fin de concluir y plantear mejoras.

Para definir los alcances y objetivos se deben plantear al menos dos alternativas: una sin la aplicación de criterios de circularidad y la otra, con los criterios de circularidad.

Para hacer el análisis de inventarios se utiliza la metodología de Entradas, Proceso/ Actividad y Salidas.

Los aspectos considerados se describen a continuación:

- Las entradas: Principalmente enfocado en el uso de recursos y materias primas (transporte, energía, electricidad, combustible, etc.).
- Las salidas: Tales como las emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que resulten.

También, esto permite identificar los impactos ambientales potenciales, los cuales se pueden identificar y cuantificar en cada una de las actividades de conservación o en los procedimientos constructivos de la construcción de obras, tanto en las entradas como en las salidas.



Figura 1.4.
Determinación de impactos ambientales desde el inventario de entradas y salidas.
Elaboración propia.

Para llevar a cabo el inventario de insumos materiales y de energía en cada una de las actividades de conservación, mantenimiento o en los procedimientos constructivos, se deben identificar los distintos insumos y los residuos generados desde la producción del material de construcción hasta su uso en cada etapa. Esta identificación es fundamental para aplicar metodologías como el ACV o el Análisis del Costo del Ciclo de Vida (ACCV). Según Perelli y Parra (2017), las principales etapas del ciclo de vida en la construcción se ilustran en la siguiente figura:

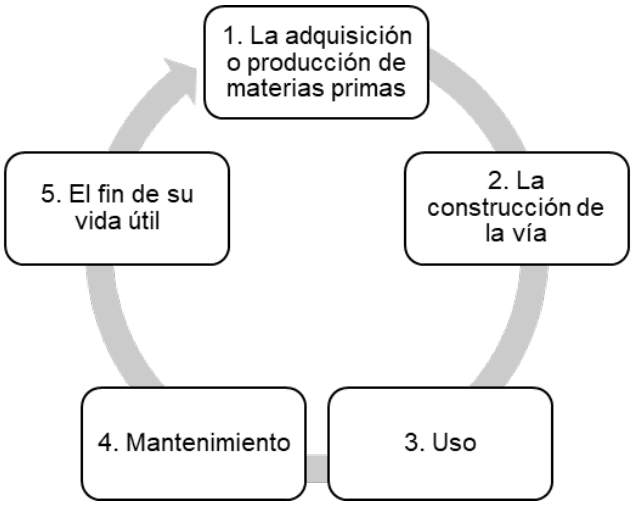


Figura 1.5.
Fases que componen los proyectos viales
Fuente: (Santero *et al.*, 2011).

Aplicando este análisis de inventario en todas las etapas del ciclo de vida, se identifican y cuantifican los insumos utilizados, así como los residuos y emisiones generados durante todo el procedimiento constructivo o en la actividad de conservación correspondiente (Figura 1.6).

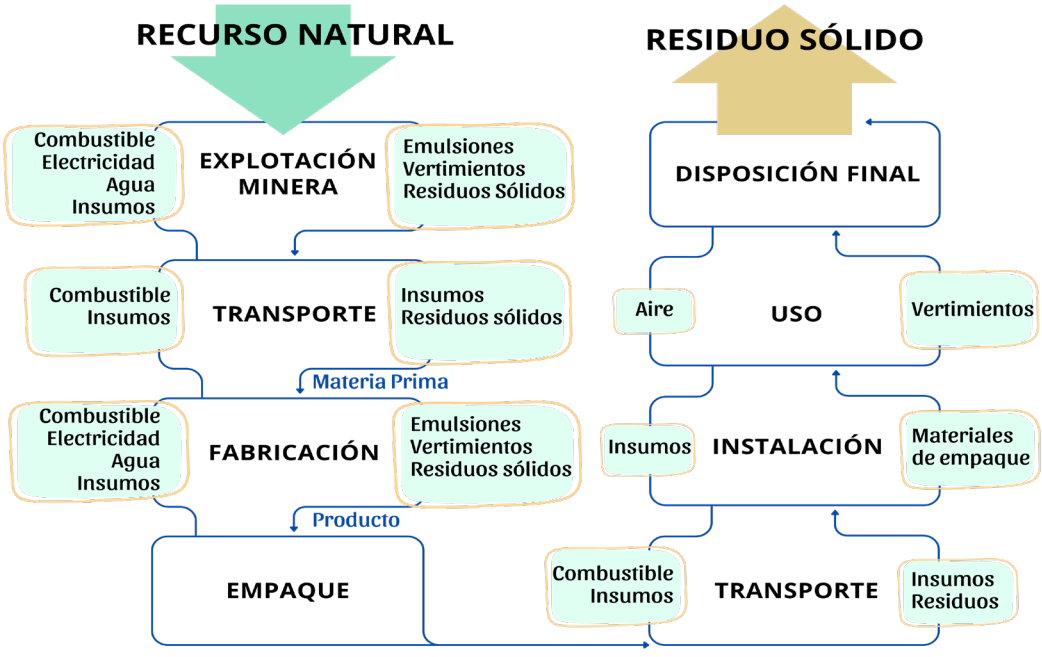


Figura 1.6.
Inventario de entradas y salidas durante todo el procedimiento constructivo.
Fuente: (Romero, 2003).

Una vez elaborado este inventario se puede hacer la evaluación del impacto en cada etapa. En el caso de la etapa conservación es importante considerar las intervenciones realizadas: al medio ambiente, los suelos, los cuerpos de agua y al entorno que la rodea; por ejemplo: la contaminación sónica, que perturba y afecta la calidad de vida en la población cercana; el efecto barrera en algunos tramos que dividen propiedades, variaciones en la permeabilidad del lugar; derrame de aceite quemado de los equipos y maquinaria, debido a la falta de mantenimiento, lo que puede provocar la contaminación del agua que abastece a las poblaciones cercanas; entre otras situaciones (Bueno et al., 2016).

Las fases para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto varían en función de las diversas técnicas, criterios diferentes para la caracterización y asignación de impactos y el inventario de las entradas y salidas. Usualmente los indicadores más evaluados son el consumo energético total, el consumo de recursos (renovables y no renovables), la producción de residuos y las emisiones de GyCEI.

El LCCA (análisis del costo del ciclo de vida) es una herramienta de análisis basada en principios económicos que permite evaluar diversas alternativas de inversión en infraestructura. Esta técnica incorpora los costos iniciales y los costos futuros disminuidos que se asocian al ciclo de vida de cada una de las alternativas consideradas, con el fin de identificar el mejor valor o el costo más bajo a lo largo del tiempo. Para la implementación del LCCA, Martínez-Murillo y Olaya-Morales (2019) sugieren su implementación en los pasos que se ilustran en la siguiente figura:

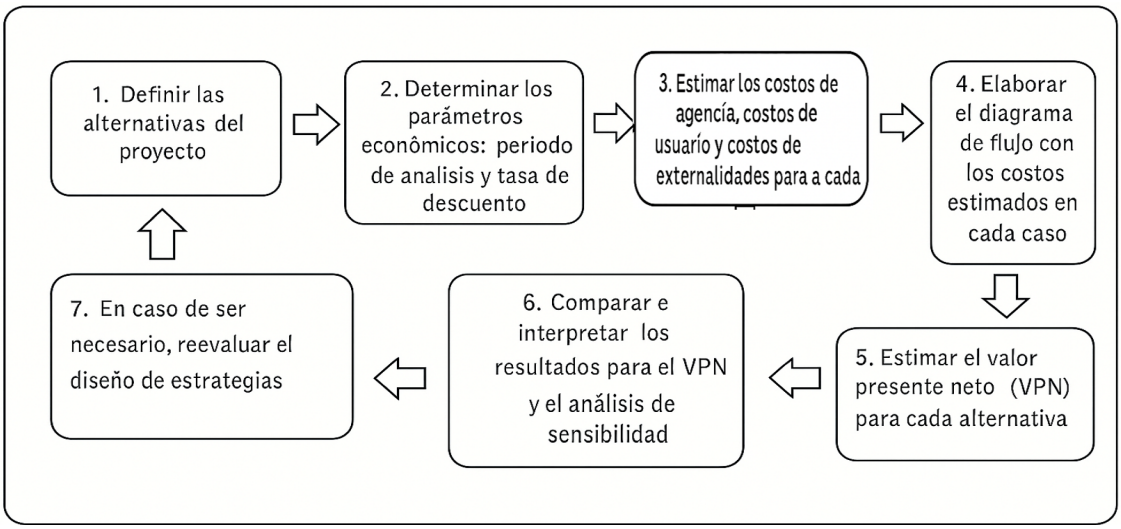


Figura 1.7.
Pasos para la implementación del LCCA.
Fuente: Martínez-Murillo y Olaya-Morales, 2019).

En los proyectos viales, se deben considerar las 5 fases que la integran: adquisición, construcción, uso, conservación y fin de vida útil.

De acuerdo con Martínez-Murillo y Olaya-Morales (2019) el LCCA considera tres tipos de costos:

- Costos de agencia (conservación de carreteras): son los costos en los que incide la entidad ejecutora del proyecto vial por concepto de inversión de capital inicial durante la etapa de construcción o diseño y posteriormente, en procesos asociados a rehabilitaciones sucesivas, reconstrucciones y mantenimientos.
- Costos de usuario: son los costos que asumen los usuarios de la vía, e incluyen los costos de operación vehicular, costos por demoras en el tránsito, por siniestros en la vía y costos asociados a la seguridad vial.
- Costos de externalidades: son los costos asociados a la contaminación, el cambio climático, el agotamiento del medio ambiente, el ruido, la calidad del aire, así como la calidad del suelo, derivados de la ejecución del proyecto vial que generalmente no se ven reflejados.

Estos costos tienen que verse reflejados en cada una de las actividades durante todo el ciclo de vida del producto o servicio al mismo tiempo que los impactos ambientales. Esto permite asociar la gestión ambiental al resultado económico.

1.2. Principios clave y objetivos de la conservación de las carreteras en la economía circular

Una vez que las carreteras se degradan con el tiempo tanto por su exposición al ambiente como por su uso, se inicia el ciclo de rehabilitación o reconstrucción y una vez más, se requieren recursos, tiempo y esfuerzo sustanciales para llevar la carretera a su estado de uso original. Este ciclo de construcción, degradación y rehabilitación se puede extender en su vida de servicio si se presta atención a la conservación de las carreteras. La conservación es una actividad que prolongan la vida de las carreteras existentes, con el consiguiente ahorro de tiempo y recursos que de otra manera tendrían que utilizarse en la planificación, la rehabilitación, o las obras de reconstrucción. Se estima que, si no se reparan los daños de una carretera, toda una sección de la carretera puede fallar por completo, lo que requeriría de reconstrucción completa con un valor tres veces o más del costo promedio del mantenimiento (Burningham y Stankievich 2005).

Huamaní Arone et al., (2022) describen la conservación de la carretera como la actividad periódica y planificada que tiene como finalidad prevenir sustituciones y modificaciones, parciales o totales de un elemento, logrando así la conservación de sus propiedades y funciones. Identifica dos tipos principales de la conservación; por un lado, se encuentra la conservación preventiva y por el otro la conservación correctiva.

El primero planifica los procedimientos técnicos y administrativos para conservar en un estado óptimo la infraestructura y se anticipa al deterioro que puede presentarse en las carreteras, este se lleva a cabo de manera programada y es de gran importancia debido a que la depreciación de los activos de infraestructura no es lineal, motivo por el cual la conservación muy tardía ya no puede revertir los daños en muchos casos.

Por otro lado, la conservación correctiva lo define como las acciones que se llevan a cabo para reparar fallos y desperfectos específicos que se presentan en una carretera.

Entre las áreas más importantes que deben monitorearse y programarse actividades de conservación se incluyen las siguientes:

- Pavimento, cuerpo, taludes y derecho de vía:
  1. La superficie de rodadura y el derecho de vía deben estar libres de obstrucciones, basura, escombros, y animales muertos.
  2. Los deterioros en el pavimento deben ser inexistentes.
  3. La vegetación en el derecho de vía no debe exceder la altura especificada.
  4. Ningún árbol debe obstruir la visibilidad o representar un peligro para la seguridad.
  5. Los taludes deben estar libres de material suelto y deben estabilizarse utilizando vegetación u otros medios.

- Puentes y estructuras:
  1. Los puentes no deben presentar daños estructurales, además de permanecer libres de basuras y escombros.
  2. Las juntas de calzada deben de estar libres de basura, gravilla y sedimentos para su correcta función.
  3. Los parapetos, pretiles y los pasamanos de los puentes deben estar limpios, pintados, y claramente visibles.

- Túneles y obras viales :
  1. Los muros de contención deber estar en buenas condiciones estructurales.
  2. Los túneles deben ser estructuralmente adecuados, además de permanecer libres de basuras y escombros.
  3. Los pasos para fauna deben estar en buenas condiciones estructurales, además de permanecer libres de basuras y escombros.

- Obras de drenaje:
  1. Las alcantarillas deben estar libres de escombros o sedimentos.
  2. Las estructuras de drenaje superficial deben estar libres de sedimentos o escombros.
  3. Los lechos de los ríos deben limpiarse hasta una cierta distancia de los bordes de la carretera.

- Señalización y dispositivos de seguridad:
  1. Las señales de tránsito, horizontales y verticales deben estar completos, limpios y funcionales.
  2. Los dispositivos de seguridad, como barreras de protección, indicadores de alineamiento, etc., deben de estar completos, limpios y funcionales.

El objetivo de la conservación de las carreteras es mantener las condiciones de servicio, las cuales, de llevarse a cabo y adecuadamente, contribuyen a extender la vida útil de servicio de la infraestructura, que es parte del segundo principio de la Economía Circular (mantener el valor el mayor tiempo posible). La Asociación Mundial de la Carretera y el Comité Técnico AIPCR (2016), destaca tres niveles de intervenciones clave en la conservación de las carreteras:

- El mantenimiento periódico inicial

- Mantenimiento periódico secundario, y
- Reconstrucción total.

En este sentido, sabemos que:

1. **Deterioro progresivo:** La condición de la carretera comienza siendo razonable, pero se degrada con el tiempo debido al uso constante, la carga vehicular y factores ambientales (como clima y humedad). Esta curva descendente representa el deterioro natural si no se realizan intervenciones oportunas.
2. **Mantenimiento periódico inicial (a los 7 años):** Al cabo de un tiempo inicial (aproximadamente 7 años), es esencial realizar un mantenimiento periódico para restaurar parcialmente la calidad de la carretera. Si se lleva a cabo esta intervención a tiempo, se evita un mayor deterioro y los costos asociados son menores.
3. **Mantenimiento periódico secundario (a los 14 años):** Después de una segunda fase de desgaste, se requiere nuevamente una intervención periódica similar a la inicial. Este ciclo de mantenimiento permite extender la vida útil de la carretera sin necesidad de recurrir a una reconstrucción total, que sería más costosa.
4. **Reconstrucción total (a los 20 años):** Finalmente, si el mantenimiento periódico no es suficiente o no se realiza a tiempo, la carretera alcanzará un estado pobre que requerirá una reconstrucción completa. Este proceso implica mayores costos económicos, mayores tiempos de ejecución y mayor impacto ambiental.

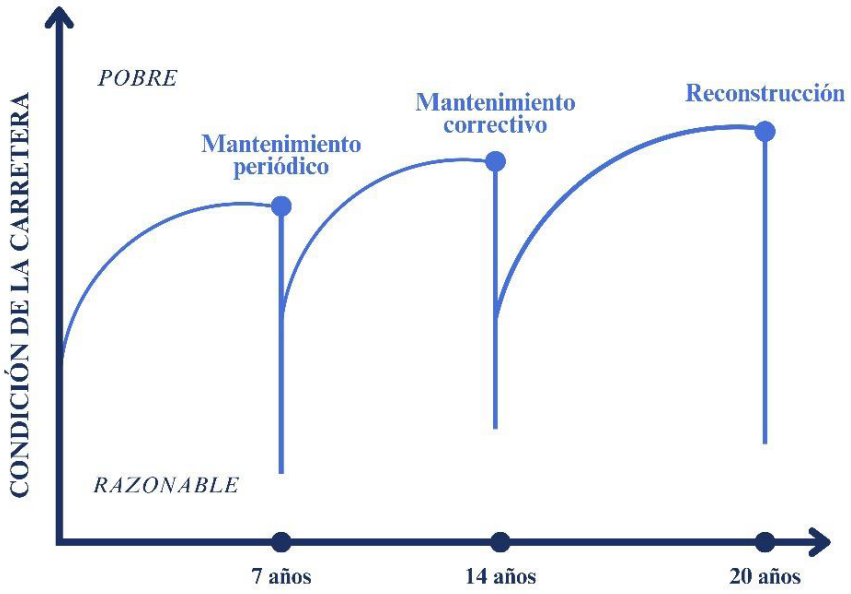


Figura 1.8.
Deterioro e intervenciones de la carretera
Fuente:: (AIPCR (2016)

La gráfica subraya la relevancia de la conservación preventiva, correctiva y de reconstrucción como estrategia fundamental para conservar la infraestructura vial en condiciones óptimas. En este sentido, al intervenir antes de que el deterioro sea extremo, se logra:

- **Extender la vida de servicio de la carretera,** reduciendo la frecuencia de reconstrucciones.
- **Optimizar los recursos financieros,** ya que el mantenimiento periódico es significativamente más económico que una reconstrucción total.
- **Reducir impactos sociales, económicos y de seguridad** derivados de cierres prolongados o deficiencias en las carreteras, como siniestros viales, retrasos en el transporte de bienes y servicios, y problemas en la conectividad de las comunidades.
- **Minimizar el impacto ambiental,** evitando la extracción intensiva de nuevos materiales y los residuos asociados a las reconstrucciones completas.

En el contexto, del enfoque de Economía Circular, esta gráfica también muestra la oportunidad de:

1. Incorporar energías renovables y reducir el consumo de energía fósil.
2. Reducir la cantidad de residuos
3. Incorporar materiales reciclados y reutilizados para disminuir los primarios.

La implementación de estas prácticas, junto con políticas ambientales públicas en materia de Economía Circular, podría optimizar aún más los recursos y fortalecer la sostenibilidad del sector carretero en México.

La conservación de carreteras es fundamental para evitar el deterioro acelerado de la infraestructura, reducir costos futuros y garantizar la seguridad vial. Las carreteras estratégicas, aunque representan una pequeña parte de la red vial, concentran un alto volumen de tránsito, especialmente de vehículos pesados, lo que demanda acciones de conservación específicas y priorizadas. Un ejemplo de ello lo encontramos en Nueva Zelanda, donde el 10% de su red estratégica atiende el 50% del tránsito total (Asociación Mundial de la Carretera, 2014).

El omitir la conservación de las carreteras puede generar graves riesgos, como aumento de siniestros viales, deterioro grave del pavimento, y señalización deficiente. Además, incrementa el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, afectando tanto al medio ambiente como a la salud pública (ASEFMA, s/f). El cambio climático también intensifica los desafíos en diferentes climas, desde inundaciones en zonas tropicales hasta el retiro de hielo en regiones frías. Por ello, integrar prácticas sostenibles y enfoques innovadores es clave para minimizar estos impactos.

1.3. Beneficios ambientales, sociales y económicos de la economía circular en la conservación de las carreteras

La implementación de la Economía Circular en la conservación de carreteras no solo representa una evolución en el manejo de recursos, sino también un compromiso con la sostenibilidad ambiental, social y económica. Este enfoque busca maximizar el

aprovechamiento de materiales, reducir la generación de residuos y promover la reutilización y el reciclaje de insumos y residuos a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida de las carreteras, así como reducir el consumo de energía fósil, incorporar energías renovables y restaurar o conservar la naturaleza de donde se extrajeron desde el diseño hasta el mantenimiento y reconstrucción. Su adopción implica un cambio de paradigma, alejándose del modelo lineal tradicional de "extraer, usar y desechar", hacia un sistema regenerativo que extiende la vida útil de los recursos (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

En el aspecto ambiental, la Economía Circular contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tanto al incorporar energías renovables como al reducir el consumo de energía fósil, así como al disminuir la necesidad de materiales vírgenes para producir el asfalto o el concreto, cuyas cadenas de producción son altamente intensivas en carbono, al incorporar materiales secundarios recuperados. Por ejemplo, la reutilización del asfalto fresado en nuevas mezclas reduce tanto el consumo de energía como las emisiones asociadas al transporte y procesamiento de materiales nuevos. Asimismo, el reciclaje y el diseño ecológico permiten minimizar la generación de desechos de construcción, evitar la acumulación de residuos en rellenos sanitarios y bancos de tiro y proteger ecosistemas sensibles adyacentes a las carreteras (FHWA, 2020).

Desde un punto de vista social, estas prácticas mejoran la calidad de vida de las comunidades cercanas a las infraestructuras viales. Al reducir la contaminación atmosférica y acústica durante los procesos de mantenimiento, se disminuye la exposición de las personas a condiciones adversas para su salud. Además, la Economía Circular fomenta la creación de empleos en sectores emergentes, como el reciclaje de materiales de construcción y el desarrollo de tecnologías limpias, generando nuevas oportunidades económicas para las comunidades locales (SEMARNAT, 2022).

En el plano económico, la Economía Circular ofrece beneficios a largo plazo al reducir los costos de mantenimiento y conservación de las carreteras. La durabilidad mejorada de las carreteras construidas con materiales reciclados o tecnologías avanzadas disminuye la necesidad de intervenciones frecuentes, optimizando el uso de los recursos financieros. Países como Alemania y Estados Unidos ya han demostrado que el uso de pavimentos reciclados y técnicas como el reciclaje en frío, no solo reducen costos operativos, sino que también mejoran la eficiencia de las operaciones y la seguridad vial al minimizar interrupciones en el tránsito (EAPA, 2016; FHWA, 2020).

En términos operativos, incorporar principios de Economía Circular en la conservación y construcción de obras carreteras implica el uso de materiales reciclados, como agregados y asfaltos reutilizables, el diseño de sistemas de drenaje integrales y sostenible y la implementación de tecnologías para la gestión eficiente de recursos (SEMARNAT, 2022). Por ejemplo, la adopción de algunos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) puede optimizar el flujo vehicular y reducir emisiones. Estas iniciativas deben complementarse con una planificación adecuada y la capacitación del personal encargado, asegurando que las prácticas se integren de manera efectiva en el día a día de la operación carretera.

Para que esta transición sea exitosa, es fundamental establecer marcos regulatorios claros y sólidos que promuevan la Economía Circular en el sector carretero. La

legislación debe incentivar la innovación y el desarrollo tecnológico, al tiempo que garantice estándares de calidad y sostenibilidad en la construcción y mantenimiento de carreteras. También es crucial realizar estudios de viabilidad y análisis de impacto para demostrar los beneficios tangibles de estas prácticas y generar apoyo entre los actores clave del sector.

En conclusión, la Economía Circular no solo es una herramienta eficaz para enfrentar los retos ambientales, sociales y económicos de la conservación de carreteras, sino que también abre camino hacia una infraestructura carretera más resiliente, eficiente y sostenible. Si se planifica e implementa adecuadamente, este enfoque puede transformar las carreteras en un componente clave para un desarrollo sostenible, alineado con las metas nacionales e internacionales de sostenibilidad y mitigación del cambio climático (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

2. Análisis de la situación actual de la conservación de las carreteras en México

Considerando la urgente necesidad de incorporar prácticas de Economía Circular en el sector carretero en nuestro país, para efectos del presente documento, se identificaron y clasificaron las actividades que se realizan actualmente en los procedimientos de conservación de las carreteras; incluyendo recomendaciones referentes a la aplicación, adaptación y rediseño en estas prácticas y procedimientos orientadas hacia una Economía Circular. Se realizó una investigación y búsqueda bibliográfica exhaustiva en diferentes fuentes de información, además de recopilar la información de las experiencias de funcionarios de la SICT. Para obtener y homologar la información, se realizaron visitas de campo, donde se identificaron áreas potenciales y prácticas que promueven la Economía Circular en las actividades rutinarias como en aquellas de conservación periódica y rehabilitación. Se llevaron a cabo cálculos estadísticos para la estimación de la generación de residuos, con el objetivo de identificar los principales materiales y residuos generados en las prácticas de conservación. Asimismo, se identificaron y clasificaron los principales residuos generados por las prácticas actuales generales de conservación de carreteras, así como su disposición final y análisis del impacto ambiental. Esto con el objetivo de entender y valorar, de forma general, la situación que se tiene en estos momentos y su manejo en la conservación de carreteras, para identificar el potencial y áreas de oportunidad en el marco de una Economía Circular

2.1. Reseña histórica de la conservación de las carreteras en México

La infraestructura carretera, como una herramienta clave para el desarrollo socioeconómico, ha enfrentado la necesidad de alinearse con políticas ambientales que promuevan su integración dentro de un modelo de desarrollo sostenible. En este sentido, en la década de 1980, la reestructuración de la *Dirección General de Conservación de Obras Públicas* y el *Programa de Modernización Administrativa* fortalecieron la capacidad de mitigar los impactos ambientales generados por estas obras. Este enfoque se consolidó en 1988 con la *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*

(LGEEPA), donde quedó plasmado como requisito, la evaluación de impacto ambiental en la infraestructura vial. En este sentido, en apego a la fracción I artículo 28 de la LGEEPA e inciso B del artículo 5 de su Reglamento en materia de evaluación del impacto ambiental, las obras y actividades relacionadas con vías generales de comunicación, tales como la construcción de carreteras, autopistas, puentes o túneles federales vehiculares, se sujetarán a la evaluación y autorización en materia de impacto ambiental. Estas transformaciones no solo han mejorado el sistema de conservación de carreteras, sino que también han preparado a México para llegar a la actual condición en las políticas ambientales, donde se ha visto la necesidad de integrar esquemas de desarrollo cada vez más compatibles con el medio ambiente y que permitan el desarrollo del país, como lo son las prácticas de Economía Circular; un enfoque que actualmente es clave para reducir el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos en el sector carretero. Este concepto hoy en día avanza con la política ambiental y estará regulando próximamente a las formas en cómo se opera la construcción en el país. En este sentido, actualmente en México, la iniciativa de la Ley de Economía Circular a nivel federal fué aprobada por el Senado de la República el 17 de noviembre del 2021 (Cámara de Senadores, 2021), y está pendiente de ser publicada en el *Diario Oficial de la Federación*, en donde se tiene como objetivo mantener el valor de los productos, materiales y recursos en el ciclo económico.

2.2. Situación legal actual en términos de la economía circular y su vinculación con las prácticas de conservación y rehabilitación de las carreteras

Además de la iniciativa de la *Ley General de Economía Circular* a nivel federal mencionada, algunos estados de la República Mexicana ya cuentan con una ley sobre esta materia o en otros casos, han realizado reformas a leyes referentes a los residuos para incluir algunas disposiciones al respecto.

Aunado a lo anterior, en algunas entidades se identificó que cuentan con normas estatales referentes al tema de los residuos, como es el caso de Ciudad de México y el Estado de México.

Es fundamental señalar que la transformación de un sistema económico lineal hacia uno circular (con base en la experiencia de los países que ya han avanzado con resultados relevantes) está definida en dos etapas:

1. Etapa de transición: Se centra en la eficiencia en el uso de recursos, la maximización del reaprovechamiento de materiales y flujos residuales, así como en la mitigación de impactos socioambientales mediante la transferencia tecnológica y la optimización de los sistemas productivos existentes. En el contexto nacional, esta etapa puede considerarse entre los años 2021 y 2030, en alineación con las metas de mitigación del cambio climático y de Economía Circular.
2. Etapa de adopción: Implica la implementación plena del modelo de Economía Circular, sustentada en una gestión sostenible de los recursos. Se caracteriza por el desacoplamiento de los impactos socioambientales negativos —como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes equivalentes

(GyCEI)— respecto del crecimiento económico. Esta etapa requiere un marco estructural que guíe ambos procesos y genere condiciones propicias para que las industrias y la economía nacional aceleren la transición. Se proyecta su consolidación a partir de 2031 y con horizonte al año 2050.

Considerando que el marco regulatorio para la Economía Circular desempeñará un papel fundamental como instrumento habilitador en la transformación del modelo de desarrollo económico del país, este deberá incorporar un enfoque claro que:

1. Potencie la adopción de tecnologías limpias, así como la implementación de nuevos modelos de negocio y estrategias de producción y consumo sustentables.
2. Desincentive y/o sancione aquellas prácticas de producción y mercado que generen altos impactos socioambientales.

Hasta el momento, la SEMARNAT ha publicado el documento, "*Bases para la Elaboración de un Diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México, 2024*", el cual busca orientar la transición hacia un modelo económico sostenible en el país. Este diagnóstico es un marco de referencia que se posiciona como una guía estratégica para identificar áreas críticas, establecer prioridades y proponer lineamientos de política pública que promuevan la implementación de la Economía Circular. En el sector de la construcción, esto significa integrar prácticas que optimicen el uso de materiales, reduzcan la generación de residuos y fomenten el reciclaje y la reutilización en las cadenas productivas. Si bien no se trata de un instrumento regulatorio, el documento actúa como un referente político para normativas y regulaciones futuras, estableciendo un punto de partida para políticas obligatorias que podrían derivar de esta estrategia. En este sentido, para el sector de la construcción, el documento marca como potencial de circularidad del sistema de la construcción los siguientes lineamientos:

- La democratización en la generación de energía renovable mediante la instalación de sistemas de autogeneración o generación distribuida en edificaciones e infraestructura pública o privada.
- La sustitución de combustibles fósiles por combustibles de bajas emisiones o biocombustibles, dentro de los procesos de fabricación de materiales de la industria de la construcción.
- La sustitución de tecnologías obsoletas o contaminantes por sistemas inteligentes que aseguren la eficiencia energética, hídrica y el confort de las Infraestructuras.
- La construcción de infraestructura verde, infraestructuras bajo criterios de diseño bioclimático para una gestión sustentable de los recursos energéticos, hídricos y materiales.
- El desarrollo de ecosistemas para la gestión especializada y revalorización de materias secundarias procedentes de corrientes residuales como los Residuos Peligrosos (RP), Residuos de Manejo Especial (RME), Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y Residuos de la Construcción y Demolición (RCD).
- Ecodiseño y desarrollo de materiales y productos bajos en carbono para la industria de la construcción.
- La implementación de sistemas de medición, monitoreo y trazabilidad digital de las edificaciones e infraestructura pública y privada.

- El desarrollo de Reglas de Categoría de Producto (RCP) y Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para fabricantes de la industria de la construcción, a través de la infraestructura de la calidad.
- La expansión de los procesos de certificación de materiales, sustancias y productos para la construcción sustentable y mantenimiento de edificaciones.
- La certificación de inmuebles que operan o fueron construidos bajo criterios de circularidad y construcción sustentable -BREEAM, LEED, EDGE, entre otras certificaciones.
- La actualización de los reglamentos de construcción que incorporen disposiciones para la adopción de criterios de diseño bioclimático y construcción sustentable, según la región donde se localicen.
- El desarrollo de instrumentos financieros para la construcción o adquisición de vivienda sustentable.
- La reconversión tecnológica de los sistemas logísticos mediante vehículos de bajas emisiones, eléctricos o híbridos.

En conclusión, la adopción de este documento en el sector carretero marca un hito hacia una infraestructura más sostenible. La SEMARNAT, al trazar directrices claras, anticipa un cambio profundo en la forma en que los sectores gestionan recursos y residuos, lo cual incluye la conservación de carreteras.

Con la implementación de estas políticas, el sector se verá impulsado a reducir su dependencia de materiales vírgenes y a adoptar una visión integral para el manejo de residuos. El documento de SEMARNAT implica que, en breve, la legislación mexicana promoverá el uso de materiales reciclados en lugar de la extracción constante de recursos naturales, estableciendo estándares específicos para la reutilización de materiales provenientes de obras viales. Este cambio demandará que las empresas y los organismos gubernamentales responsables de la infraestructura carretera, integren nuevas tecnologías y procesos para asegurar que los materiales cumplan con los estándares de seguridad y durabilidad que requiere la red.

La incorporación temprana de estas prácticas no solo anticipa, previene y prepara poco a poco a los cambios legislativos, además de reducir los posibles costos derivados de una implementación tardía, sino que también ofrece beneficios adicionales, como el potencial acceso a incentivos fiscales y programas de apoyo, alineados con las metas de sostenibilidad de México. En este sentido el presente manual, muestra algunos de los primeros pasos que tendremos que dar en la gestión de las carreteras, ante los cambios que se aproximan.

2.3. Análisis de la red carretera en general

A lo largo de los últimos años se ha logrado incrementar la longitud de las redes de comunicación vial, sin embargo, al concluir su construcción es necesario evaluar y dar continuidad a actividades que garanticen el óptimo estado físico y la condición de servicio de las carreteras y caminos, de esta manera se garantiza la competitividad y la promoción del desarrollo local y regional.

De acuerdo el Anuario Estadístico del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes 2023 se cuenta con los siguientes datos respecto a red carretera federal:

La longitud total de la red carretera corresponde a 916,078 km resultado de la suma de carreteras pavimentadas + vialidades/enlaces + caminos.

La siguiente tabla desglosa las carreteras y caminos pavimentados:

Tabla 2.1.
Kilómetros de las carreteras y caminos pavimentados en México.
Elaboración propia con datos de Instituto Mexicano del Transporte (2025)

Carreteras pavimentadas: 179,536	
Carreteras federales	51, 311 km
Carreteras estatales	104, 040 km
Otros caminos	24,185 km

Existen múltiples causas que generan la reducción de la vida útil de las carreteras, así como el aumento de costos de tarifa de servicio público, la operación, la dificultad del acceso de la población o bien la inseguridad vial. Dentro de las causas se encuentran:

- Falta de mantenimiento: mediante acciones periódicas o de respuesta inmediata para evitar el deterioro o colapso del pavimento.
- Sobrecarga de vehículos: presión excesiva por tránsito de vehículos pesados.
- Utilización de un material inadecuado o de baja calidad.
- Diseño deficiente: si fueron diseñadas para un flujo de tránsito anterior o si tienen un diseño obsoleto.
- Deficiencia en el sistema de drenaje: dando paso a la filtración de agua.
- Incidencia de fenómenos naturales (erosión, inundaciones, y sismos).
- Geometría de la carretera (topografía accidentada, curvas agudas).
- Volumen de tránsito excesivo.
- Pavimento antiguo sin conservación, subrasante de calidad deficiente, deterioro de juntas, espesor inadecuado para el tránsito presente, problemas de calidad de la capa base, entre otros.
- Condiciones climáticas: exposición del pavimento a lluvias y humedad o bien a temperaturas. extremas, de frío a calor, y viceversa.

Lo anterior, representa los desafíos que afectan de manera directa en las actividades de conservación de carreteras e impiden atender adecuadamente las necesidades del camino, mismas que se esquematizan en la siguiente figura:

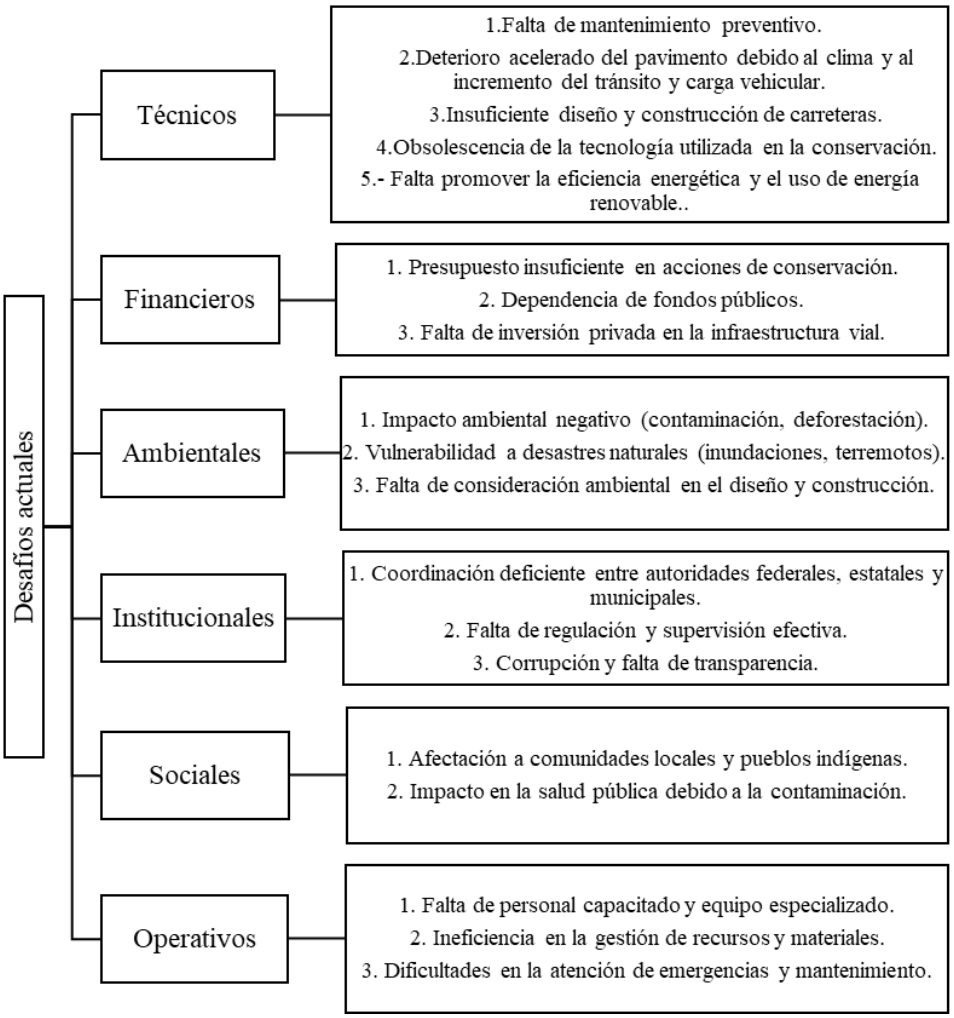
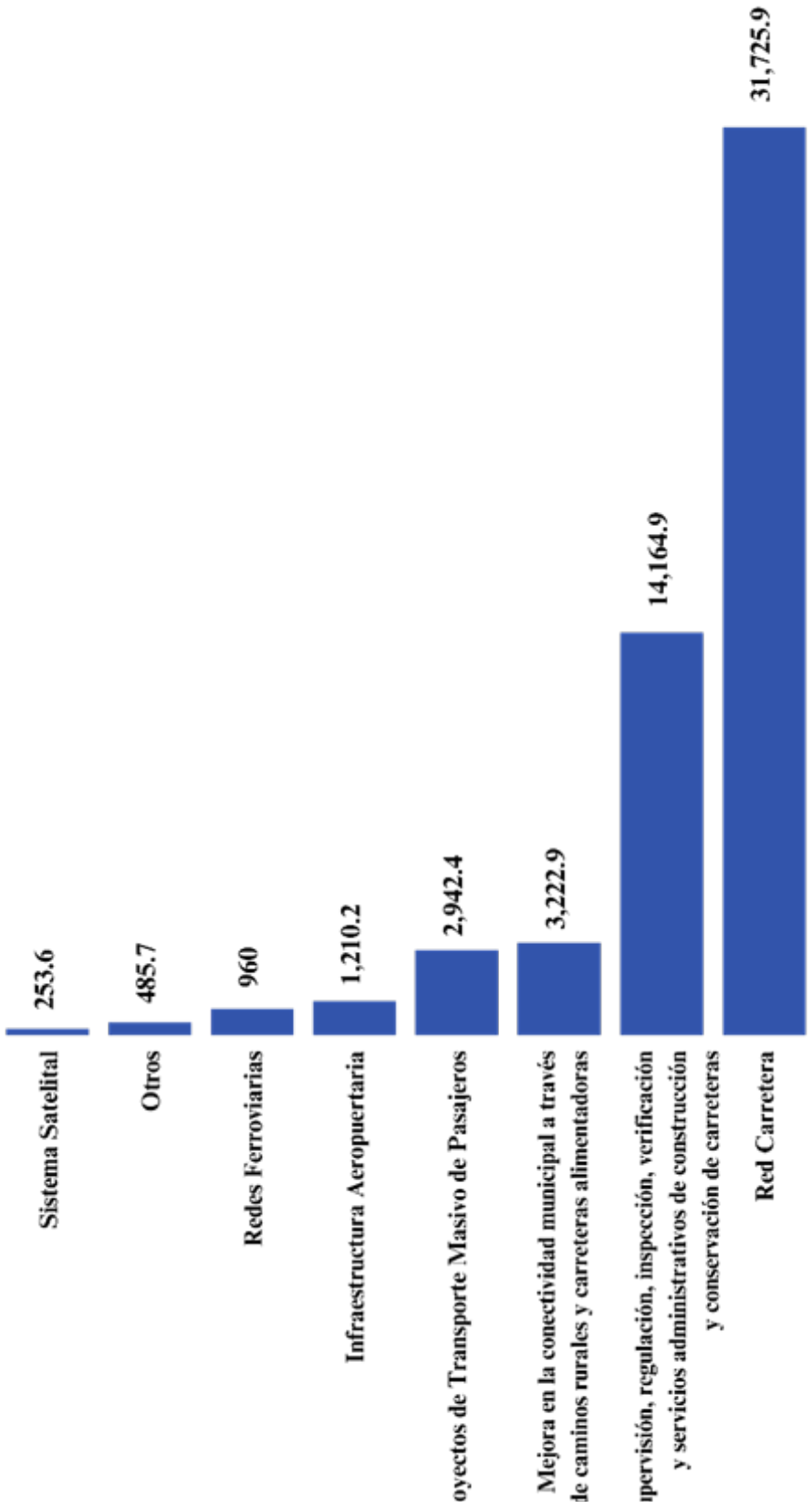


Figura 2.1.
Desafíos y problemas actuales en la conservación de las carreteras.
Fuente: (IMT, 2020; SICT, 2020; Gobierno de México, 2019).

Como se observa en la Gráfica 2.1, la Red Carretera concentra la mayor parte del presupuesto de inversión de la SICT en 2023 (31,725.9 millones de pesos), seguida por los servicios de supervisión, regulación, inspección y conservación (14,164.9 millones). Sin embargo, de acuerdo con datos del Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP, 2024), la inversión destinada específicamente al mantenimiento de carreteras representa apenas el 14% del presupuesto total de la SICT, lo que indica una disparidad entre la expansión de infraestructura y su conservación efectiva. Esta situación revela desafíos persistentes en el desarrollo sostenible del sistema carretero nacional, con implicaciones técnicas, financieras, ambientales e institucionales que deben ser atendidas de forma integral.



Gráfica 2.1.
Distribución del Gasto de Inversión en Proyectos de la SICT, 2023
(Millones de pesos).

Un enfoque circular permitiría, por ejemplo, reducir la dependencia de materiales vírgenes mediante el reciclaje de asfalto y concreto, minimizar el impacto ambiental de las actividades de mantenimiento, y promover la eficiencia en la gestión de recursos al reducir los residuos generados en el proceso. Esta estrategia no solo contribuiría a reducir la huella ecológica del sector, sino que también tendría beneficios económicos a largo plazo al reducir los costos de materiales y alargar la vida útil de las infraestructuras viales (Gobierno de México, 2019).

2.4. Experiencias del sector en términos de economía circular

La conservación de carreteras en México requiere una variedad de materiales y recursos, como son los materiales pétreos, asfalto, cemento, agua, acero estructural, acero de refuerzo, y madera para cimbras. Sin embargo, un desafío recurrente señalado es la falta de información detallada en los catálogos de conceptos, que están orientados a obra terminada y no incluyen la cuantificación de los materiales empleados durante las actividades.



Figura 2.2.
Planta de Asfaltos en Mineral del Monte donde se observan los principales materiales de construcción.
Fuente: Elaboración propia.

Otro desafío es el uso de equipos importados para la recuperación de asfalto mediante fresado y emulsificación en frío. Las especificaciones para estos materiales y procesos están publicadas en la normativa de conservación de carreteras, aunque varían según el contrato y dependen de la disponibilidad de equipos de los contratistas adjudicados.

Otro punto crítico es la ausencia de información sobre el consumo de agua en ciertos procesos. Por ejemplo, aunque los catálogos de conceptos permiten estimar el

agua utilizada para riegos de control de polvo, generalmente no se hace registro del agua consumida en la elaboración de concreto, ya que las verificaciones se hacen sobre conceptos terminados y no sobre los materiales empleados. Tampoco se requiere, como parte de las actividades de supervisión, conocer el origen de la fuente de agua, información que resulta importante para incorporar un esquema de Economía Circular en la actividad.

En cuanto a emisiones de GyCEI, se realizan estimaciones cuando se presenta una manifestación de impacto ambiental, lo cual no es obligatorio en las actividades de conservación y mantenimiento, por lo que generalmente no se cuenta con estos datos; lo que limita el seguimiento y control de las emisiones generadas en estos procesos. Asimismo, aunque en algunos tramos se implementa iluminación con paneles solares, usualmente no se realiza un registro del consumo energético asociado a estas tecnologías. Los datos disponibles se restringen al consumo de diésel y energía eléctrica en casetas de cobro y en luminarias urbanas a cargo de la SICT, pero no existe un inventario exhaustivo de insumos o materiales consumidos, lo que constituye un importante insumo para el armado de estrategias de Economía Circular.

Con base a las experiencias descritas anteriormente, se proponen las siguientes acciones de mejora:

1. Desarrollo de Inventarios de Materiales e Insumos: Implementar un sistema de registro que cuantifique los materiales e insumos utilizados en cada proyecto.
2. Monitoreo de Consumos: Establecer mecanismos para medir el consumo de recursos como agua y energía, tanto convencional como renovable.
3. Gestión de Emisiones: Ampliar las estimaciones de GyCEI de las actividades de conservación para identificar oportunidades de reducción.
4. Modificar catálogos de conceptos. Acompañar los catálogos de conceptos con especificaciones detalladas de los materiales requeridos y su trazabilidad

A partir de las entrevistas realizadas con personal clave de la SICT, se identificaron diversas prácticas, avances y limitaciones en la incorporación de criterios de sostenibilidad y Economía Circular en las actividades de conservación de carreteras.

En esta sección se detallan los hallazgos más relevantes organizados en subtemas estratégicos como biodiversidad, eficiencia energética, trazabilidad, gestión de residuos, electromovilidad, entre otros. La jerarquización propuesta tiene como fin facilitar la comprensión de las áreas clave y las oportunidades de mejora en la operación actual del sector carretero.

2.4.1. Conservación de biodiversidad

Existen esfuerzos y limitaciones en la gestión de flora y fauna en las carreteras, siendo evidente un enfoque dual en el manejo de biodiversidad, es decir, existen acciones reactivas en la etapa de conservación, y estrategias más estructuradas en la etapa de construcción, aunque estas últimas están sujetas a condicionantes de la manifestación de impacto ambiental (MIA).

Monitoreo y manejo de fauna

En cuanto al monitoreo de poblaciones de flora y fauna, los resultados muestran un enfoque limitado. Por ejemplo, en el tramo Carretera 85, Ciudad Valles – Tamazunchale , San Luis Potosí, la implementación de señalización de cruce de fauna y pasos específicos (como drenajes transversales) es destacable, ya que contribuyen a la mitigación de siniestros viales relacionados con fauna silvestre. Sin embargo, el monitoreo formal de estas poblaciones está ausente en las etapas de conservación, restringiéndose a la etapa de construcción. Esto sugiere una dependencia de acciones reactivas, como el rescate y reubicación de fauna cuando existen reportes de avistamiento.

Conservación de flora y servicios ambientales

Respecto a la conservación y mejora de servicios ambientales brindados por áreas revegetadas o reforestadas, se observan avances significativos en la integración de drenajes como pasos para fauna y el uso de mallas y vegetación en taludes para evitar el cruce de especies por la vialidad. En Huasca de Ocampo, el revestimiento de taludes con vegetación y el invernadero en Cuchilalpan para la producción de especies nativas representan prácticas prometedoras de compensación ambiental. Sin embargo, estas actividades están vinculadas a condicionantes de las MIA y no forman parte de un programa integral de conservación en etapas posteriores.

Si bien se han implementado prácticas relevantes por parte de la SICT y otras autoridades, su continuidad y consolidación durante la etapa de conservación aún enfrenta desafíos importantes. Uno de los principales es la limitada intervención o acuerdos de colaboración en áreas fuera del derecho de vía, lo cual puede restringir la efectividad de las estrategias de conservación, particularmente en regiones donde los ecosistemas colindantes requieren un manejo coordinado para mantener la conectividad biológica y la provisión de servicios ecosistémicos.

Para fortalecer el impacto positivo en la biodiversidad y avanzar hacia una conservación más integral y sostenible, se recomienda:

- Establecer Programas de Monitoreo Continuo: Implementar sistemas de monitoreo de flora y fauna a lo largo del ciclo de vida del proyecto, priorizando especies protegidas y su conectividad biológica.
- Ampliar la Gestión de Áreas Aledañas: Promover acuerdos de colaboración con comunidades y propietarios de terrenos colindantes para extender las acciones de conservación más allá del derecho de vía.
- Fortalecer la Capacitación del Personal: Incluir formación especializada en la conservación de biodiversidad para el personal y contratistas encargados de la conservación
- Desarrollar Políticas de Conservación Integral: Incorporar la conservación de biodiversidad como un componente explícito en los contratos de conservación carretera.

2.4.2. Gestión de residuos

En relación a la gestión de residuos, especialmente en actividades de conservación de carreteras se detectó la implementación de revestimientos verdes en taludes, los cuales ayudan a mitigar la erosión y a reducir el arrastre de sedimentos hacia obras de drenaje como cunetas y alcantarillas. Por ejemplo, en el tramo Carretera 85, Ciudad Valles – Tamazunchale, San Luis Potosí, esta técnica está en sus primeras etapas mediante guías de mallado, mientras que en la carretera federal Mex-105, Pachuca-Huejutla, en el Estado de Hidalgo la cual forma parte del Corredor Intertroncal México-Pachuca– los taludes ya están recubiertos casi en su totalidad utilizando geomallas. Sin embargo, estas iniciativas no han sido acompañadas por estrategias específicas para la reducción y aprovechamiento de residuos orgánicos generados en estas actividades.



Fotografía 2.1.
1Revestimiento de talud mediante guías.
Fuente: Recorridos de campo, carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale, San Luis Potosí, México



Fotografía 2.2.
Revestimiento de taludes mediante la siembra directa sobre geomalla.
Fuente: Recorridos de campo, carretera federal Mex-105, Pachuca-Huejutla, en el Estado de Hidalgo la cual forma parte del Corredor Intertroncal México-Pachuca–Tampico, Hidalgo, México

El derecho de vía representa un área clave con oportunidades de mejora en la gestión de residuos. Actualmente, la limpieza de estos espacios se realiza a través de contratos que contemplan la recolección general de basura, sin una separación previa, lo cual limita la posibilidad de aprovechar los materiales recolectados. Durante los recorridos se observaron residuos generados por usuarios, contratistas y vecinos en las laterales de las carreteras, lo que pone de manifiesto la necesidad de contar con contenedores apropiados y estrategias de separación y tratamiento en sitio.

Asimismo, se identificaron residuos propios de actividades de conservación —como papel, cartón, madera y escombros—, que aunque son recolectados, podrían integrarse a esquemas de valorización si se aplicara una estrategia de economía circular. Fortalecer este componente permitiría no solo reducir la presión ambiental, sino también mejorar la eficiencia operativa de los trabajos de mantenimiento.



Fotografía 2.3.

Residuos típicos de obras menores de conservación como son papel, cartón y madera.

Fuente: Recorridos en campo, en Carretera 85.

Ciudad Valles – Tamazunchale,Chicaxtitla, San-Luis Potosí, México



Fotografía 2.4.

Residuos de construcción en carretera antes de entrar a Mineral del Monte

Fuente: Recorridos de campo, carretera federal Mex-105, Pachuca-Huejutla, en el Estado de Hidalgo la cual forma parte del Corredor Intertroncal México-Pachuca–Tampico, Hidalgo, México

En el manejo de residuos peligrosos se identifican oportunidades para fortalecer la capacitación del personal encargado de su disposición. Si bien no se observó evidencia de formación específica en esta materia, se reconoce que en los campamentos de conservación se almacenan materiales como chatarra metálica y señalización vial en desuso. Estos elementos representan un potencial valioso para integrarse a esquemas de Economía Circular, mediante procesos de recuperación, reciclaje o reacondicionamiento, contribuyendo así a la sostenibilidad operativa del sector. Por otro lado, el uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) fue identificado como una práctica que permite reciclar hasta el 100% de material en algunos casos, aunque generalmente se combina con materiales nuevos en proporciones que oscilan entre el 10% y 50% según las necesidades del proyecto.



Fotografía 2.5.
Acopio en centro SICT de Pachuca de señalética metálica residual

Además, es alentador que existen oportunidades de reutilización de materiales residuales. Por ejemplo, los macizos rocosos provenientes de estabilización y corte de taludes se han empleado en la construcción de muros gaviones o en mezclas asfálticas e hidráulicas. En el tramo de la carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale ,Chicaxtitla, San-Luis Potosí, México, parte del material generado por un derrumbe fue reutilizado por la comunidad para fabricar lajas, mientras que los residuos metálicos provenientes de puentes retirados fueron donados a la población local.



Fotografía 2.6.
Muro de gaviones construido de macizos rocosos fracturados.
Fuente: Recorridos de campo en la Carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale a la altura de Santiaguillo

Sin embargo, es necesario crear estrategias estructuradas para la gestión de residuos. La mayoría de los desechos se manejan bajo conceptos generales de limpieza y en algunos casos, se depositan en rellenos sanitarios municipales. No se identificaron prácticas comunes de venta o valorización de residuos, ni un aprovechamiento sistemático de los materiales generados en actividades de conservación y mantenimiento. Esto subraya la necesidad de desarrollar políticas integrales y capacitaciones específicas para fomentar una gestión eficiente y alineada con los principios de Economía Circular.



Fotografía 2.7.
En la foto se observa el aprovechamiento de las lajas resultado del derrumbe.
Fuente: Recorridos de campo en la Carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale a la altura de Santiaguillo

Actualmente, la gestión de residuos en la construcción y conservación de carreteras enfrenta limitaciones importantes debido a la ausencia de registros sistemáticos sobre los volúmenes, tipos y condiciones de los materiales generados. Esta falta de información dificulta su caracterización y limita las posibilidades de implementar estrategias de valorización.

Contar con sistemas de monitoreo y registro confiables permitiría no solo mejorar la trazabilidad y eficiencia en su manejo, sino también identificar materiales susceptibles de ser reaprovechados en sitio o por comunidades locales. En contextos donde la infraestructura para el tratamiento de residuos es limitada, como ocurre en muchas regiones del país, esta práctica representa una oportunidad clave para avanzar hacia modelos más sostenibles y circulares. Adicionalmente, se debe explorar el potencial de colaboración con empresas locales especializadas en el manejo de residuos, así como con aquellas que puedan utilizar estos materiales como materia prima para sus procesos. Por ejemplo, residuos como concreto triturado, materiales metálicos y sedimentos de obras de drenaje podrían ser valorizados en sectores como la construcción o la agricultura, promoviendo un modelo de Economía Circular.

Finalmente, es necesario desarrollar programas de capacitación dirigidos al personal operativo y administrativo, tanto del sector público como privado, para fomentar una cultura de gestión sostenible de residuos. Esto incluye la incorporación de normativas específicas que regulen la clasificación, manejo y disposición final de los residuos, así como incentivos para las empresas que adopten prácticas circulares. En México, esto representa una oportunidad significativa para optimizar recursos, reducir costos y mitigar los impactos ambientales de las obras viales.

2.4.3. Eficiencia energética y emisiones

Actualmente, existen amplias oportunidades para fortalecer la eficiencia energética en la gestión y conservación de carreteras, a través de la adopción de tecnologías y políticas innovadoras. Un enfoque proactivo en esta área puede generar mejoras significativas tanto en la sostenibilidad ambiental como en la optimización de recursos.

Es necesaria una implementación de medidas, tecnologías, y políticas que promuevan la eficiencia energética en la conservación de carreteras de forma estratégica para promover el uso de tecnologías renovables y la reducción de emisiones GyCEI, tanto en la gestión diaria como en la planificación de proyectos viales. Adoptando soluciones modernas y sostenibles, tales como el uso de maquinaria eficiente, que procure la optimización de combustibles, o sistemas avanzados de gestión energética.

Adquiriendo equipos con certificación de eficiencia energética, como vehículos, maquinaria o sistemas de iluminación. Esto podría ser un punto crítico de mejora, ya que la actualización del equipo a opciones más eficientes podría disminuir significativamente el consumo energético y las emisiones.

En este mismo sentido, implementar programas de capacitación en eficiencia energética, en hábitos de conducción de flotillas, para el personal dedicado a las actividades de conservación. Además de planificar la incorporación de espacios y servicios para la

electromovilidad en la infraestructura vial actual y sistemas de generación de energía eléctrica, con fotoceldas, para la iluminación en túneles o casetas entre otros podría coadyuvar a la transición energética. Esto representa una oportunidad considerando las tendencias globales hacia la descarbonización de la infraestructura.

Además podría considerarse la adopción de tecnologías híbridas para disminuir el consumo de diésel en los generadores eléctricos de respaldo o de soporte, los cuales son rentados y usados frecuentemente en las actividades de conservación. Adicionalmente, los vehículos utilitarios dedicados a actividades de supervisión podrían ser sustituidos de forma gradual con vehículos híbridos o eléctricos para disminuir el impacto ambiental adverso.

2.4.4. Conservación rutinaria y periódica

En México, las acciones de conservación vial se ejecutan principalmente mediante contratistas, a través de licitaciones o adjudicaciones directas. Si bien este modelo ha permitido la continuidad operativa, aún existen áreas de oportunidad para fortalecer el seguimiento técnico en campo y generar datos estratégicos que impulsen la eficiencia y sostenibilidad del sistema.

Para avanzar hacia una conservación alineada con los principios de economía circular, es fundamental incorporar herramientas de monitoreo que permitan registrar con mayor precisión el uso de combustibles, volúmenes y tipo de residuos, desempeño de maquinaria y costos asociados a la disposición de materiales.

Actualmente, los residuos de conservación —especialmente los provenientes de sistemas de drenaje, pavimentos y señalamiento— no siempre reciben tratamiento o separación adecuada, lo que limita su aprovechamiento. Si bien se han dado pasos importantes como la reutilización de asfalto fresado (RAP), otros materiales como el concreto aún carecen de directrices claras para su valorización.

Implementar lineamientos técnicos, capacitar a los equipos de obra, y promover soluciones locales para el manejo de residuos, puede contribuir a una conservación más resiliente, eficiente y en armonía con los objetivos de sostenibilidad nacional.

2.4.5. Políticas y procedimientos

El sector carretero en México carece de un marco robusto que integre la sostenibilidad en sus prácticas de conservación y mantenimiento. La falta de políticas específicas, reportes de desempeño ambiental y certificaciones refleja una gestión ambiental limitada y fragmentada. Implementar normativas claras, desarrollar reportes no financieros y adoptar estándares internacionales de gestión ambiental son pasos esenciales para cerrar esta brecha y garantizar una transición hacia prácticas más sostenibles en la infraestructura vial.

2.4.6. Innovación y futuro

Con miras al desarrollo sostenible y tecnológico del sector es necesario contar con una planificación estratégica y la integración de soluciones orientadas una Economía Circular. Por ejemplo, incorporar espacios o servicios que faciliten la futura adopción de la electromovilidad en la infraestructura vial existente preparará a México para una de las principales tendencias globales en transporte, especialmente considerando los objetivos internacionales de descarbonización y la transición hacia energías limpias.

Asimismo, el aprovechamiento o la reducción de residuos generados en obras viales es una oportunidad para fomentar la Economía Circular mediante el desarrollo de productos o materiales innovadores a partir de residuos, una práctica ya implementada en otros países.

2.4.7. Resultados del análisis de residuos y prácticas identificadas en la conservación de las carreteras por actividad

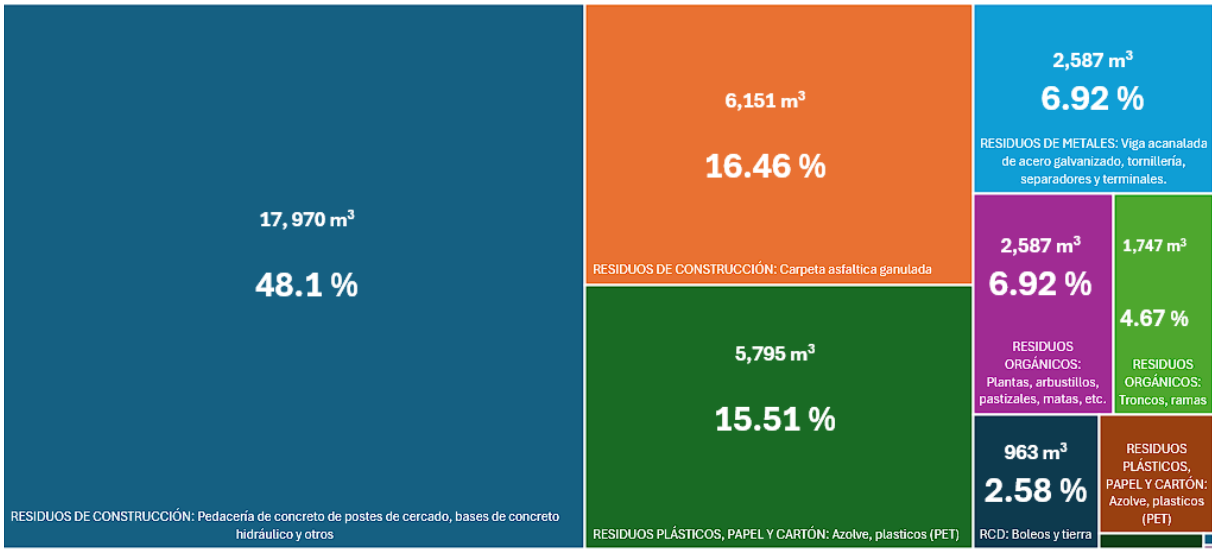
Para identificar los volúmenes de materiales derivados de las prácticas de conservación en carreteras, se realizó una estimación con base en un Programa de Conservación del año 2023 de una autopista tipo A2. Este análisis consideró el cálculo de la producción anual de residuos (en metros cúbicos), así como la identificación de los principales materiales generados durante las actividades de conservación.

Los resultados se presentan en la Gráfica 2.2, y corresponden a un ejercicio aplicado sobre actividades reales de conservación rutinaria y periódica. Si bien por razones de confidencialidad no se puede revelar el nombre específico de la autopista analizada, se trata de una vía federal de cuota con operación desde 2005.

Esta autopista cuenta con un carril por sentido, acotamientos laterales, y presenta una combinación de tramos con pavimento rígido y flexible. Su trazo incluye múltiples cortes, taludes, obras de drenaje y elementos complementarios, dado que atraviesa una región con alta humedad y precipitaciones significativas.

Además, el tramo con pavimento rígido soporta un elevado tránsito de vehículos de carga, ya que coincide con intersecciones hacia otras autopistas que conectan con otras entidades. Este contexto permite obtener una visión integral de los tipos y volúmenes de residuos generados en la conservación vial, aportando insumos clave para diseñar estrategias de manejo, valorización y aprovechamiento conforme a principios de Economía Circular.

En la Gráfica 2.2 se muestran los resultados de este análisis.



Gráfica 2.2.
Estimación de la generación de residuos en la conservación de una carretera.
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede apreciar que el 80.07% de los residuos corresponde a:

- Pedacería de concreto: 17,970 m³ (48.1%)
- Carpeta asfáltica granulada: 6,151 m³ (16.46%)
- Azolves mezclados con residuos (llantas, papel, plásticos, vegetales): 5,795 m³ (15.51%)

El 19.93% restante incluye:

- Acero reciclable: 2,587 m³ (6.92%)
- Material vegetal del derecho de vía: 2,587 m³ (6.92%)
- Boleos, tierra, plásticos, otros residuos no clasificados: 963 m³ (2.58%) y 1,747 m³ (4.67%)

Los porcentajes fueron obtenidos dividiendo el volumen individual por el total acumulado de residuos del programa estimado. Esta distribución es representativa del tipo de residuos comúnmente generados en autopistas federales con características similares, y su utilidad es ilustrar volúmenes aproximados y tipologías para futuras estrategias de gestión.

Paralelamente, se construyó un conjunto de tablas de identificación de residuos por tipo de actividad y estructura, incluidas en el Anexo 1, con el fin de identificar los residuos más comunes, su manejo actual y posibles prácticas alternativas bajo el enfoque de Economía Circular. Estas tablas permiten identificar puntos críticos de generación, evaluar potencial de valorización y proponer mejoras estructuradas.

Ambos análisis, el caso aplicado y la tabla por actividad, permiten construir el resumen y análisis en términos de Economía Circular que se presenta a continuación. Esto

refuerza la utilidad práctica de contar con datos estimados y estructurados para diseñar estrategias más sostenibles en conservación vial.

Residuos de construcción

Estos residuos, tales como bloques, pedacería, mezcla, polvo de concreto y materiales relacionados con capas asfálticas, se generan a partir de actividades como la demolición de losas, reparación de grietas, bacheo y sustitución de barreras de protección.

También se incluyen elementos como mortero asfáltico y macizos rocosos como se muestra en la siguiente figura.

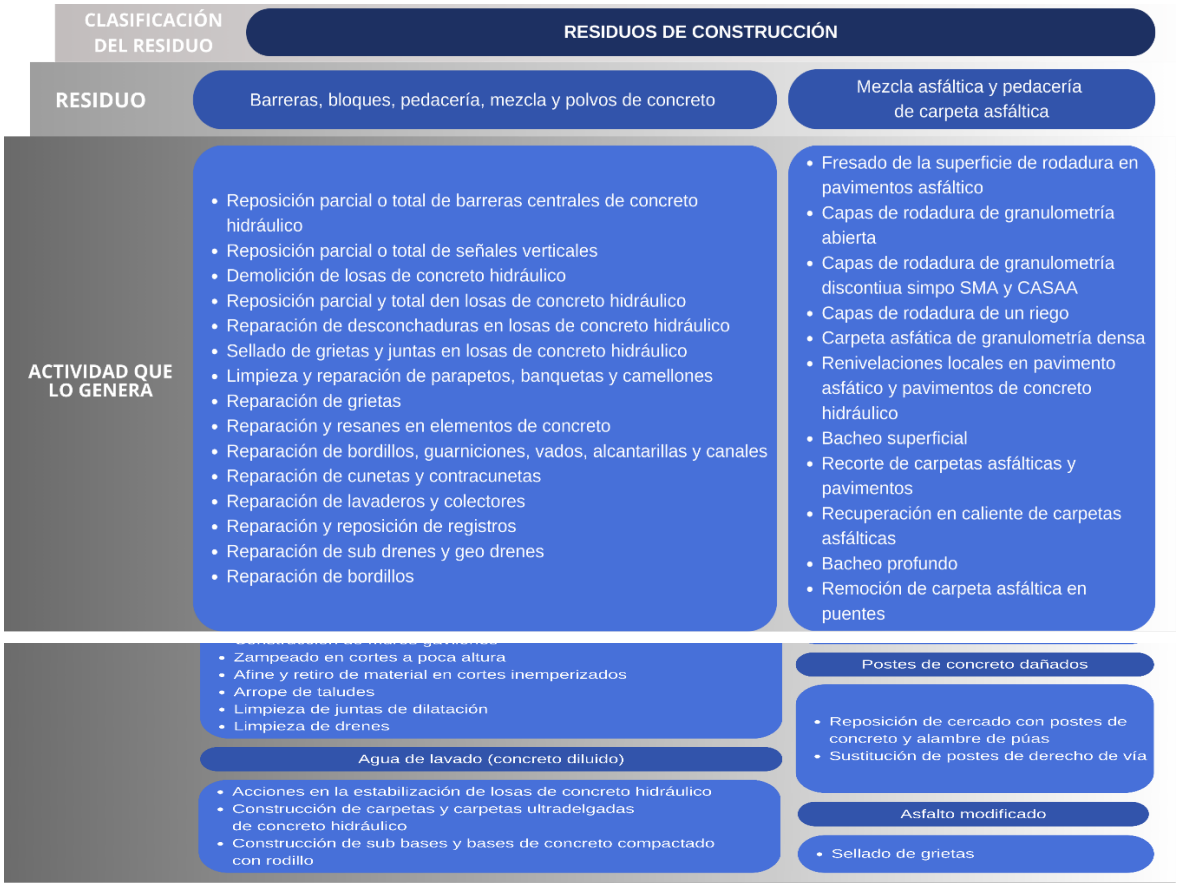


Figura 2.3.
Residuos de concreto y materiales inertes. Elaboración propia.

Relevancia en Economía Circular: El concreto y los materiales inertes, aunque son densos, pueden ser triturados y reutilizados en nuevas mezclas de pavimento o rellenos estructurales. Su reciclaje disminuye la demanda de agregados vírgenes y la explotación de bancos de materiales.

Residuos generados: Estos materiales representan un porcentaje significativo de los residuos generados en las actividades de conservación de carreteras. En

demoliciones, reparaciones de losas y reemplazo de barreras, los desechos de concreto y materiales inertes (como macizos rocosos) pueden acumularse en cantidades masivas. Proyectos a gran escala generan cientos de toneladas de concreto y pedacería.

Facilidad de uso en la industria del reciclaje: El reciclaje de concreto es viable, pero no siempre es sencillo. Se necesita maquinaria especializada para triturarlo y transformarlo en agregados reciclados. Además, si el concreto está mezclado con otros residuos (como asfalto o metales), su procesamiento se complica. Aunque su reutilización en bases y subbases es común, su reciclaje completo como agregado para nuevos concretos depende de normativas específicas y costos asociados al transporte y maquinaria.

Industrias potenciales que podrían usar el material considerando sus características:

- ***Construcción y prefabricados:*** Utilizan concreto reciclado como agregado en nuevas mezclas de concreto o bases estabilizadas para pavimentos.
- ***Infraestructura vial:*** Aplican material triturado como subbase para caminos.
- ***Manufactura de cemento:*** Emplean residuos como adición en hornos de clinker.

Metales

En esta figura se identifican los residuos metálicos generados durante actividades específicas de construcción y mantenimiento de carreteras. Entre los materiales destacados se encuentran varillas, mallas ciclónicas, cimbras, tambores, botes metálicos y juntas metálicas, los cuales surgen de acciones como la reparación de muros, la reposición de marcas y líneas, y las demoliciones parciales o totales de losas de concreto. Sin embargo, la gráfica también refleja que los elementos metálicos no se generan de manera aislada ni en su forma "limpia". Esto se debe a que, en la mayoría de los casos, estos residuos metálicos están adheridos o mezclados con otros materiales, como el concreto, que requieren un tratamiento especializado para su separación. Esta característica subraya la necesidad de procesos adecuados de clasificación y manejo de residuos para maximizar su reutilización y reciclaje dentro del marco de la Economía Circular.



Figura 2.4.
Metales y residuos asociados a su generación.
Fuente: Elaboración propia

Relevancia en Economía Circular: Los metales son materiales altamente reciclables debido a sus propiedades físicas y químicas, lo que permite reutilizarlos repetidamente sin pérdida significativa de calidad. En términos de Economía Circular, el aprovechamiento de estos residuos contribuye a la reducción de la minería de metales vírgenes y disminuye el impacto ambiental asociado.

Residuos generados: La cantidad de residuos metálicos derivados del mantenimiento vial es moderada. Aunque no son el componente mayoritario en los residuos de carreteras, materiales como varilla, malla ciclónica, y cimbras pueden acumularse en volúmenes importantes debido a la naturaleza recurrente de actividades como la reparación de estructuras, demoliciones parciales y reposición de marcas. En función de la magnitud del proyecto, estos residuos pueden cuantificarse por toneladas.

Facilidad de uso en la industria del reciclaje: El reciclaje de metales ferrosos es una práctica comúnmente utilizada en el todo el país ya que México es un gran productor de aceros. La comercialización de estos metales para reciclaje es una actividad regulada por las autoridades ambientales estatales.

Industrias potenciales que podrían usar el material:

- ***Metalurgia:*** Acero y otros metales reciclados son materias primas en la fundición para nuevos productos.
- ***Fabricación de piezas mecánicas:*** Los residuos metálicos se reutilizan en componentes de maquinaria.
- ***Industrias de embalaje y productos estructurales:*** Transforman metales recuperados en nuevos materiales para envases o refuerzos estructurales.

Plásticos, papel y cartón

Aquí se presentan materiales como PET, pedacería de llantas, papel y cartón, generados principalmente en actividades de limpieza de carreteras, reposición de señalamientos y reparación de dispositivos. También se destacan materiales compuestos, como tubos de PVC y pegamentos epóxicos.

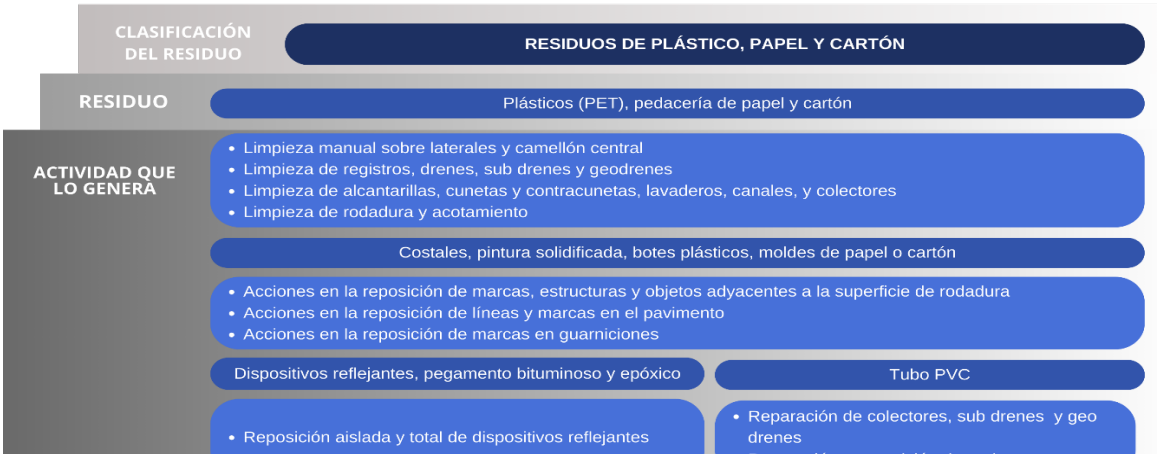


Figura 2.5.
Platicos, papel y cartón asociados a su generación.
Fuente: Elaboración propia

Relevancia en Economía Circular: Los plásticos, aunque más difíciles de reciclar que los metales o concreto, tienen aplicaciones versátiles en procesos de reutilización y reciclaje. El aprovechamiento de residuos plásticos contribuye a la reducción del plástico virgen y disminuye la contaminación ambiental.

Cantidad de residuos generados: La cantidad de plásticos, papel y cartón es menos significativa en comparación con los metales y concreto, pero su acumulación tiene impacto debido a su gran volumen y bajo peso. Residuos como PET, moldes de cartón, y pedacería de llantas representan un porcentaje menor en peso, pero más alto en términos de cantidad de piezas generadas durante la limpieza de carreteras y reposición de dispositivos.

Facilidad de uso en la industria del reciclaje: El reciclaje de plásticos y cartón depende en gran medida de su limpieza y separación previa. Los plásticos derivados de dispositivos o señalización pueden ser reciclados, pero deben recolectarse eficientemente para evitar contaminación. En el caso del cartón, su reciclaje es más directo, siempre que esté seco y libre de aceites o pegamentos. El PET tiene alta demanda en la industria, pero su recuperación efectiva depende de una buena logística de recolección.

Industrias potenciales que podrían usar el plástico:

- ***Industria de polímeros reciclados***: Transforman los plásticos en gránulos para fabricar envases, tuberías y mobiliario.
- ***Construcción***: Usan plásticos reciclados en asfaltos modificados o productos de construcción como postes y tableros.

- ***Embalaje y textiles***: Crean productos de bajo peso y alta durabilidad.
- Industrias potenciales que podrían usar el papel y cartón:
- ***Fábricas de papel reciclado***: Utilizan residuos para producir papel kraft, cartón corrugado y productos de embalaje.
- ***Manufactura de celulosa:*** Extraen fibras para uso en papeles de menor calidad o en materiales aislantes.

Fracción Orgánica

Esta figura identifica residuos orgánicos como macizos rocosos, boleos, raíces, plantas y madera, derivados de actividades relacionadas con el mantenimiento y estabilización de taludes (mediante concreto lanzado), limpieza de rodaduras, reparación de parapetos y mantenimiento de banquetas y camellones.

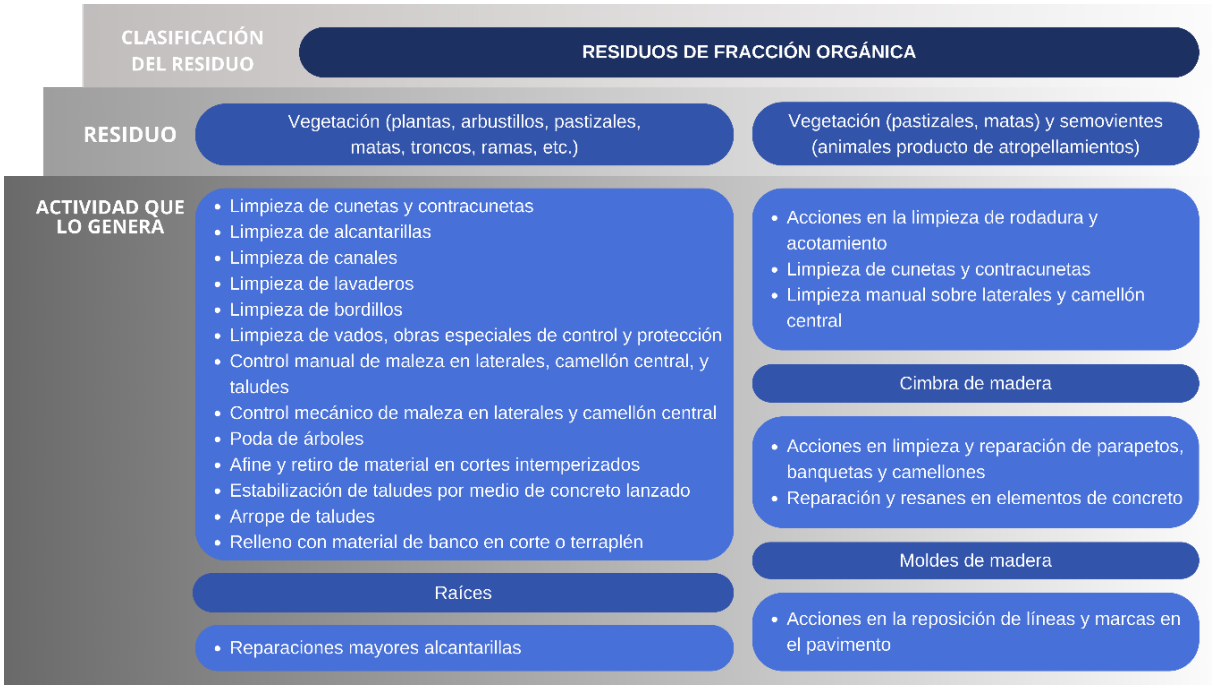


Figura 2.6.
Fracción Orgánica asociados a su generación.
Fuente: Elaboración propia

Relevancia en Economía Circular: Los residuos orgánicos tienen un potencial significativo para la Economía Circular, especialmente la vegetación (raíces y plantas), que puede transformarse en composta o biomasa. Por otro lado, las rocas y boleos pueden reutilizarse como materiales de relleno o para paisajismo. Este aprovechamiento contribuye a reducir la demanda de extracción de materiales naturales y fomenta el reciclaje de residuos in situ.

Cantidad de residuos generados: La generación de residuos orgánicos depende en gran medida del contexto geográfico y de las actividades específicas realizadas. En regiones montañosas o con taludes frecuentes, los residuos pueden ser significativos,

acumulando toneladas en grandes proyectos. Al cruce de las carreteras por zonas urbanas, esta generación puede ser menor.

Facilidad de uso en la industria del reciclaje: La reutilización de residuos orgánicos tiene dificultades moderadas. Las raíces y plantas pueden ser procesadas fácilmente para compostaje, pero los boleos y macizos rocosos requieren trituración o transporte, lo que puede elevar los costos. Además, la madera debe separarse cuidadosamente para evitar contaminación.

Industrias potenciales que podrían usar la fracción orgánica:

- ***Producción de compostaje:*** Transforman los residuos en fertilizantes orgánicos.
- ***Bioenergía:*** Generan biogás mediante digestión anaeróbica.
- ***Agroindustria:*** Reutilizan como abono natural en cultivos y reforestaciones.

Lodos

Esta figura presenta lodos generados por agua de lavado con cloruro de calcio, provenientes de actividades como la estabilización de revestimientos o bien de los sedimentos depositados en las estructuras de drenaje.

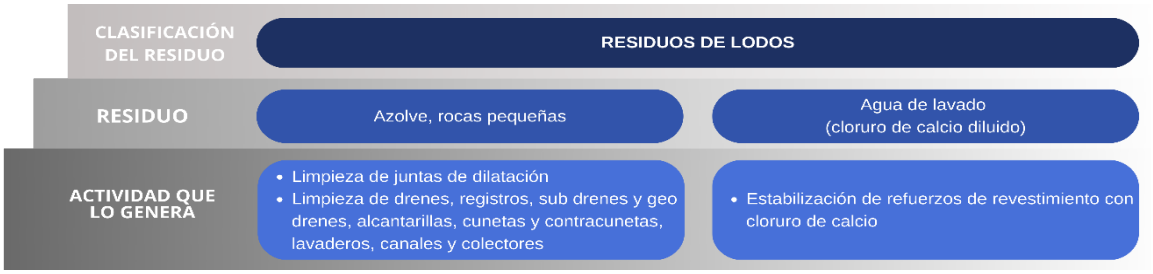


Figura 2.7.
Lodos asociados a su generación.
Fuente: Elaboración propia

Relevancia en Economía Circular: El aprovechamiento de estos lodos en Economía Circular es limitado pero viable. Podrían emplearse en estabilización de suelos o relleno para obras menores, siempre que no estén contaminados con sustancias químicas peligrosas. Esto reduce el uso de materiales vírgenes y disminuye la disposición final en rellenos sanitarios y bancos de tiro.

Cantidad de residuos generados: La generación de lodos es generalmente moderada y depende de la frecuencia de las actividades de limpieza, sin embargo, la cantidad de lodos que se retira de las estructuras de drenaje es significativamente mayor. En proyectos pequeños, los volúmenes no son significativos, pero en grandes obras viales, pueden acumularse cantidades que justifiquen su reaprovechamiento.

Facilidad de uso en la industria del reciclaje: El reciclaje de lodos enfrenta mayores desafíos debido a la necesidad de tratamientos previos para remover contaminantes y ajustar la composición química. Su uso es factible, pero requiere inversiones en infraestructura adecuada.



Figura 2.8.
Ejemplo de sedimentos y lodos en las obras de drenaje.
Fuente: Elaboración Propia.
Fuente: Recorridos en campo, carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale , Chicaxtitla, San-Luis Potosí, Méxic

Industrias potenciales que podrían usar los lodos:

- ***Fabricación de ladrillos y materiales cerámicos:*** Usan lodos deshidratados como aditivo en arcillas.
- ***Energía renovable:*** Algunos lodos, según su composición, pueden emplearse en procesos de co-combustión, cuando tienen alto contenido de materia orgánica, sin embargo, es necesario que se encuentren secos.
- ***Restauración de suelos:*** Aplican lodos tratados como enmienda para mejorar la calidad del suelo.

Caucho

Por otro lado, se destacan los residuos de caucho, principalmente pedacería de llantas, generados durante la limpieza de rodaduras, alcantarillas, cunetas y canales.

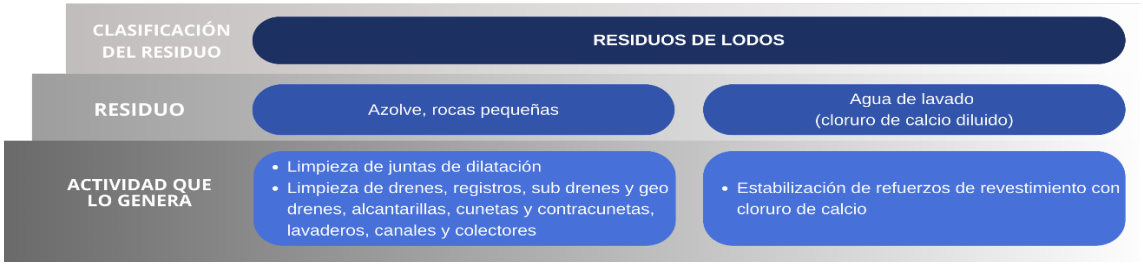


Figura 2.9.
Caucho asociado a su generación.
Fuente: Elaboración propia

Relevancia en Economía Circular: El caucho es un material con alto valor en la Economía Circular, ya que puede triturarse y transformarse en gránulos para mezclas asfálticas, suelas de zapatos, pisos industriales o incluso materiales para parques infantiles. Este aprovechamiento disminuye la necesidad de producción de caucho nuevo, reduciendo impactos ambientales.

Cantidad de residuos generados: La generación de residuos de caucho puede ser significativa, especialmente en carreteras con mayor demanda de tránsito de vehículos pesados, donde las llantas se desgastan y acumulan en grandes cantidades. Esto lo convierte en un flujo de residuos relevante para procesos de reciclaje.

Facilidad de uso en la industria del reciclaje: El reciclaje de caucho es relativamente sencillo, ya que el material tiene demanda en el mercado y procesos bien establecidos. Sin embargo, la recolección y transporte pueden complicarse en áreas alejadas o con baja densidad de generación de residuos.

Industrias potenciales que podrían usar el caucho:

- ***Fabricación de asfaltos modificados:*** Incorporan caucho reciclado en mezclas asfálticas para aumentar su durabilidad.
- ***Industria de suelas y alfombras:*** Reutilizan caucho triturado para crear productos como suelas de zapatos y revestimientos industriales.
- ***Parques infantiles y deportivos:*** Usan granulado de caucho en superficies de amortiguación y seguridad como material amortiguante en superficies de juego, senderos y áreas de recreación. Ayuda a reducir el impacto en las articulaciones de las personas que caminan o corren, además de prevenir lesiones en caso de caídas y como material de control de la erosión y drenaje y que el caucho triturado actúa como una barrera contra la erosión del suelo. Su diseño permite un drenaje adecuado, evitando acumulaciones de agua en áreas de tránsito o vegetación.



Fotografía 2.8.
Colocación de caucho en jardinería para controlar la erosión y el drenaje
Fuente: Kerkus, SA de CV

Vidrio

El vidrio, aunque no suele encontrarse en grandes volúmenes en las obras de mantenimiento carretero, aparece recurrentemente durante labores de limpieza en zonas de rodamiento, acotamientos y obras de drenaje. A continuación, se presenta la clasificación del residuo de vidrio, las actividades que lo generan, así como su relevancia y potencial de aprovechamiento en industrias vinculadas al reciclaje y a la reutilización de materiales:

CLASIFICACIÓN DEL RESIDUO	RESIDUOS DE VIDRIO
RESIDUO	Botellas de vidrio
ACTIVIDAD QUE LO GENERA	• Limpieza de rodadura y acotamiento • Limpieza de cunetas y contracunetas • Limpieza de alcantarillas • Limpieza de lavaderos • Limpieza de drenes • Limpieza manual sobre laterales y camellón central

Relevancia en Economía Circular: El vidrio es un material 100% reciclable y puede reprocesarse de forma indefinida sin perder sus propiedades. Su aprovechamiento evita el uso de materias primas vírgenes como arena, caliza y carbonato de sodio, además de reducir el consumo energético en los hornos industriales cuando se utiliza vidrio reciclado (calcín) como materia prima.

Cantidad de residuos generados: Aunque no se generan en grandes volúmenes, las botellas de vidrio aparecen de forma frecuente en actividades de limpieza, principalmente como desechos lanzados a la vía pública. Representan un riesgo de seguridad para el personal y usuarios si no se recolectan a tiempo.

Facilidad de uso en la industria del reciclaje: El vidrio es altamente reciclable si se encuentra limpio y separado por color (verde, ámbar, transparente). Su reciclaje requiere trituración (calcín) y fundición, por lo que debe estar libre de contaminantes como cerámica, piedras o metales para que sea aceptado por los centros de acopio. La logística de recolección es clave para su aprovechamiento eficiente.

Industrias potenciales que podrían usar el vidrio reciclado:

- ***Industria del envase y embalaje***: Reutilización para fabricar nuevas botellas y frascos (cuando es apto para uso alimentario).
- ***Industria de materiales de construcción***: Uso como agregado fino en concretos especiales o como materia prima en bloques de vidrio reciclado.
- ***Industria de pavimentos y asfaltos:*** El vidrio triturado puede incorporarse como material agregado (por ejemplo, "glasphalt") en capas de pavimento.

Pinturas y aceites

Los residuos de pinturas y aceites provienen principalmente del mantenimiento correctivo y preventivo de la infraestructura vial, así como de actividades de señalización y limpieza. Entre ellos se encuentran aceites lubricantes para motores, solventes, pinturas, resinas epóxicas y adhesivos como el pegamento bituminoso. Estos residuos suelen generarse en grandes cantidades debido a la frecuencia y diversidad de las tareas de conservación, tales como el fresado, bacheo, resellado, limpieza y señalización vial.

CLASIFICACIÓN DEL RESIDUO	RESIDUOS DE PINTURAS Y ACEITES	
RESIDUO	Aceites, lubricantes para motores	
ACTIVIDAD QUE LO GENERA	• Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento • Sellado de grietas • Bacheo superficial • Bacheo profundo • Sellado de grietas y juntas en losas de concreto hidráulico • Renivelaciones locales en pavimento asfáltico y pavimentos de concreto hidráulico • Capas de rodadura de un riego • Capas de rodadura de granulometría abierta • Capas de rodadura de mortero asfáltico • Carpeta asfáltica de granulometría densa • Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos • Recorte de carpetas asfálticas • Recuperación en caliente de carpetas asfálticas • Reposición parcial y total en losas de concreto hidráulico • Reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico • Acciones en la estabilización de losas de concreto hidráulico	• Estabilización de refuerzos de revestimiento con cloruro de calcio • Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo sma y casaa • Recuperación en frío de pavimento asfáltico • Demolición de losas de concreto hidráulico • Recorte de pavimentos • Construcción de bases de con mezcla de material pétreo recuperado y cemento asfáltico espumoso • Limpieza y reparación de alcantarillas, canales, cunetas y contracunetas, colectores, lavaderos, registros, subdrenes y geodrenes, • Reparaciones mayores de alcantarillas, canales, cunetas y contracunetas, colectores, lavaderos, registros, subdrenes y geodrenes • Reposición aislada de subrenes y geodrenes • Reposición de subdrenes y geodrenes • Limpieza de vados, obras especiales de control y protección • Reparación de bordillos, guarniciones y vados • Reparaciones mayores de bordillos
	• Limpieza de pilas, cunas, estribos y aleros • Calafateo de fisuras • Reparación de grietas • Reparación y resanes en elementos de concreto • Reposición del sello en juntas de dilatación • Remoción de carpeta asfáltica en puentes • Reposición de juntas de dilatación • Acciones en la impermeabilización de revestimientos • Limpieza de paredes y bóvedas • Relleno de oquedades • Reposición de drenes y longitudinales • Reparación del sistema de iluminación • Reparación del sistema de ventilación • Limpieza de vialetas y botones • Limpieza de señales verticales • Limpieza de barreras y barreras centrales • Reposición de barreras y barreras centrales • Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico • Reposición de señales verticales • Reposición de malla antideslumbrante (50 cm) en barrera central • Reposición de indicadores para alineamiento	• Reparación y reposición de dispositivos diversos • Reposición de defensas metálicas • Reposición total de señalamiento vertical • Reposición total de defensas metálicas • Reposición total de barreras centrales de concreto hidráulico • Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes • Control mecánico de maleza en laterales y camellón central • Limpieza manual sobre laterales y camellón central • Poda de árboles • Reposición de cercado con alambre de púas • Reposición de cercado con malla ciclónica • Afine y retiro de material en cortes intemperizados • Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado • Arrope de taludes • Relleno con material de banco en corte o terraplén • Construcción de muros gavilones • Zampeado en cortes a poca altura
ACTIVIDAD QUE LO GENERA	Aceites, lubricantes para motores, solventes, combustibles	Aceites, lubricantes para motores, pinturas y solventes
	• Acciones en limpieza de juntas de dilatación • Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones • Limpieza de drenes	• Acciones en la reposición de lineas y marcas en el pavimento • Acciones en la reposición de marcas en guarniciones • Acciones en la reposición de marcas estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura
	Pegamento epóxico, pegamento bituminoso, aceites, lubricantes para motores	
	• Reposición aislada de vialetas y botones • Reposición total de vialetas y botones	

Relevancia en economía circular: Aunque estos residuos presentan complejidades técnicas para su gestión por su composición química, representan un campo importante para estrategias de valorización energética o sustitución parcial de materias primas en otras industrias. Existen tecnologías emergentes para el reprocesamiento de aceites y reutilización de solventes, así como estudios sobre el uso de residuos de pinturas en materiales compuestos o como aditivos para otros productos industriales.

Cantidad de residuos generados: Este tipo de residuos es altamente variable, pero puede acumularse en grandes volúmenes si no se gestionan adecuadamente. A pesar de que no tienen un gran peso por unidad, su frecuencia de generación y su peligrosidad relativa los hace prioritarios en estrategias de manejo diferenciado. En particular, los aceites usados requieren recolección especializada para evitar impactos en suelos y cuerpos de agua.

Facilidad de uso en la industria del reciclaje: La reincorporación de aceites usados como combustibles alternos es una práctica ya implementada en algunas regiones, aunque se requiere control de contaminantes y metales pesados. Las pinturas y solventes pueden tener aplicaciones en la formulación de materiales para construcción o en procesos industriales de baja exigencia técnica, siempre que pasen por procesos de neutralización y adecuación previa.

Industrias potenciales que podrían utilizar estos residuos:

- ***Valorización energética:*** Aceites usados y disolventes como combustibles alternativos en hornos cementeros o calderas industriales.
- ***Industria química:*** Recuperación de componentes activos en solventes para ser reutilizados en nuevas formulaciones.
- ***Sector de materiales de construcción:*** Empleo de residuos de pinturas o resinas en productos compuestos, como tableros técnicos o mezclas plásticas con propiedades específicas.

En conservación de carreteras, los residuos de concreto y materiales inertes son los más abundantes, generados principalmente por actividades de fresado y reconstrucción. Su reciclaje, como en el caso del pavimento asfáltico reciclado (RAP), depende de la infraestructura disponible. Los residuos metálicos y plásticos, aunque menos voluminosos, tienen alto valor de reciclaje y se aprovechan en señalización, mobiliario urbano o defensas. Los aceites y pinturas pueden recuperarse o valorizarse energéticamente si se gestionan adecuadamente. Los lodos y orgánicos requieren manejo especializado, pero pueden destinarse a compostaje o recuperación de suelos. Finalmente, el caucho reciclado de llantas tiene aplicaciones destacadas en asfaltos modificados, mejorando la durabilidad vial y cerrando ciclos productivos dentro de la Economía Circular.

2.5. Análisis del impacto ambiental en la conservación de las carreteras en México

El mantenimiento y conservación de carreteras en México tiene un impacto ambiental considerable debido a la prevalencia de prácticas tradicionales basadas en un modelo lineal que prioriza la extracción, uso y desecho de materiales. Estas actividades,

distribuidas en elementos como derecho de vía, obras de drenaje, pavimentos, puentes, señalización, taludes y túneles, generan residuos y externalidades ambientales que afectan diversos componentes del ecosistema, incluidos el suelo, el agua y la atmósfera (SEMARNAT, 2024).

La realización de las actividades de mantenimiento y conservación de las carreteras pueden ocasionar diversos impactos ambientales derivados principalmente de un manejo no apropiado de residuos, la extracción de material nuevo, entre otros. Es por ello que una de las facetas más importantes de la Economía Circular, permite disminuir considerablemente el impacto ambiental que ocasionaría la conservación de alguna carretera.

En este tenor, a manera de ejemplo para identificar y de forma general, evaluar esta reducción de los impactos ambientales, en este documento presentamos una evaluación de impactos ambientales hipotética de obras de conservación para alguna carretera. El siguiente ejercicio ejemplifica de manera teórica los impactos que se pueden derivar de las prácticas de mantenimiento y conservación de carreteras usando como punto de partida el catálogo de conceptos analizado.

Metodología empleada para la identificación de los impactos ambientales

Para la identificación de impactos ambientales generados por las actividades de conservación en carreteras, el primer paso es sintetizar y ordenar cronológicamente la información relacionada con las actividades que se realizan generalmente por activo carretero.

Tabla 2.2.
Actividades de la conservación de las carreteras generadoras de impactos ambientales.

Elemento	Actividades
Pavimentos	Reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico
	Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento
	Demolición de lozas de concreto hidráulico
	Reposición parcial y total en losas de concreto hidráulico
	Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfáltico
	Construcción de subbases o bases hidráulicas
	Construcción de subbases o bases estabilizadoras
	Construcción de bases con mezcla de material pétreo recuperado y cemento asfaltico espumoso
	Estabilización de refuerzos de revestimiento con cloruro de calcio
	Acciones en la estabilización de losas de concreto hidráulico
	Construcción de subbases y bases de concreto compactado con rodillo
	Construcción de carpetas y carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico
	Renivelaciones locales en pavimento asfaltico y pavimentos de concreto hidráulico
	Capas de rodadura de un riego
	Capas de rodadura de granulometría abierta
	Carpeta asfáltica de granulometría densa
	Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo sma y casaa
	Bacheo superficial
	Capas de rodadura de mortero asfáltico
	Recorte de carpetas asfálticas
	Recuperación en caliente de carpetas asfálticas
	Recuperación en frio de pavimento asfáltico
	Recorte de pavimentos
	Bacheo profundo

Elemento	Actividades
Derecho de vía	Limpieza manual sobre laterales y camellón central
	Reposición de cercado con postes de concreto y alambre de púas
	Reposición de cercado con alambre de púas
	Reposición de cercado con malla ciclónica
	Poda de árboles
	Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes
	Control mecánico de maleza en laterales y camellón central
	Reposición del sello en juntas de dilatación
	Reposición de juntas de dilatación
	Limpieza de drenes
	Acciones en limpieza de juntas de dilatación
	Reparación y resanes en elementos de concreto
	Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones
	Limpieza de pilas, cunas, estribos y aleros
	Remoción de carpeta asfáltica en puentes
	Reposición de drenes y longitudinales
	Reparación del sistema de ventilación
	Limpieza de paredes y bóvedas
	Relleno de oquedades
	Acciones en la impermeabilización de revestimientos
	Reparación del sistema de iluminación

Elemento	Actividades
Obras de drenaje	Reparaciones mayores de colectores
	Reposición de registros
	Reparación rutinaria de subdrenes y geodrenes
	Reposición aislada de subdrenes y geodrenes
	Reparaciones mayores de subdrenes y geodrenes
	Reposición de subdrenes y geodrenes
	Limpieza de subdrenes y geodrenes
	Reparaciones mayores de bordillos
	Reparaciones mayores de cunetas y contracunetas
	Reparaciones mayores de lavaderos
	Reparación de bordillos, guarniciones y vados
	Reparaciones mayores alcantarillas
	Reparaciones mayores de canales
Taludes	Zampeado en cortes a poca altura
	Afine y retiro de material en cortes intemperizados
	Arrope de taludes
	Construcción de muros gaviones o muros alcancía
	Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado
	Relleno con material de banco en corte o terraplén

Elemento	Actividades
Señalización y dispositivos de seguridad	Reposición de barreras de protección
	Reposición total de barreras de protección
	Reposición de indicadores para alineamiento
	Reposición aislada de botones
	Reposición total de botones
	Acciones en la reposición de líneas y marcas en el pavimento
	Reposición de señalamiento vertical
	Reposición total de señalamiento vertical
	Limpieza de botones
	Limpieza de señalamiento vertical
	Limpieza de barreras de protección
	Reparación de barreras de protección
	Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera central
	Reparación y reposición de dispositivos diversos

Consecutivamente a la identificación y organización de las actividades, se determinaron los indicadores ambientales que son un medio reconocido desde hace tiempo para suponer las tendencias de cambio sobre los componentes del ambiente y así poder determinar las medidas necesarias para minimizar los efectos del Proyecto.

La determinación de los indicadores útiles para la identificación de los impactos se tomó considerando el elemento del medio ambiente afectado o por afectar por un agente de cambio, observando su representatividad, su relevancia, si es excluyente, si es cuantificable y si puede proporcionar la idea de la magnitud alterada.

Estas actividades tienen interacción con los componentes ambientales debido a que los impactos se presentan sobre estos, de forma general y las características del sitio y su entorno, se contempló el suelo, el aire, ruido, la geomorfología e hidrología, la vegetación, la fauna y el paisaje como indicadores ambientales.

Tabla 3.3.
Componentes y Factores ambientales susceptibles de impacto por las acciones del Proyecto.

Aspecto	Componente ambiental	Indicadores Ambientales susceptibles de cambio por acción del Proyecto	
		Factor ambiental	Subfactor ambiental
Abióticos	Atmósfera	Aire	Calidad del aire
		Ruido	Nivel de ruido
	Suelo	Componente edáfico	Calidad del suelo
	Hidrología	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Calidad del agua
	Paisaje	Paisaje Natural	Cualidades paisajísticas
Bióticos	Vegetación	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Cubierta forestal
			Presencia de especies prioritarias para su conservación
	Fauna	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema.	Calidad del hábitat para la fauna
			Distribución espacial de la fauna

A los elementos y actividades de la infraestructura que tienen interacción con los diferentes componentes ambientales se le denomina matriz causa-efecto.

En la siguiente Matriz se presentan sombreadas las celdas en color azul en donde se considera que la acción de las actividades de conservación de carreteras tiene incidencia sobre alguno de los componentes y factores ambientales descritos anteriormente.

Tabla 3.4.

Matriz Causa-Efecto (cruce de los Componentes y Factores Ambientales respecto a las obras y actividades de la conservación de carreteras). (Ver ANEXO 5. Matriz de Impactos en electrónico).

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Pavimentos	Reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico							
	Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento							
	Demolición de lozas de concreto hidráulico							
	Reposición parcial y total en losas de concreto hidráulico							
	Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfáltico							
	Construcción de subbases o bases hidráulicas							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Pavimentos	Construcción de subbases o bases estabilizadoras							
	Construcción de bases con mezcla de material pétreo recuperado y cemento asfaltico espumoso							
	Estabilización de refuerzos de revestimiento con cloruro de calcio							
	Acciones en la estabilización de losas de concreto hidráulico							
	Construcción de subbases y bases de concreto compactado con rodillo							
	Construcción de carpetas y carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Pavimentos	Renivelaciones locales en pavimento asfal-tico y pavimentos de concreto hidráulico							
	Capas de rodadura de un riego							
	Capas de rodadura de granulometría abierta							
	Carpeta asfáltica de granulometría densa							
	Capas de rodadura de granulometría discon-tinua tipo sma y casaa							
	Bacheo superficial							
	Capas de rodadura de mortero asfáltico							
	Recorte de carpetas asfálticas							
	Recuperación en caliente de carpetas asfálticas							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Pavimentos	Recuperación en frio de pavimento asfáltico							
	Recorte de pavimen-tos							
	Bacheo profundo							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Derecho de vía de la carretera	Limpieza manual sobre laterales y camellón central							
	Reposición de cercado con postes de concreto y alambre de púas							
	Reposición de cercado con alambre de púas							
	Reposición de cercado con malla ciclónica							
	Poda de árboles							
	Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes							
	Control mecánico de maleza en laterales y camellón central							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Puentes y estructuras	Reposición del sello en juntas de dilatación							
	Reposición de juntas de dilatación							
	Limpieza de drenes							
	Acciones en limpieza de juntas de dilatación							
	Reparación y resanes en elementos de concreto							
	Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones							
	Limpieza de pilas, cunas, estribos y aleros							
	Remoción de carpeta asfáltica en puentes							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Túneles	Reposición de drenes y longitudinales							
	Reparación del sistema de ventilación							
	Limpieza de paredes y bóvedas							
	Relleno de oquedades							
	Acciones en la impermeabilización de revestimientos							
	Reparación del sistema de iluminación							
Obras de drenaje	Reparaciones mayores de colectores							
	Reposición de registros							
	Reparación rutinaria de subdrenes y geodrenes							
	Reposición aislada de subdrenes y geodrenes							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Obras de drenaje	Reparaciones mayores de subdrenes y geodrenes							
	Reposición de subdrenes y geodrenes							
	Limpieza de subdrenes y geodrenes							
	Reparaciones mayores de bordillos							
	Reparaciones mayores de cunetas y contracunetas							
	Reparaciones mayores de lavaderos							
	Reparación de bordillos, guarniciones y vados							
	Reparaciones mayores alcantarillas							
	Reparaciones mayores de canales							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Taludes	Zampeado en cortes a poca altura							
	Afine y retiro de material en cortes intemperizados							
	Arrope de taludes							
	Construcción de muros gaviones o muros alcancía							
	Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado							
	Relleno con material de banco en corte o terraplén							
Señalización y dispositivos de seguridad	Reposición de barreras de protección							
	Reposición total de barreras de protección							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
Señalización y dispositivos de seguridad	Reposición de indicadores para alineamiento							
	Reposición aislada de dispositivos reflejantesy botones							
	Reposición total de dispositivos reflejantes y botones							
	Acciones en la reposición de líneas y marcas en el pavimento							
	Reposición de señales verticales							
	Reposición total de señalamiento vertical							
	Limpieza de dispositivos reflejantes y botones							
	Limpieza de señales verticales							

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos naturales y/o cuerpos de agua	Paisaje actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Calidad del aire	Nivel de ruido	Calidad del suelo	Calidad del agua	Cualidades paisajísticas	Cubierta vegetal	Distribución espacial de la fauna
Elemento	Actividad							
	Limpieza de barreras y barreras centrales							
	Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico							
	Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera central							
	Reparación y reposición de dispositivos diversos							

Impactos negativos
Impactos positivos

Criterios establecidos para la evaluación de impactos

Una vez establecida las causas (obras o actividades) con los efectos (componente ambiental modificado) por los impactos, se procede a evaluar los impactos.

Para evaluar los impactos ambientales es necesario contar con criterios que son aplicados de forma cíclica con cada una de las obras o actividades. El resultado de esta evaluación es plasmado en matrices de interacción.

Las Matrices de interacción son ampliamente utilizadas en las evaluaciones de impacto ambiental. Una de las metodologías más conocidas resulta ser la de Bojórquez -Tapia, et. al, 1998 (Evaluación de los impactos ambientales y medidas de mitigación a través de matrices de matemáticas). Esta metodología permite ejemplificar la importancia de la aplicación de acciones de Economía Circular en la conservación de carreteras ya que conlleva una reducción en la severidad de los impactos ambientales que puede ser fácilmente ejemplificada a partir de matrices de evaluación en las que se plasme el valor del índice de impacto estimado mediante dicha metodología, para una situación comparativa entre aplicar o no acciones de Economía Circular en la mitigación de impactos ambientales. Este método permite a los usuarios ver las posibles vías de interacción causa-efecto identificados en una matriz.

En este sentido, de acuerdo con el esquema de Bojórquez-Tapia et al. (1998) los impactos que se identifiquen sobre los componentes del ambiente, (indicados en la tabla anterior), se pueden dividir en criterios básicos y complementarios. Los criterios básicos son: 1) magnitud o intensidad (M), 2) extensión espacial (E), 3) duración (D). Los criterios complementarios son: 1) sinergismo entre actividades (S), 2) efectos acumulativos (A), 3) controversia (C).

Asimismo, para cada efecto se debe determinar su naturaleza, es decir, si el impacto es benéfico (positivo) o perjudicial (negativo) para el ambiente; por lo que se asignan calificaciones positivas (+) para impactos benéficos y calificaciones negativas (-) para impactos adversos.

Definición de los criterios según la mencionada metodología:

1. **Naturaleza del impacto:** benéfico (positivo +) o perjudicial (negativo -).
2. **Magnitud (M):** Se refiere a la intensidad del efecto de la actividad sobre el componente ambiental, independientemente del área afectada o duración del impacto.
3. **Extensión espacial (E):** Tamaño de la superficie afectada por una determinada acción. En el caso en que el efecto abarque toda el área de estudio, se le asignará la máxima calificación posible.
4. **Duración (extensión temporal) (D):** Tiempo en que el componente ambiental mostrará los efectos de la actividad. Se asignará el número 9 a aquellos efectos de carácter irreversible, y los demás valores tomando como criterio la vida útil de las obras del Proyecto.
5. **Sinergismo (S):** Actividad que, al estar presente otra, los efectos sobre el ambiente se incrementen más allá de la suma de los efectos individuales de cada una de ellas.
6. **Efecto acumulativo (A):** Cuando como consecuencia de una actividad, el efecto sobre el componente ambiental se incrementa con el tiempo, aunque la actividad generadora haya cesado.

7. **Controversia (C):** Es una medida del grado en que la sociedad pudiese responder ante la ocurrencia de un cierto efecto de una actividad sobre un factor ambiental, de tal manera que lo "magnifique" con respecto a su valor real.

Escalas utilizadas

Una vez definidos los criterios, se asigna una escala ordinal de 0 a 9, con cero para denotar efectos mínimos sobre el ambiente, y 9 para denotar efectos máximos sobre el mismo. Los valores de 0 a 9 fueron asignados en este ejemplo, considerando en la medida de lo posible estimaciones cuantitativas obtenidas en proyectos carreteros a partir del trabajo de campo y gabinete, con la finalidad de disminuir la subjetividad al asignar los valores de calificación de los criterios básicos y complementarios.

Por otro lado, es importante mencionar que la categorización y evaluación de los impactos ambientales se estima también para el área circundante a la zona donde se realicen los trabajos de conservación, en donde se presentarán mayormente los impactos ambientales. Establecer la distancia a la cual las acciones de conservación ocasionarán afectaciones es una cuestión compleja y multifactorial. Las afectaciones sobre los distintos componentes ambientales: atmósfera (aire y ruido), suelo (componentes edáficos), hidrología (escurrimientos materiales y/o cuerpos de agua), paisaje, vegetación (diversidad y abundancia) y fauna (diversidad y abundancia); tienen diferentes escalas de desarrollo, y por lo consiguiente de estudio. El efecto que pueden ocasionar las acciones de conservación de la carretera sobre la flora será local ya que las afectaciones ocurren en el sitio directo de actividades. En comparación, el efecto sobre fauna o la hidrología se suele dar en extensiones mayores, cuya escala de medición de efectos puede abarcar distancias externas a las de los trabajos de conservación.

2.5.1. Calificación de impactos sin medidas de mitigación

La evaluación cuantitativa de los impactos ambientales a partir de la estimación del índice de Bojórquez-Tapia et al (1998) se presenta en el siguiente ejemplo de matriz de evaluación de impacto. Cabe señalar que esta primera matriz considera realizar el proyecto de conservación SIN tomar en cuenta las medidas de mitigación para el manejo de residuos según el concepto de Economía Circular en el presente Manual. La valoración de cada impacto para poder estimar su nivel de severidad se define partiendo de los valores mínimos y máximos a obtener del índice de impacto y estableciendo cinco (5) categorías de severidad (tabla 3.5.1.1.).

También se debe señalar que este es solo un ejemplo ilustrativo ya que la evaluación de los impactos ambientales es inherente a la calidad ambiental de cada sitio, integrado por los componentes del medio físico, biótico y social; y las particularidades de un proyecto.

De la anterior tabla se debe destacar que hay impactos que pueden tener doble naturaleza (es decir adversa y benéfica) y esto va a depender de la actividad que lo provoque.

Criterios de evaluación adjuntos:

Tabla 2.5.
Categorías de valoración del índice de Impacto de acuerdo con metodología Bojórquez – Tapia et al (1998).

Valor del índice de Impacto Adverso	Calificación del Impacto	Valor del índice de Impacto Benéfico	Calificación del Impacto
0.111 - 0.280	Muy bajo	0.111 - 0.280	Muy bajo
0.281 – 0.460	Bajo	0.281 – 0.460	Bajo
0.461 – 0.640	Moderado	0.461 – 0.640	Moderado
0.641 – 0.820	Alto	0.641 – 0.820	Alto
0.821 – 1.000	Muy alto	0.821 – 1.000	Muy alto

El uso de una matriz de interacción permite analizar las actividades de conservación de las carreteras clasificadas por elementos estructurales y su impacto ambiental en los diferentes componentes del sistema, de una forma bidimensional y fácil de interpretar (tabla 2.5).

Tabla 2.6.
Matriz de calificación de los impactos ambientales sin la consideración de estrategias de economía circular en el manejo de residuos

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Elemento	**Actividad**							
Derecho de vía de la carretera	Limpieza manual sobre laterales y camellón central	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.612	0.000
	Reposición de cercado con postes de concreto y alambre de púas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.612	-0.561
	Reposición de cercado con alambre de púas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.612	-0.561
	Reposición de cercado con malla ciclónica	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.612	-0.561
	Poda de árboles	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.377	-0.612	0.000
	Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000
	Control mecánico de maleza en laterales y camellón central	-0.539	-0.460	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Obras de drenaje y complementarias	Reparaciones mayores de Colectores	-0.539	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reposición Registros	0.000	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparación rutinaria de Subdrenes y geodrenes Reposición Aislada de subrenes y geodrenes	-0.512	-0.401	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparaciones mayores de Subdrenes y geodrenes Reposición de Subdrenes y geodrenes	-0.512	-0.429	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Limpieza de Subdrenes y geodrenes	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparaciones mayores de Bordillos	-0.439	-0.439	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Obras de drenaje y complementarias	Reparaciones mayores de Cunetas y contracunetas	-0.539	-0.520	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparaciones mayores de Lavaderos	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparación de Bordillos, Guarniciones y vados	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparaciones mayores Alcantarillas	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparaciones mayores de Canales	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cuerpo de la carretera (pavimentos)	Reparación de desconchaduras en lozas de concreto hidráulico	-0.439	-0.460	-0.589	-0.603	-0.344	-0.543	0.000
	Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	0.000	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION		FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema		Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Cuerpo de la carretera (pavimentos)	Demolición de lozas de concreto hidráulico	-0.439	-0.460	-0.524	-0.638	-0.377	-0.543	0.000	
	Reposición parcial y total en lozas de concreto hidráulico	-0.439	-0.460	-0.524	-0.638	-0.770	-0.543	0.000	
	Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfaltico	-0.439	-0.460	-0.524	-0.539	-0.770	-0.543	0.000	
	Construcción de subbases o bases hidráulicas	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Construcción de subbases o bases estabilizadoras	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Construcción de bases con mezcla de material pétreo recuperado y cemento asfaltico espumoso	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Estabilización de refuerzos de revestimiento con cloruro de calcio	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Cuerpo de la carretera (pavimentos)	Acciones en la estabilización de lozas de concreto hidráulico	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000
	Construcción de subases y bases de concreto compactado con rodillo	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000
	Construcción de carpetas y carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000
	Renivelaciones locales en pavimento asfaltico y pavimentos de concreto hidráulico	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000
	Capas de rodadura de un riego	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000
	Capas de rodadura de granulometría abierta	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION		FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema		Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Cuerpo de la carretera (pavimentos)	Carpeta asfáltica de granulometría densa	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	
	Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo sma y casaa	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	
	Bacheo superficial	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	
	Capas de rodadura de mortero asfaltico	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	
	Recorte de carpetas asfálticas	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	
	Recuperación en caliente de carpetas asfálticas	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	
	Recuperación en frio de pavimento asfaltico	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	
	Recorte de pavimentos	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	
	Bacheo profundo	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000	

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Puentes y estructuras	Reposición del sello en juntas de dilatación	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reposición de juntas de dilatación	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Limpieza de drenes	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Acciones en limpieza de juntas de dilatación	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparación y resanes en elementos de concreto	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Limpieza de pilas, cunas, estribos y aleros	-0.439	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Remoción de carpeta asfáltica en puentes	-0.439	-0.460	-0.524	-0.482	-0.377	-0.612	0.000

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Carretera: señalamiento y dispositivos de seguridad	Reposición de barrreras de protección	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000
	Reposición total de barrreras de protección	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000
	Reposición de indicadores para alineamiento	-0.439	-0.460	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000
	Reposición aislada de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	-0.439	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reposición total de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	-0.439	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Acciones en la reposición de líneas y marcas en el pavimento	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reposición de barreras y barreras centrales	-0.439	-0.420	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Carretera: señalamiento y dispositivos de seguridad	Reposición total de barreras centrales de concreto hidráulico	-0.439	-0.420	0.000	0.000	-0.345	-0.612	0.000
	Reposición de señales verticales	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reposición total de señalamiento vertical	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Limpieza de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	-0.439	-0.420	0.000	-0.676	0.000	0.000	0.000
	Limpieza de señales verticales	-0.439	-0.420	0.000	-0.676	0.000	0.000	0.000
	Limpieza de barreras y barreras centrales	-0.439	-0.420	0.000	-0.482	0.000	0.000	0.000
	Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico	-0.439	-0.420	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Carretera: señalamiento y dispositivos de seguridad	Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera central	-0.439	-0.420	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000
	Reparación y reposición de dispositivos diversos	-0.439	-0.420	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000
Taludes	Zampeado en cortes a poca altura	-0.439	-0.420	-0.524	-0.482	-0.770	-0.612	0.000
	Afine y retiro de material en cortes intemperizados	-0.439	-0.420	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000
	Arrope de taludes	-0.439	-0.420	0.409	0.409	-0.770	-0.612	0.000
	Construcción de muros gaviones o muros alcancía	-0.439	-0.420		0.000	-0.770	-0.612	0.000
	Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado	-0.439	-0.420	0.000	0.000	-0.770	-0.612	0.000
	Relleno con material de banco en corte o terraplén	-0.439	-0.420	-0.524	0.000	-0.770	0.000	0.000

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
Túneles	Reposición de drenes y longitudinales	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparación del sistema de ventilación	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Limpieza de paredes y bóvedas	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Relleno de oquedades	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Acciones en la impermeabilización de revestimientos	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Reparación del sistema de iluminación	-0.439	-0.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Promedio		**-0.400**	**-0.398**	**-0.043**	**-0.062**	**-0.252**	**-0.310**	**-0.022**
Impactos negativos		**70**	**70**	**7**	**9**	**37**	**40**	**3**
Impactos positivos				**1**	**1**			

La anterior evaluación ejemplificativa permite visualizar que, en este ejercicio, los impactos adversos bajos y moderados son predominantes, incluso existiendo 18 impactos ambientales adversos altos (tabla 2.8).

Tabla 2.7
Total de impactos ambientales por categoría.

Valor del índice de Impacto Adverso	Calificación del Impacto	Total de Impactos Adversos	Valor del índice de Impacto Benéfico	Calificación del Impacto	Total de Impactos Benéficos
0.111 - 0.280	Muy bajo	0	0.111 - 0.280	Muy bajo	0
0.281 – 0.460	Bajo	155	0.281 – 0.460	Bajo	2
0.461 – 0.640	Moderado	63	0.461 – 0.640	Moderado	0
0.641 – 0.820	Alto	18	0.641 – 0.820	Alto	0
0.821 – 1.000	Muy alto	0	0.821 – 1.000	Muy alto	0
Total		**236**	**Total**		**2**

A continuación, se describen estos impactos desde una perspectiva actual, sin considerar la implementación de acciones de Economía Circular.

2.5.2. Derecho de vía

El mantenimiento en el derecho de vía incluye actividades como la limpieza de vegetación y recolección de residuos sólidos. Estas prácticas afectan la biodiversidad si no se retiran del sitio y se llevan a los sitios de disposición correspondientes y debidamente autorizados, además de que muchos de estos residuos son viables a ser revalorizados, lo cual muchas veces no se lleva a cabo. Siendo así que, la falta de sistemas de composta-je para residuos orgánicos limita la capacidad de cerrar los ciclos materiales, resultando en impactos ambientales evitables.

Actividades principales:

- Limpieza manual, reposición de cercados, poda de árboles, control de maleza.

Impactos adversos de moderados a altos[1] relacionados con el manejo de materiales y residuos:

- Sobre Vegetación: Pérdida de flora nativa por poda y manejo inadecuado de residuos vegetales.

1 Valoración teórica estimada a partir del índice de impacto ambiental desarrollado por Bojórquez-Tapia et al 1998, considerando las actuales prácticas de manejo de residuos en conservación de carreteras (ANEXO 5. Matriz de Impactos)

- Fauna: Afectación de hábitats debido a la pérdida de cobertura vegetal.
- Ruido y aire: Uso de maquinaria genera emisiones y ruido moderados.

Residuos generados:

- Residuos vegetales (poda, control de maleza).
- Materiales de construcción (cercados).

Disposición final de los residuos:

- Desechados en bancos de tiro o quemados, contribuyendo a emisiones de carbono.
- Disposición en bancos de tiro, contribuyendo a la saturación de rellenos sanitarios y bancos de tiro.
- Residuos de usuarios de la carretera (envases de bebidas y alimentos principalmente).
- Residuos de construcción (de las obras de conservación de carreteras).

La limpieza y mantenimiento del derecho de vía impactan principalmente debido a la pérdida de cobertura vegetal y la consecuente afectación de fauna silvestre por la reducción y alteración de la flora, que constituyen sus hábitats y fuentes de alimento en muchos casos.

La disposición inadecuada de residuos vegetales y materiales de construcción tiene efectos negativos sobre el suelo y el aire al ocasionar la contaminación de éstos. Asimismo, las emisiones derivadas del uso de maquinaria, aunque moderadas, contribuyen al deterioro de la calidad ambiental durante la realización de las obras.

Este escenario resalta la falta de sistemas de valorización de residuos vegetales, como compostaje, y de reciclaje de materiales de construcción.

Impacto adverso destacado: Contaminación del suelo, afectación a la biodiversidad y aumento en emisiones por la quema de residuos, además de saturación de rellenos sanitarios y bancos de tiro.





Fotografía 2.9.
Deshierbe del derecho de vía manual y mecánico. Carretera 15D. Tramo Mazatlán- Culiacán, en el Edo. de Sinaloa

2.5.3. Cuerpo de la carretera (pavimentos)

Las prácticas actuales generan grandes cantidades de residuos asfálticos y escombros, que a menudo se descartan en lugar de ser reciclados. Países como Alemania y Estados Unidos han demostrado que el reciclaje de pavimentos puede reducir significativamente la demanda de materiales vírgenes y las emisiones asociadas a su producción (FHWA, 2020; EAPA, 2016). En el caso de México actualmente se llevan a cabo estas prácticas solamente en algunas de las obras, por lo que representa un área de oportunidad para el país.

Actividades principales:

- Reparaciones, fresado, estabilización de bases, demolición de lozas.

Impactos adversos destacados:

- Suelo: Pérdida de calidad del recurso por compactación y contaminación por depósito de residuos de carpeta en sitios no adecuados.
- Paisaje: Deterioro por demoliciones y falta de acciones de restauración de sitios afectados temporalmente.
- Aire y ruido: Emisiones y ruido por maquinaria pesada.

Residuos generados:

- Materiales de demolición (concreto, asfalto).
- Polvo y partículas.

Disposición Final de los residuos:

- Eliminados en rellenos sanitarios y bancos de tiro o reutilizados de manera limitada como material de relleno.

Las prácticas actuales de mantenimiento y modernización de pavimentos destacan por su alta generación de residuos asfálticos y escombros, que en su mayoría no son reciclados. Aunque estos materiales tienen un alto potencial de reutilización, la falta de infraestructura y políticas para el reciclaje en México limita su aprovechamiento. Esto aumenta la demanda de materiales vírgenes, contribuye a la saturación de rellenos sanitarios y bancos de tiro e incrementa las emisiones asociadas a la producción de nuevos materiales.

Impacto: Contaminación del suelo, deterioro paisajístico y aumento en emisiones, lo que representa el desperdicio de recursos valiosos.

2.5.4. Puentes, estructuras

El mantenimiento de puentes y estructuras en infraestructura vial genera una variedad de residuos, principalmente metálicos, concretos y selladores, que tienen un alto potencial de reciclaje. Sin embargo, en México, la falta de sistemas especializados para su recolección y procesamiento limita su aprovechamiento (SEMARNAT, 2024).

Actividades principales:

- Limpieza y reparación de juntas y elementos estructurales de concreto.
- Mantenimiento y reparación de parapetos, bordillos y guarniciones.
- Sustitución de elementos metálicos y selladores en estructuras de soporte.

Impactos adversos destacados:

- Ruido: Generado por herramientas y maquinaria durante las reparaciones, aunque el impacto se limita al entorno inmediato.
- Generación de Residuos Mixtos: La combinación de materiales metálicos y concretos dificulta su separación y reciclaje.

Residuos generados:

- Restos de concreto, selladores y materiales adherentes.
- Elementos metálicos como varillas, placas de acero y juntas metálicas.
- Plásticos y otros materiales secundarios provenientes de embalajes y selladores.

Disposición Final:

- Rellenos sanitarios y bancos de tiro municipales: La mayoría de los residuos se desechan sin separación, lo que limita su reciclaje.
- Incineración: Se realiza principalmente para residuos no reciclables, como plásticos.

El principal desafío radica en la baja reutilización de materiales reciclables y en una gestión ineficaz de residuos mixtos, lo que resulta en un desperdicio considerable de recursos valiosos. La falta de sistemas especializados impide un manejo más eficiente y sostenible.

2.5.5. Túneles

El mantenimiento de túneles presenta características únicas debido a su ubicación y los sistemas específicos requeridos para garantizar su funcionalidad. Estas actividades generan residuos como materiales de limpieza, selladores, componentes electrónicos y restos metálicos, con un alto potencial de reciclaje, aunque enfrentan retos similares a los de puentes y estructuras en cuanto a su manejo adecuado (SEMARNAT, 2024).

Actividades principales

- Reparación de sistemas de ventilación y luminarias.
- Limpieza de bóvedas y superficies internas.
- Sustitución de juntas y sistemas de sellado impermeable.

Impactos adversos destacados

- Ruido: De moderado a bajo, ya que el impacto queda confinado dentro del túnel.
- Calidad del Aire: Potencial afectación local debido a emisiones generadas por maquinaria utilizada en espacios cerrados.
- Hidrología: Problemas menores relacionados con la gestión de aguas residuales en sistemas de drenaje del túnel.

Residuos generados

- Materiales de limpieza como restos de productos químicos y absorbentes.
- Selladores impermeables, juntas y membranas elastoméricas.
- Elementos metálicos provenientes de reparaciones y refuerzos estructurales.
- Residuos electrónicos, como luminarias y componentes de ventilación.
- Boleos y otros materiales provenientes de deslaves y derrumbes.

Disposición final

- Residuos mezclados enviados a rellenos sanitarios y bancos de tiro, con bajo índice de separación.
- Incineración ocasional de materiales plásticos y productos químicos no reciclables.

La mayor parte de los residuos generados en túneles tiene potencial de reciclaje, pero su manejo enfrenta barreras relacionadas con la logística y la falta de infraestructura específica. Esto limita su aprovechamiento y contribuye al aumento de la generación de residuos no valorizados.

2.5.6. Obras de drenaje

La limpieza y mantenimiento de drenajes implican la extracción de sedimentos y desechos sólidos, que no siempre se disponen adecuadamente, lo que puede contaminar cuerpos de agua cercanos (CONAGUA, 2021). Además, el uso de maquinaria para su recolección y transporte al sitio de disposición incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la huella ambiental del sector carretero.

Actividades principales:

- Reparaciones y limpieza de colectores, bordillos, subdrenes y canales.

Impactos adversos destacados:

- Calidad del aire y ruido: Uso de maquinaria genera impactos bajos a moderados.
- Suelo: Compactación y remoción durante reparaciones.
- Hidrología: Sedimentos y residuos que afectan cuerpos de agua.

Residuos generados:

- Restos de estructuras deterioradas.
- Materia orgánica.
- Plásticos
- Sedimentos mezclados con residuos del derecho de vía.

Disposición final de los residuos:

- Rellenos sanitarios y bancos de tiro municipales o incineración sin separación.

El mantenimiento de sistemas de drenaje genera impactos significativos en el recurso hídrico, debido a la contaminación de cuerpos de agua por sedimentos y desechos sólidos. La falta de separación de residuos y su disposición final inadecuada incrementan

este problema. Además, las emisiones por el uso de maquinaria y la compactación del suelo durante las reparaciones son contribuyentes menores pero constantes al deterioro ambiental.

Impacto adverso destacado: Contaminación de recursos hídricos y degradación del suelo, con efectos secundarios en la calidad del paisaje.

2.5.7. Taludes

La estabilización de taludes altera los ecosistemas locales y genera residuos como concreto lanzado y mallas metálicas. Aunque las soluciones de bioingeniería de taludes podrían reducir estos impactos, estas prácticas aún no son comunes en el país (IMT, 2022).

Actividades principales:

- Zampeado, estabilización de taludes, relleno de cortes.

Impactos adversos destacados:

- Vegetación y paisaje: pérdida de cubierta vegetal y alteración al paisaje.
- Suelo: Compactación y pérdida del recurso; contaminación por residuos.



Figura 2.10.
Ejemplos de modificación de paisaje por la construcción de carreteras.
Fuente: (Van Steenbergen et al., 2021)

Residuos generados:

- Materiales de corte, relleno y concreto.

Disposición final del residuo:

- Eliminados en rellenos sanitarios y bancos de tiro o reutilizados de manera limitada como material de relleno.
- Disposición en bancos de tiro, contribuyendo a la saturación de rellenos sanitarios y bancos de tiro.

La estabilización de taludes impacta significativamente en la vegetación y el paisaje debido a las alteraciones realizadas para su construcción y mantenimiento. Aunque las prácticas de bioingeniería de taludes podrían mitigar estos efectos, no son comunes para todos los taludes en el país, y los residuos generados suelen eliminarse en rellenos sanitarios y bancos de tiro sin procesos de valorización.

Impacto adverso destacado: Pérdida de cubierta vegetación y alteración del paisaje, así como pérdida de oportunidad para implementar prácticas sostenibles.

2.5.8. Señalización

El mantenimiento de señalización incluye el uso de materiales plásticos, metales y pinturas, que generan residuos peligrosos y la contaminación de sustrato o cuerpos de agua por residuos peligrosos si no se manejan adecuadamente. La falta de estrategias de recolección y reciclaje contribuye a una gestión ineficiente (DOF, 2018).

Actividades principales:

- Reposición de barrreras de protección, señalización, botones, barreras.

Impactos adversos destacados:

- Vegetación y paisaje: Los residuos generados por el cambio de infraestructura como en la modernización de carreteras que no se disponen adecuadamente generan afectaciones a la flora y calidad visual.

Residuos generados:

- Material metálico y plástico de señalización.
- Restos de dispositivos obsoletos.

Disposición Final del Residuo:

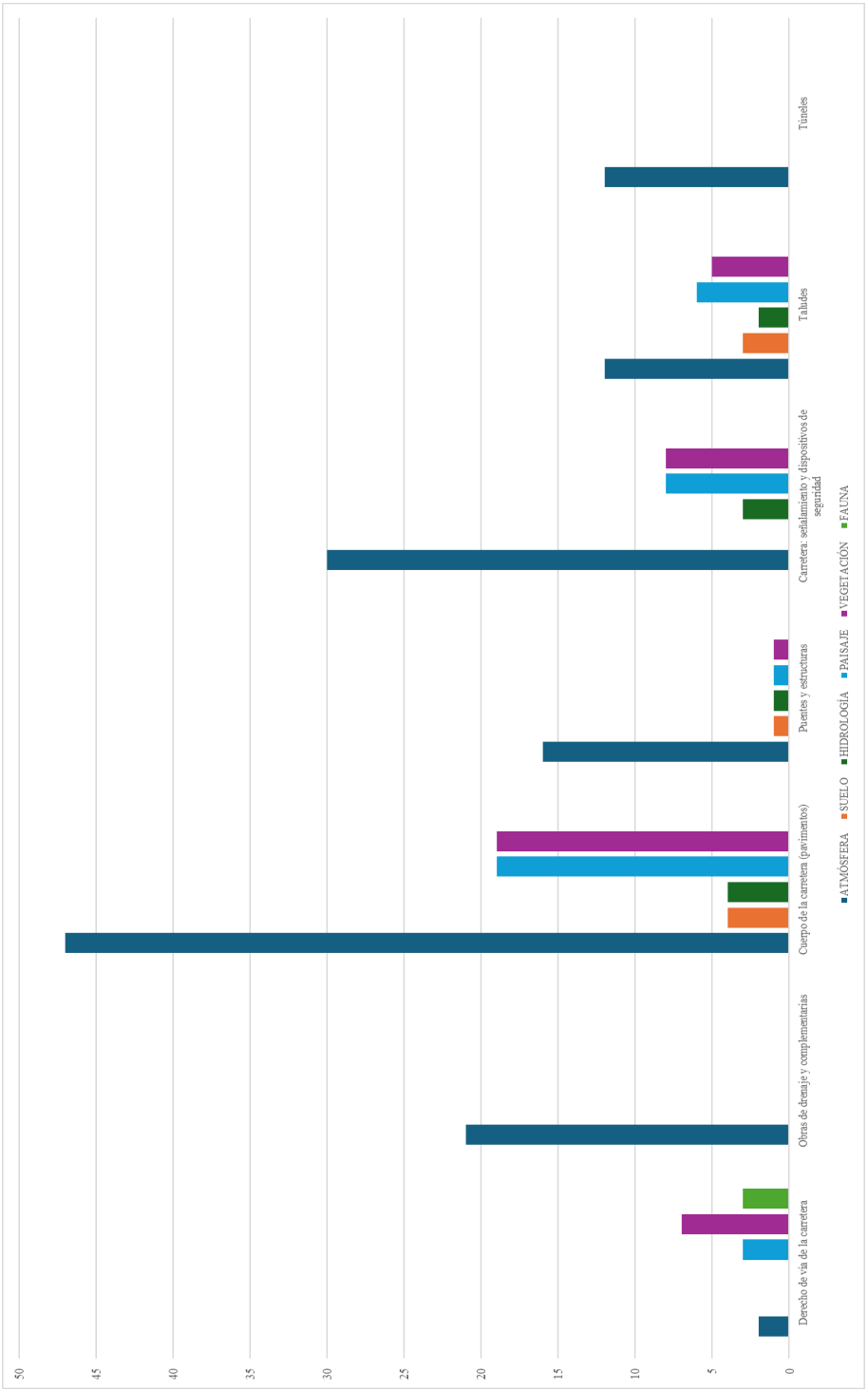
- Algunos residuos se venden como chatarra, pero gran parte se desecha en bancos de tiro.
- Rellenos sanitarios y bancos de tiro municipales o incineración sin separación.

El mantenimiento de la señalización genera residuos plásticos, metálicos y de pinturas, muchos de los cuales son considerados peligrosos. La falta de estrategias de recolección y reciclaje contribuye a una gestión ineficiente.

Impacto adverso destacado: Gestión deficiente de residuos peligrosos y disminución de la calidad visual del paisaje.

2.5.9. Distribución aproximada de los impactos adversos en la conservación carretera actual.

En la Gráfica siguiente se reflejan los factores ambientales sobre los que se generan el mayor número de impactos por tipo de infraestructura en que se realiza la conservación o mantenimiento dentro de cualquier cuerpo carretero.



Gráfica 2.3.
Impactos adversos generados a cada factor ambiental por tipo de estructura durante la conservación de carreteras.
Fuente: Elaboración propia

2.5.10. Conclusión del análisis de impacto ambiental

El análisis evidencia que las prácticas actuales de mantenimiento y conservación de carreteras en México enfrentan importantes desafíos para alcanzar una gestión basada en el desarrollo sustentable. Si bien estas actividades son esenciales para garantizar la funcionalidad de la infraestructura vial, la gestión de residuos y el uso de recursos presentan áreas de oportunidad significativas. La implementación de enfoques más sustentables, como la Economía Circular, podría mitigar los impactos ambientales detectados y contribuir a una gestión más eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Los principales problemas incluyen la generación excesiva de residuos, la disposición inadecuada de estos y la falta de sistemas de valorización y reciclaje; además de una alta dependencia de materiales vírgenes para las obras. Estas limitaciones no solo aumentan los impactos ambientales, sino que también representan una oportunidad perdida para aprovechar materiales reciclables y generar beneficios sociales y económicos; que incluso pueden representar la reducción de costos de las obras.

Incorporar un enfoque de Economía Circular transformaría el escenario actual al:

- Reducir significativamente la generación de residuos mediante el reciclaje de pavimento, concreto y metales.
- Valorar los residuos orgánicos a través de compostaje para su reintegración al suelo.
- Implementar tecnologías de bioingeniería de taludes, que restauren ecosistemas afectados y prevengan la erosión.
- Establecer políticas y centros de reciclaje que gestionen de manera eficiente los residuos peligrosos y electrónicos.
- Reaprovechar materiales pétreos para reducir los requerimientos de material virgen.
- Esta transición no solo minimizaría los impactos ambientales, sino que también contribuiría a cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con la acción climática, el consumo responsable y la vida de ecosistemas terrestres.

2.6. Análisis del nivel de madurez de las practicas de economía circular en la conservación de las carreteras en México

La Economía Circular es un concepto emergente que sigue diferentes principios para reorientar la economía de las organizaciones, sin embargo, estos principios no están estandarizados o armonizados a nivel global por lo que diferentes autores aplican principios específicos para lograr el propósito de sus proyectos o investigaciones. En la conservación de carreteras se han encontrado aplicaciones parciales o interpretaciones propias de estas definiciones, muchas de estas limitadas o acotadas. Por ejemplo, en la hoja de ruta de Residuos para la Construcción y Demolición del Gobierno de Chile (Gobierno de Chile, 2020), se hace referencia a los tres principios de la Economía Circular de acuerdo con la Fundación Hellen MacArthur:

Principio 1: Preservar y mejorar el capital natural, controlando las existencias finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables, por ejemplo, reemplazando los combustibles fósiles con energías renovables.

Principio 2: Optimizar los rendimientos de los recursos, haciendo circular productos, componentes y materiales en uso con la mayor utilidad en todo momento, tanto en ciclos técnicos como biológicos.

Principio 3: Fomentar la efectividad del sistema al identificar, minimizar y evitar las externalidades negativas relacionadas con el uso de recursos, tales como la contaminación del agua, aire y suelo, el ruido, el cambio climático, la generación de toxinas, la congestión y los efectos negativos para la salud.

Sin embargo, dentro en la bibliografía no se sigue una clasificación en específico y se mencionan diferentes principios como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 2.8.

Principios de Economía Circular de acuerdo con distintos autores y que se alinean con el modelo de Ellen MacArthur, utilizados en la conservación de carreteras.

Fuente: Elaboración propia.

Principio Fundación Ellen MacArthur	Principio de Economía Circular	Referencia
Relacionado parcialmente al principio 2.	Minimizar el consumo de recursos naturales. Diseñar pensando en no generar residuos y mantener los recursos en uso y en su más alto nivel de utilidad. Optimizar el valor obtenido en cada etapa de su ciclo de vida. Mejorar el desempeño ambiental y contribuir al desarrollo social.	(Connolly et al., 2023)
Relacionado parcialmente al principio 2.	Cerrar ciclos reutilizando recursos y simbiosis industrial (entre ciudades y carreteras)	(Gryszpanowicz et al., 2023)
Relacionado parcialmente al principio 2.	Uso eficiente de los recursos reduciendo el alto impacto asociado con el sector.	(Agrela et al., 2021)
Relacionado parcialmente al principio 2.	Uso de materiales con bajo impacto ambiental reduciendo la cantidad de materia natural.	(Nedeljković et al., 2021)
Relacionado parcialmente al principio 2.	Destaca procesos de reutilización y reciclaje de materiales de construcción, la deconstrucción selectiva, y la integración de materiales secundarios en la construcción de carreteras y edificios.	(Diemer et al., 2022)(Diemer et al., 2022)

Principio Fundación Ellen MacArthur	Principio de Economía Circular	Referencia
Relacionado parcialmente al principio 2.	Reducción de material mediante especificación y diseño Diseño duradero Mantenimiento, reparación y renovación Reutilización y remanufactura Reciclaje	(Marsh et al., 2022)
Relacionado parcialmente al principio 2.	Reducir el consumo y la importación de minerales para la construcción en Viena.	(Lederer et al., 2020)
Relacionado parcialmente al principio 1 y 2.	Establecer y mejorar el sistema económico de desarrollo circular verde y con bajas emisiones de carbono, promover la transformación verde integral del desarrollo económico y social, avanzar sobre la base del uso eficiente de los recursos, la protección estricta del entorno ecológico y el control eficaz de las emisiones de gases de efecto invernadero, y promover de manera integral el desarrollo de alta calidad y la protección de alto nivel.	(Feng et al., 2022)
Relacionado parcialmente al principio 1.	Promover la bioeconomía Circular como modelos que buscan reducir la dependencia en recursos no renovables y abordar el uso insostenible de los recursos, alineándose con el objetivo general de apoyar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12	(Ding et al., 2024)

Por lo anterior, se puede deducir que la aplicación del concepto de Economía Circular en la conservación de carreteras aún no se encuentra plenamente alineada con marcos teóricos estandarizados o principios formalmente establecidos. En muchos casos, se observan reinterpretaciones o resignificaciones del término por parte de los propios autores, lo que genera enfoques dispares y poco consistentes.

Una de las aproximaciones más completas hacia el desarrollo de una herramienta integral de evaluación es la propuesta de Connolly et al. (2023), quienes diseñaron una metodología de análisis de riesgo específicamente aplicada a la construcción y conservación de carreteras. Este modelo contempla dos categorías de madurez, subdivididas en tres y seis niveles, respectivamente, las cuales se resumen en la Tabla 2.9.

Dicho enfoque permite identificar el grado de incorporación de prácticas sostenibles y circulares en los proyectos viales, estableciendo un marco gradual para su evaluación e implementación.

La Tabla 2.9 presenta el modelo de niveles de madurez en sostenibilidad y Economía Circular propuesto por Connolly et al. (2023), el cual ha sido adaptado para su aplicación en el contexto de conservación y construcción de carreteras.

Este modelo permite evaluar de manera progresiva el grado de incorporación de principios circulares en proyectos viales, diferenciando dos categorías de avance institucional:

- Comprometido con la transición, que incluye los niveles de intención, planeación y monitoreo; y
- Principiante, que refleja etapas operativas en estandarización, integración en la cadena de valor y adaptación del modelo de negocio.

Cada nivel representa una condición específica que las organizaciones o proyectos pueden cumplir, lo cual facilita diagnosticar su situación actual, identificar áreas de mejora y planificar estrategias de evolución hacia una infraestructura vial con enfoque circular.

Tabla 2.9.
Niveles de madurez identificados. Adaptado de *(Connolly et al., 2023)*

Categoría	Nivel 1. Ambición.	Nivel 2. Involucramiento	Nivel 3. Monitoreo del desempeño
Comprometido con la transición	Existe una política o intención escrita.	Existe un plan de transición y se permea en sus comunicaciones externas.	Existe un inventario de recursos con indicadores clave de desempeño y metodología de evaluación que se sostiene a lo largo del tiempo.
Categoría	**Nivel 4. Estandarización.**	**Nivel 5. Simbiosis industrial**	**Nivel 6. Modelo de negocio**
Principiante	Existen estándares o especificaciones definidas que son reconocidos por otras organizaciones.	Existe un involucramiento en su cadena de valor que le permite integrar materiales secundarios o reutilizados, energías renovables o proporcionarlos.	En su modelo de negocio se percibe el enfoque hacia la Economía Circular.

Este modelo es una pauta general para encaminar una organización hacia la Economía Circular. En el sector carretero es necesario iniciar con una política o intención escrita, involucrando a sus colaboradores, proveedores, contratistas y toda su cadena de valor, hacer un esquema de indicadores de desempeño ambiental claves para medir su situación actual, incorporar criterios en su normativa, crear mecanismos para generar simbiosis con otros grupos de interés, todo con el fin de incorporar criterios de Economía Circular.

2.7. Hacia un futuro sostenible en la conservación y obras de las carreteras en México, desafío y oportunidad

Con el objetivo de evaluar el grado de implementación de los principios hacia un modelo de Economía Circular en proyectos de infraestructura vial (Piñones *et al.,* 2023) propone que se priorice la mejora de las siguientes prácticas circulares, en ese orden de importancia:

Diseño de pavimentos con criterios ambientales

Evaluar si existe reemplazo de insumos tradicionales y vírgenes por materiales renovables, de origen biológico, no tóxicos y/o recuperados que puedan reutilizarse o reciclarse en el futuro. Como en el caso del Reciclado de Pavimentos Asfálticos (RAP por sus siglas en inglés) Asociación Mexicana del Asfalto, 2003).

Enfoques de diseño circular

Priorizar los modos de transporte sostenibles, con inversión orientada a un plan estratégico multimodal a nivel de ciudad, aplicación de tecnologías 4.0 y reducción de la huella de carbono.

Enfoques constructivos circulares

El nivel de circularidad en la aplicación de elementos constructivos, basados principalmente en tecnologías 4.0 de la industria, compra pública verde y gestión de residuos en obra, para lograr mayor eficiencia, mayor productividad, menores residuos, mejora de la seguridad y minimización de externalidades e impactos ambientales en la etapa constructiva del proyecto;

Enfoques de operación circular

Medir el nivel de circularidad en relación con la aplicación de estrategias orientadas a la eficiencia en el uso de recursos, eliminación de desperdicios de recursos y energía, circularidad interna de recursos, mantenimiento preventivo y minimización de externalidades e impactos ambientales durante la etapa de operación del proyecto con el objetivo de optimizar la vida útil de la infraestructura y aumentar la posibilidad de reutilización de recursos en el futuro;

Enfoques de deconstrucción y recuperación de recursos

Evaluar el nivel de circularidad en relación con la aplicación de estrategias orientadas al desmantelamiento eficiente, la separación de flujos de residuos para facilitar el reciclaje y la reutilización de estos materiales en otros proyectos, con el objetivo de mantenerlos en el mayor valor y rendimiento posibles y maximizar la reintroducción de estos materiales en los ciclos de uso después de su eliminación al final de la vida útil del proyecto;

Creación de valor social

Evaluar el nivel de circularidad con relación al valor social generado por el proyecto, entendido como la aportación de valor más allá del ámbito financiero, considerando aspectos como: seguridad ciudadana, cohesión social, participación ciudadana, etc., con

el fin de obtener el máximo rendimiento de los materiales, energía y recursos en general utilizados en el proyecto para generar una contribución significativa a la creación de valor social;

Desempeño Económico

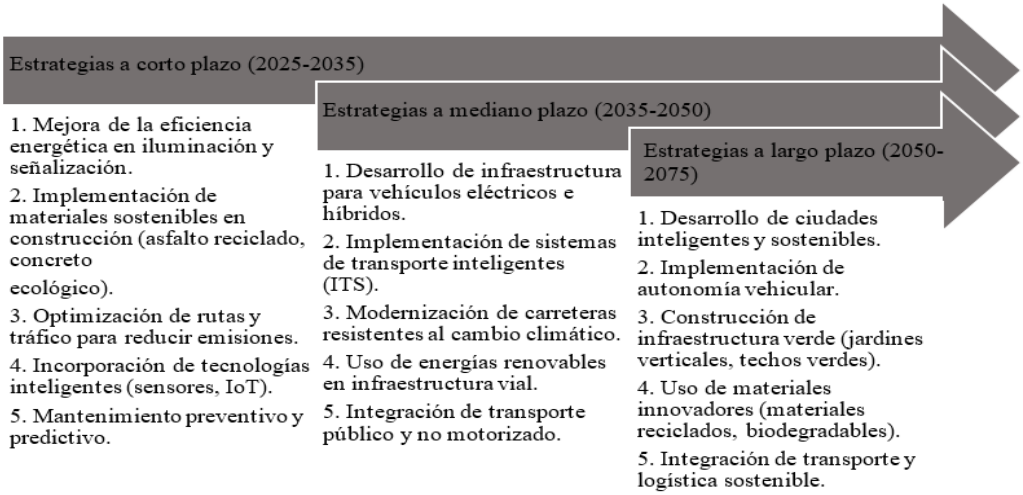
Medir el nivel de circularidad en relación con la creación de valor económico generado por el proyecto, considerando aspectos productividad material, productividad de residuos, mercados de materias primas, valor preservado, etc., con el objetivo de obtener la máxima rentabilidad económica de la aplicación en el proyecto de modelos de negocio circulares.

Carreteras sustentables

Diseñar carreteras eficaces y planeadas eficientemente, en su diseño, construcción, operación y conservación, a través de políticas integradas con respecto al medio ambiente conservando el beneficio socioeconómico esperado en términos de movilidad y seguridad vial (Mendoza-Sánchez, 2015).

Para llevar a cabo estas acciones se requiere una visión estratégica para la transición hacia una infraestructura vial sostenible en México, con metas proyectadas a corto, mediano y largo plazo, a través de acciones que busquen no solo mejorar la funcionalidad y resiliencia de las carreteras, sino también reducir su impacto ambiental, fomentando un desarrollo socioeconómico equilibrado y sostenible. Un panorama general de esta transición se presenta en la siguiente tabla

Tabla 2.10.
Estrategias para la sostenibilidad en la infraestructura vial: una proyección a corto, mediano y largo plazo.
Elaboración Propia.



3. Implementación de estrategias de economía circular en la conservación de las carreteras

3.1. Gestión de materiales y residuos

Pese a estos esfuerzos, durante los últimos años el incremento de la carga de contaminantes, el incremento en los residuos que no son aprovechados, así como el incremento en los GyCEI en el medio ambiente, ha producido y están produciendo, una fuerte degradación del medioambiente. Los defectos de programas de gestión de residuos se deben, principalmente a que responden a una visión parcial del problema (los residuos van acompañados de emisiones de todo tipo), no tienen en cuenta la complejidad de la composición de las emisiones en las industrias (no todos los contaminantes están regulados por las normativas), y debido a que se trasladan los contaminantes de un lado a otro (no se puede evitar que tarde o temprano lleguen al medio. (Castells, 2000). En México se necesita crear infraestructura para la gestión de residuos, contar con tecnología para ello, así como con sistemas de recolección adecuados.

La prevención y minimización de los residuos tienen como objetivo central el bienestar social y la reducción de desigualdad, por lo que la gestión integral de residuos debe considerar las siguientes acciones:

- Mejora de servicios
- Valorización material y energética
- Inspección y vigilancia
- Creación de organismos operadores
- Generación de cadenas productivas para el aprovechamiento

Y las diferentes figuras involucradas tienen una responsabilidad compartida en la gestión de los residuos

- Generadores
- Importadores
- Exportadores
- Comercializadores
- Consumidores
- Empresas de servicios de manejo de residuos
- Autoridades de los tres órdenes de gobierno

En el marco de la Economía Circular, la clasificación de materiales es fundamental para promover la reutilización, reciclaje y reducción (conocido como las 3Rs) de residuos o la disminución del impacto ambiental adverso. Esta nemotecnia se ha popularizado por las organizaciones de la sociedad civil para concientizar a la población e industria para abordar el problema de la gestión de residuos. Con el tiempo, se han incluido otras Rs como: Reducir, Refabricar, Remanufacturar, Redistribuir, Reusar y Reparar (conocido como las 7 Rs) con la intención de incrementar las acciones que podemos realizar en diferentes etapas del ciclo de vida. Este enfoque busca transformar el actual modelo lineal de producción y consumo en un sistema circular donde los materiales se mantengan en uso el mayor tiempo posible. Para gestionar adecuadamente los residuos es importante clasificar los materiales por su origen. Esta clasificación de materiales se propone de la siguiente manera:

- **Materiales Vírgenes:** Aquellos que se extraen directamente de la naturaleza y son consumidos por las actividades productivas. Su utilización debe ser minimizada para preservar los recursos naturales.
- **Materiales Secundarios o Reciclados:** Aquellos que han sido recuperados y procesados para ser reutilizados en nuevos productos. En el sector de la construcción, el reciclaje de asfalto y concreto es común. Estos pueden provenir de otras industrias o de comunidades aledañas como los residuos de concreto de la demolición.
- **Materiales Renovables:** Aquellos que pueden regenerarse en un corto periodo de tiempo, como la madera de los árboles.
- **Materiales No Renovables:** Aquellos que no se regeneran o lo hacen a una tasa muy lenta, como los metales y minerales o los combustibles fósiles.
- **Materiales Sustitutos:** Aquellos que tienen las mismas características que el material virgen o no renovable que puede cumplir con las especificaciones para su uso de acuerdo con la normatividad.

En general, el residuo, es aquella sustancia u objeto material generado por una actividad productiva o de consumo, de la que hay que desprenderse por no ser objeto de interés directo de la actividad principal. En el marco de la Economía Circular, la correcta clasificación de residuos es fundamental para promover su reciclaje y reutilización. Una clasificación detallada de los diferentes tipos de residuos y subproductos en la conservación de carreteras se muestra en la Tabla 3.1

Tabla 3.1.
Clasificación de los residuos

1. Residuos Orgánicos	3. Subproductos	5. Generadores Específicos
Residuos de origen biológico que alguna vez estuvieron vivos o fueron parte de un ser vivo.	Materiales que pueden ser reciclados y reutilizados en diferentes procesos industriales. Entre ellos se encuentran: • Cartón • Envase de cartón encerado • Fibras sintéticas • Hule • Lata • Material ferroso • Material no ferroso • Papel • PET • Plástico rígido y de película • Poliestireno expandido • Poliuretano • Vidrio de color y transparente • Cuero • Fibra dura vegetal • Hueso • Madera • alimentarios • Residuos de jardinería • Algodón • Loza y cerámica • Material de construcción • Pañal desechable • Residuo fino • Trapo • Otros (Naturales, 2020)	Sectores que producen tipos particulares de residuos: • Sector salud • Sector transporte • Actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas y ganaderas • Tiendas departamentales
2. Residuos Inorgánicos		**6. Residuos Comunes en Diversos Sectores**
Residuos que no tienen origen biológico.		Residuos recurrentes en diferentes industrias y sectores: • Papel y cartón • Plásticos • Envases y embalajes de madera • Vidrio • Orgánicos • Envases metálicos • Neumáticos usados • Electrónicos algunos electrodomésticos (DOF, 2022)
4. Residuos de Manejo Especial (RME)		
Residuos que requieren una gestión diferenciada debido a sus características específicas: • Residuos de la construcción • Residuos tecnológicos • Autos usados al final de su vida útil • Neumáticos • Pilas		

El principio de eliminación de residuos y de contaminación puede describirse en un proceso de 7 etapas el cual es fundamental para estructurar estrategias que promuevan la reutilización, reciclaje y reducción de residuos en diversas industrias, incluida la conservación de carreteras.

Tabla 3.2.
Etapas clave de la economía circular aplicables a la conservación de las carreteras y su relevancia operativa

Descripción de las etapas de la economía circular y su relevancia operativa en el sector de conservación de carreteras	
Etapas	**Descripción**
Materias Primas	Son los materiales usualmente extraídos o producidos a partir de recursos naturales u obtenidas a través de la recuperación o reciclaje de residuos sólidos antes de su disposición final. Por ejemplo: Se podría priorizar el uso de asfalto reciclado proveniente de carreteras deterioradas o residuos de construcción, en lugar de materiales vírgenes. Esto reduciría la extracción de recursos naturales y fomentaría la reutilización de materiales existentes.
Ecodiseño	Estrategia ambiental centrada en diseñar elementos que reduzcan el uso de materias primas y sean reciclables o reutilizables al final de su vida útil. En conservación vial, esto incluye mezclas asfálticas de alta durabilidad, sistemas de drenaje eficientes y soluciones modulares para facilitar mantenimiento, reparación o reciclaje.
Manufactura	En esta etapa es necesaria la aplicación del concepto “producción limpia”, concepto que fue definido por el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (por sus siglas en inglés UNEP) como una estrategia integral medioambiental aplicada al proceso de producción para incrementar la ecoeficiencia y reducir el impacto ambiental e. Por ejemplo: En carreteras, esto implica el uso de energías limpias y técnicas que disminuyen emisiones durante la fabricación de mezclas asfálticas o concreto.
Distribución	Esta etapa implica el transporte y entrega eficiente de materiales, asegurando que se minimicen los impactos ambientales durante el traslado. En el contexto carretero, esto puede lograrse optimizando rutas logísticas, utilizando vehículos con bajas emisiones o incorporando tecnologías que permitan una mejor trazabilidad del origen y destino de los materiales. Una distribución eficiente también ayuda a reducir costos operativos y facilita la implementación de estrategias de economía circular como el just-in-time o acopios locales para evitar desperdicios.
Uso y Consumo	El proceso de uso o consumo en conjunto con la producción/distribución, cambia el concepto de “fin de vida” al reducir, redefinir, reciclar y recuperar materiales. Por ejemplo: En la conservación y uso de carreteras, se fomentaría el uso de vehículos eléctricos para trabajos de conservación y la sustitución de los materiales utilizados para que puedan ser recuperados al final de su vida útil o reincorporados en otra cadena productiva
Recolección	La recolección y transporte eficientes son clave para la economía circular. En conservación vial, esto incluye establecer sistemas logísticos que reduzcan emisiones y garanticen el traslado de residuos —como fresado asfáltico, señalización o escombros— a centros de acopio o reciclaje cercanos.

Descripción de las etapas de la economía circular y su relevancia operativa en el sector de conservación de carreteras	
Etapas	**Descripción**
Tratamiento y Disposición	Los tratamientos a los residuos son mecanismos que pueden ayudar a reducir el volumen y toxicidad de los residuos previos a su disposición, pudiendo ser clasificados como tratamientos biológicos, físicos y químicos. Por ejemplo: Los residuos recolectados serían tratados mediante métodos físicos o químicos para recuperar materiales como áridos o betún, que se reincorporarían en nuevas obras viales. Esto evitaría la disposición final en rellenos sanitarios y bancos de tiro y minimizaría la generación de desechos.

Este enfoque no solo reduce costos operativos y el impacto ambiental, sino que también fomenta la sostenibilidad y el cumplimiento con las nuevas regulaciones ambientales. Por ejemplo, el uso de materias primas recicladas y el ecodiseño contribuyen a disminuir la huella de carbono, mientras que una mejor gestión de residuos previene la contaminación del suelo y el agua. Así, el mantenimiento y conservación de carreteras podría evolucionar hacia un modelo circular que alinea los objetivos ambientales, sociales y económicos.

Por otro lado, cada etapa requiere un análisis para: (1) reducir, (2) refabricar, (3) remanufacturar, (4) redistribuir, (5) reusar, (6) reparar, y (7) reciclar como se explica en la tabla y el esquema.

Tabla 3.3.
Descripción del proceso de las 7 etapas de la economía circular

Descripción de 7 R´s cruciales para la aplicación de la economía circular	
Ciclo Reversible	**Descripción**
Reducir	Disminuir el consumo de recursos y la generación de residuos.
Refabricar	Es el proceso de regresar un producto a buenas condiciones, reemplazando o reparando la mayoría de sus componentes que no funcionan o están cerca de fallar, darles una segunda vida.
Remanufacturar	Comprende actividades para extender la vida útil del producto a través de reparaciones, restauraciones y mejoras. Crear productos y sistemas que tengan un menor impacto ambiental desde el principio.
Redistribuir	Comprende la logística reversible. Extraer y recuperar materiales y energía de residuos que no pueden ser reciclados.
Reusar	Cualquier operación realizada con productos o componentes que no son residuos para utilizarlos de nuevo con el mismo propósito por el que fueron hechos. Aprovechar materiales y productos existentes en su forma actual siempre que sea posible.

Descripción de 7 R´s cruciales para la aplicación de la economía circular	
Ciclo Reversible	**Descripción**
Reparar	Consiste en restaurar artículos existentes. Extender la vida útil de productos y materiales mediante la reparación.
Reciclar	Se define como las acciones del reprocesamiento de un producto y recuperación de material secundario utilizados para manufacturar nuevos productos.



Figura 3.1.
Etapas de la Economía Circular aplicadas a la infraestructura vial

3.2. Gestión de materiales y residuos en las practicas de conservación de las carreteras

Para el caso particular de las obras de conservación de carreteras, en el ANEXO 2. se desarrollan todas las actividades que se llevan a cabo en este sector y el tipo de residuo que se genera de manera detallada. En la siguiente tabla, se muestra un resumen

generalizado de los residuos que se obtienen, permitiendo entender de manera directa la relación entre el tipo de residuo y las acciones específicas que lo producen.

Tabla 3.4.
Identificación general de residuos por actividad en las prácticas de conservación de las carreteras

Residuos generados de las actividades de conservación	Actividades Generadoras
Agua	Limpieza de paredes y bóvedas
Algunas raíces y plantas	Limpieza de pilas, cunetas, estribos y aleros
Azolve, plásticos	Relleno con material de banco en corte o terraplén
Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, residuos orgánicos animales (animales domésticos, federales y otros), vegetación	Limpieza de obras de drenaje
Barrera de protección de concreto, ganchos de sujeción de acero	Acciones en limpieza de barreras de protección.
Barrera de protección de acero de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tornillería de acero, dispositivos reflejantes.	Reposición total de barreras de protección centrales de concreto hidráulico y metálicas
Bloques y pedacería de concreto hidráulico, barras y varillas de acero	Reposición de barreras de protección centrales de concreto.
Boleos, rocas pequeñas	Zampeado en cortes a poca altura
Dispositivos reflejantes	Reposición de dispositivos de seguridad
Concreto diluido	Demolición de lozas de concreto hidráulico
En este proceso, prácticamente no existen residuos mostrando el menor impacto ambiental de las obras y actividades de infraestructura verde.	Arrope de taludes
Junta de neopreno, pedacería de concreto	Reposición del sello en juntas de dilatación
Junta metálica y junta de neopreno, pedacería de concreto	Reposición de juntas de dilatación

Residuos generados de las actividades de conservación	Actividades Generadoras
Lámparas, focos	Reparación del sistema de iluminación
Macizos rocosos, boleos, algunas raíces y plantas	Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado
Malla antideslumbrante, alambre galvanizado, tubular de acero	Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera de protección central
Mezcla asfáltica	Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo SMA y CASAA
Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica	Remoción de carpeta asfáltica en puentes
Pedacería de carpeta asfáltica	Recorte de pavimentos
Pedacería de concreto, indicadores de camino (dispositivos reflejantes)	Reposición de indicadores para alineamiento
Pedacería de concreto, malla electrosoldada	Relleno de oquedades
Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC	Reparación
Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de diferentes calibres y medidas, tornillería, placas de acero	Reposición de señales verticales
Pedacería de concreto, varilla (armex)	Reparaciones mayores
Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra	Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones
Plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación	Limpieza manual sobre laterales y camellón central
Polvo	Estabilización de refuerzos de revestimiento con cloruro de calcio
Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico	Reposición de cercado con postes de concreto y alambre de púas
Residuos de asfalto, selladores y otros cementicos	Calafateo de fisuras, Calafateo de fisuras

Residuos generados de las actividades de conservación	Actividades Generadoras
Postes de concreto, alambre de púas	Sustitución de postes de derecho de vía
Refacciones de equipo de ventilación, envases de aire comprimido	Reparación del sistema de ventilación
Desperdicios del material del riego de sello (como emulsiones asfálticas	Acciones de conservación preventiva del pavimiento
Troncos, ramas	Poda de árboles
Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, etc.)	Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes; limpieza de obras de drenaje transversal y longitudinal; Control mecánico de maleza en laterales y camellón central
Botones, pegamento bituminoso y epóxico	Reposición total de dispositivos reflejantes u otros dispositivos de seguridad.

Algunas recomendaciones necesarias en la actualidad son:

- Diseñar Programas de Gestión de Residuos como crear estaciones locales para clasificar, almacenar y procesar residuos como concreto, vegetación, metales y plásticos.
- Fomentar el Uso de Materiales Sustentables, como sustituir productos de difícil reciclaje (como pegamentos epóxicos) por alternativas más sostenibles.
- Generar el aprovechamiento de Residuos Orgánicos, como implementar procesos de compostaje o generación de biogás a partir de los desechos orgánicos.
- Fomentar la capacitación y sensibilización hacia los equipos de mantenimiento sobre prácticas sostenibles y la importancia de reducir y clasificar los residuos generados.

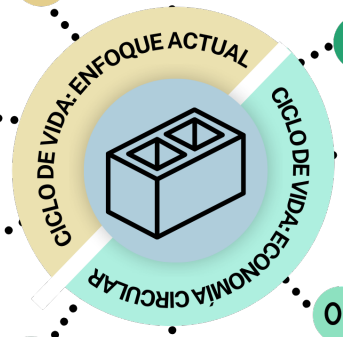
3.3. Ciclos de vida de los materiales en la conservación de las carreteras

Los materiales utilizados en la construcción y conservación de infraestructura tienen ciclos de vida distintos. Algunos de ellos no pueden reintegrarse a la naturaleza en su forma original, mientras que otros son reciclables y pueden reaprovecharse en nuevos procesos productivos, lo que representa una ventaja significativa en términos de sostenibilidad. Asimismo, implementar productos y tecnologías innovadoras, generalmente incluye la reducción de emisiones y contaminación, un menor consumo de energía y la minimización de residuos.

Identificar los ciclos de vida de los materiales y esquematizarlos bajo un contexto de Economía Circular es importante para mejorar su gestión. A continuación, describiremos el ciclo de vida de los residuos más generados en la conservación de carreteras y su ciclo de vida considerando prácticas de Economía Circular:

3.3.1. Residuos de Construcción (Concreto y Agregados)

RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN



01 Generación
Fragmentos de pavimento, producto de las actividades de conservación.

02 Recolección y almacenamiento
Acumulación en obra o bancos de tiro sin tratamiento posterior.

03 Disposición final
Disposición en rellenos sanitarios, contribuyendo a su saturación, o reutilizados de manera limitada como material de relleno.

04 Pérdida de valor del material
Materiales de alta densidad no reaprovechados como insumos reciclados.

01 Generación
Introducción de prácticas de demolición selectiva para facilitar la recolección de concreto limpio y prácticas de fresado controlado para optimizar el reciclaje.

02 Recolección y clasificación
Recolección específica de pavimentos asfálticos, evitando la mezcla con otros materiales y separación de concreto, agregados y cemento para facilitar su reciclaje.

03 Reutilización
Uso de agregados reciclados en bases hidráulicas o sub-bases en nuevos proyectos de pavimentación. El asfalto podría ser reutilizado con mayor eficiencia.

04 Procesamiento y reciclaje
Recuperación y reprocesamiento en plantas de reciclaje de asfalto para producir nuevas mezclas, así como trituración de concreto para generar agregados secundarios.

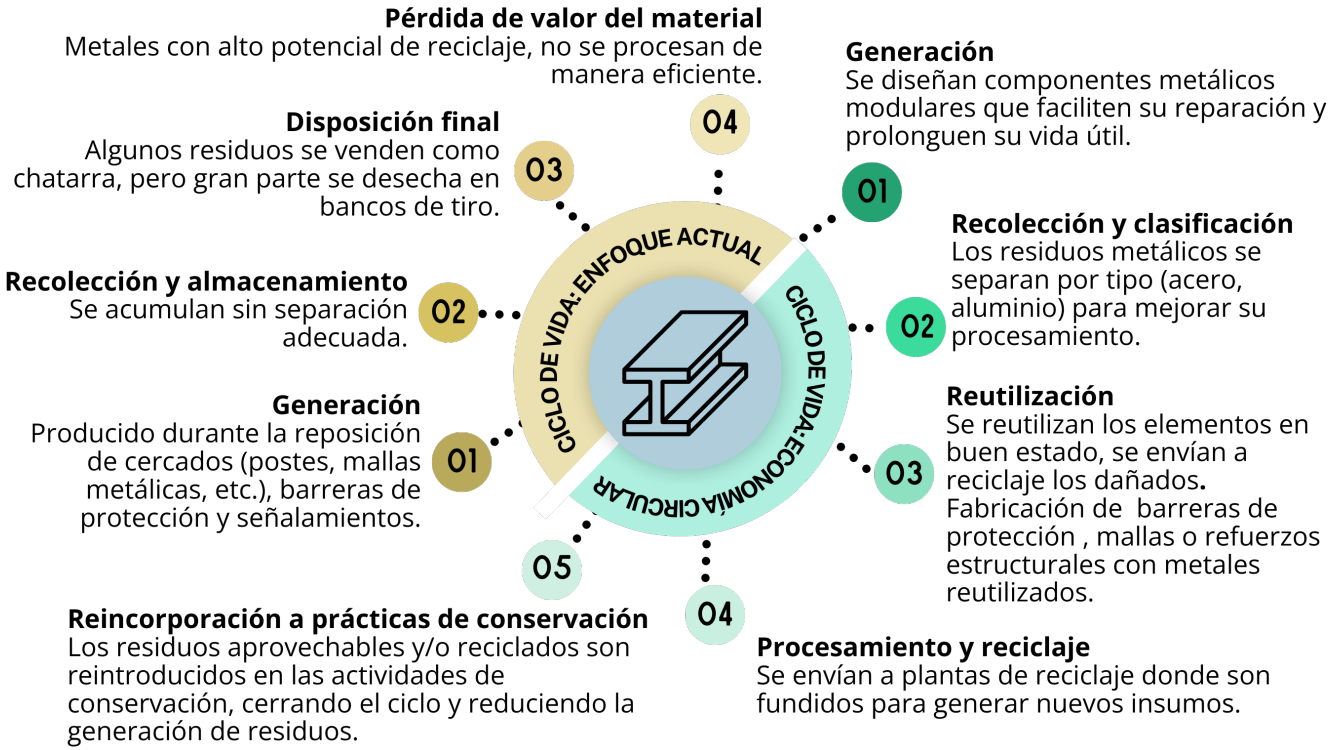
05 Reincorporación a prácticas de conservación
Los residuos aprovechables y/o reciclados son reintroducidos en las actividades de conservación, cerrando el ciclo y reduciendo la generación de residuos.

PRÁCTICAS SUSTENTABLES:

- Diseñar políticas que incentiven la reutilización del 100% de los pavimentos retirados.
- Inclusión de concreto reciclado en nuevas mezclas.
- Uso de tecnologías de trituración móvil en sitio.

3.3.2. **Residuos Sólidos de Metal y Chatarra**

RESIDUOS DE METALES



Generación
Se diseñan componentes metálicos modulares que faciliten su reparación y prolonguen su vida útil.

Recolección y clasificación
Los residuos metálicos se separan por tipo (acero, aluminio) para mejorar su procesamiento.

Reutilización
Se reutilizan los elementos en buen estado, se envían a reciclaje los dañados**.**
Fabricación de barreras de protección , mallas o refuerzos estructurales con metales reutilizados.

Procesamiento y reciclaje
Se envían a plantas de reciclaje donde son fundidos para generar nuevos insumos.

Reincorporación a prácticas de conservación
Los residuos aprovechables y/o reciclados son reintroducidos en las actividades de conservación, cerrando el ciclo y reduciendo la generación de residuos.

Recolección y almacenamiento
Se acumulan sin separación adecuada.

Generación
Producido durante la reposición de cercados (postes, mallas metálicas, etc.), barreras de protección y señalamientos.

Disposición final
Algunos residuos se venden como chatarra, pero gran parte se desecha en bancos de tiro.

Pérdida de valor del material
Metales con alto potencial de reciclaje, no se procesan de manera eficiente.

PRÁCTICAS SUSTENTABLES:

- Emplear materiales reciclados en barreras de protección y señalamientos.
- Desarrollar estrategias de conservación de carreteras preventivas para minimizar residuos.

3.3.3. Residuos Sólidos De Plástico, Papel y Cartón

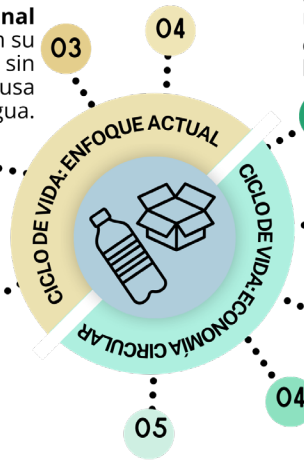
RESIDUOS DE PLÁSTICO, PAPEL Y CARTÓN

Pérdida de valor del material
No son reutilizados ni reciclados, perdiendo su valor potencial y contribuyendo a la contaminación ambiental.

Disposición final
Los residuos son desechados, en su mayoría, en rellenos sanitarios sin separación o son incinerados, lo que causa contaminación del suelo, aire y agua.

Recolección y almacenamiento
Se recogen y almacenan temporalmente en sitios de obra mezclados con otros residuos sólidos en campamentos.

Generación
Durante las actividades de conservación de carreteras se generan plásticos, papel y cartón como cintas, contenedores, empaques de cemento, sacos de materiales, documentos administrativos, entre otros.



Generación
Uso de empaques de plástico, papel y cartón reciclado en operaciones logísticas.

Recolección y clasificación
Clasificación de plástico, papel y cartón en puntos específicos de obra para facilitar su reuso y reciclaje.

Reutilización
Reutilización de empaques o embalajes en procesos operativos

Procesamiento y reciclaje
Los residuos que no se pueden reutilizar, se envían a plantas de reciclaje donde se procesan para convertirlos en material secundario para uso como materia prima.
Se producen nuevos elementos útiles para la conservación de carreteras, como señalización reciclada o materiales compuestos.

Reincorporación a prácticas de conservación
Los residuos aprovechables y/o reciclados son reintroducidos en las actividades de conservación, cerrando el ciclo y reduciendo la generación de residuos.

PRÁCTICAS SUSTENTABLES:

- Sustituir bolsas plásticas por sacos reutilizables en actividades logísticas.
- Implementar sistemas de logística inversa para recoger plásticos usados y reincorporarlos al ciclo.
- Sustituir embalajes de cartón virgen por cartón reciclado.

3.3.4. Fracción Orgánica

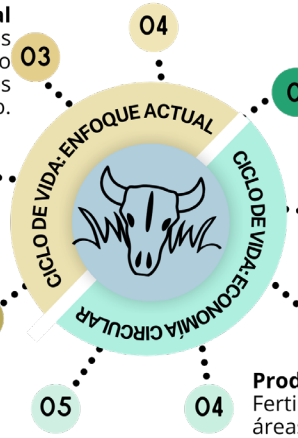
RESIDUOS DE FRACCIÓN ORGÁNICA

Pérdida de valor del material
Sin tratamiento, desaprovechando su potencial para generar energía o fertilizantes.

Disposición final
Desechados en bancos de tiro, enterrados o quemados en sitios no controlados o eliminados en rellenos sanitarios contribuyendo a emisiones de carbono.

Recolección y almacenamiento
Son recolectados y mezclados con otros residuos sólidos en el derecho de vía, sin manejo especial.

Generación
Provenientes de podas, control de maleza, limpieza de obras de drenaje y limpieza de taludes, así como de animales atropellados o restos de fauna en actividades de conservación de carreteras.



Generación
Clasificación desde el origen como residuo compostable.

Procesamiento
Compostaje para producir fertilizantes ricos en nitrógeno o biodigestión en plantas cercanas para producir biogás.

Reutilización
Uso como abono orgánico en proyectos en áreas verdes de revegetación.

Producción y reciclaje
Fertilizantes orgánicos para restauración de áreas verdes, composta y generación de energías renovables.

Reincorporación a prácticas de conservación
Los residuos aprovechables y/o reciclados son reintroducidos en las actividades de conservación, cerrando el ciclo y reduciendo la generación de residuos.

PRÁCTICAS SUSTENTABLES:

- Establecer áreas de compostaje en campamentos de obra.
- Integrar residuos orgánicos en proyectos de restauración ecológica.
- Implementar sistemas de biodigestores móviles en zonas rurales.
- Educación en el manejo correcto de residuos animales para minimizar riesgos sanitarios.

NOTA: El manejo de residuos orgánicos de animales es complejo y requiere tratamientos especializados para garantizar que su reutilización sea segura y efectiva. Las estrategias más recomendadas son el compostaje termófilo y la digestión anaerobia, ya que generan subproductos útiles como fertilizantes y energía. Sin embargo, la implementación de estas estrategias debe considerar la infraestructura disponible, la normativa local y el volumen de residuos generados.

3.3.5. Lodos


RESIDUOS DE LODOS
Pérdida de Valor
No son reutilizados, perdiendo su valor potencial y contribuyendo a la contaminación ambiental
Disposición final
Este tipo de residuos generalmente se depositan en zonas adyacentes a la vialidad o en el derecho de vía, en algunos casos se transportan a rellenos sanitarios.
Recolección y almacenamiento
Son recolectados con otros residuos producto de la conservación sin manejo especial
Generación
Generados por agua de lavado con cloruro de calcio, provenientes de actividades como la estabilización de revestimientos o bien de los sedimentos depositados en las estructuras de drenaje.
Reincorporación a prácticas de conservación
Los residuos aprovechables y/o reciclados son reintroducidos en las actividades de conservación, cerrando el ciclo y reduciendo la generación de residuos.
Producción de nuevos materiales o productos
Fabricación de ladrillos y materiales cerámicos, algunos lodos, según su composición, pueden emplearse en procesos de co-combustión, o aplicar lodos tratados como enmienda para mejorar la calidad del suelo.
Procesamiento y reciclaje
El reciclaje de lodos enfrenta mayores desafíos debido a la necesidad de tratamientos previos para remover contaminantes y ajustar la composición química. Su uso es factible, pero requiere inversiones en infraestructura adecuada.
Generación
Generados por agua de lavado con cloruro de calcio, provenientes de actividades como la estabilización de revestimientos o bien de los sedimentos depositados en las estructuras de drenaje.
Reutilización
Emplearse en estabilización de suelos o relleno para obras menores, siempre que no estén contaminados con sustancias químicas peligrosas.
CICLO DE VIDA: ENFOQUE ACTUAL
CICLO DE VIDA: ECONOMÍA CIRCULAR
01
02
03
04
05
PRÁCTICAS SUSTENTABLES:
Podrían emplearse en estabilización de suelos o relleno para obras menores, siempre que no estén contaminados con sustancias químicas peligrosas. Esto reduce el uso de materiales vírgenes y disminuye la disposición final en vertederos.
· Fabricación de ladrillos y materiales cerámicos: Usan lodos deshidratados como aditivo en arcillas.
· Restauración de suelos: Aplican lodos tratados como enmienda para mejorar la calidad del suelo.
· Energía renovable: Algunos lodos, según su composición, pueden emplearse en procesos de co-combustión, cuando tienen alto contenido de materia orgánica, sin embargo, es necesario que se encuentren secos.

3.3.6. Caucho

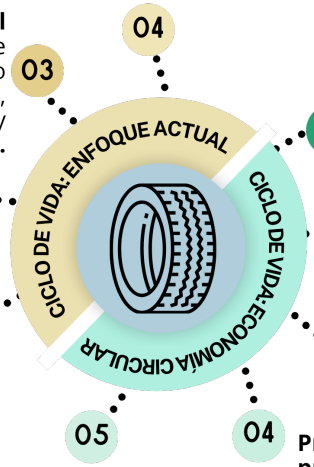
RESIDUOS DE CAUCHO

Pérdida de Valor
Al no reincorporarse a cadenas productivas, el caucho pierde su utilidad económica y ambiental. Se desaprovecha su potencial para prolongar la vida útil de materiales o mejorar mezclas para infraestructura.

Disposición final
Una gran proporción de residuos de caucho termina en tiraderos a cielo abierto, rellenos sanitarios o es incinerada, lo cual genera emisiones contaminantes y pérdida de recursos aprovechables.

Recolección y almacenamiento
La recolección y transporte pueden complicarse en áreas alejadas o con baja densidad de generación de residuos.

Generación
Pedacería de llantas, generados durante la limpieza de rodaduras, alcantarillas, cunetas y canales.



Generación
Residuos de llantas, provenientes de limpieza de vialidades, cunetas y estructura.

Reutilización
Uso directo en bases, barreras temporales o elementos amortiguantes en obra vial.

Procesamiento y reciclaje
Triturado y conversión en grano de caucho o polvo para su re-aprovechamiento.

Producción de nuevos materiales o productos
Aplicación en mezclas asfálticas, pisos, suelas, amortiguadores o juegos infantiles.

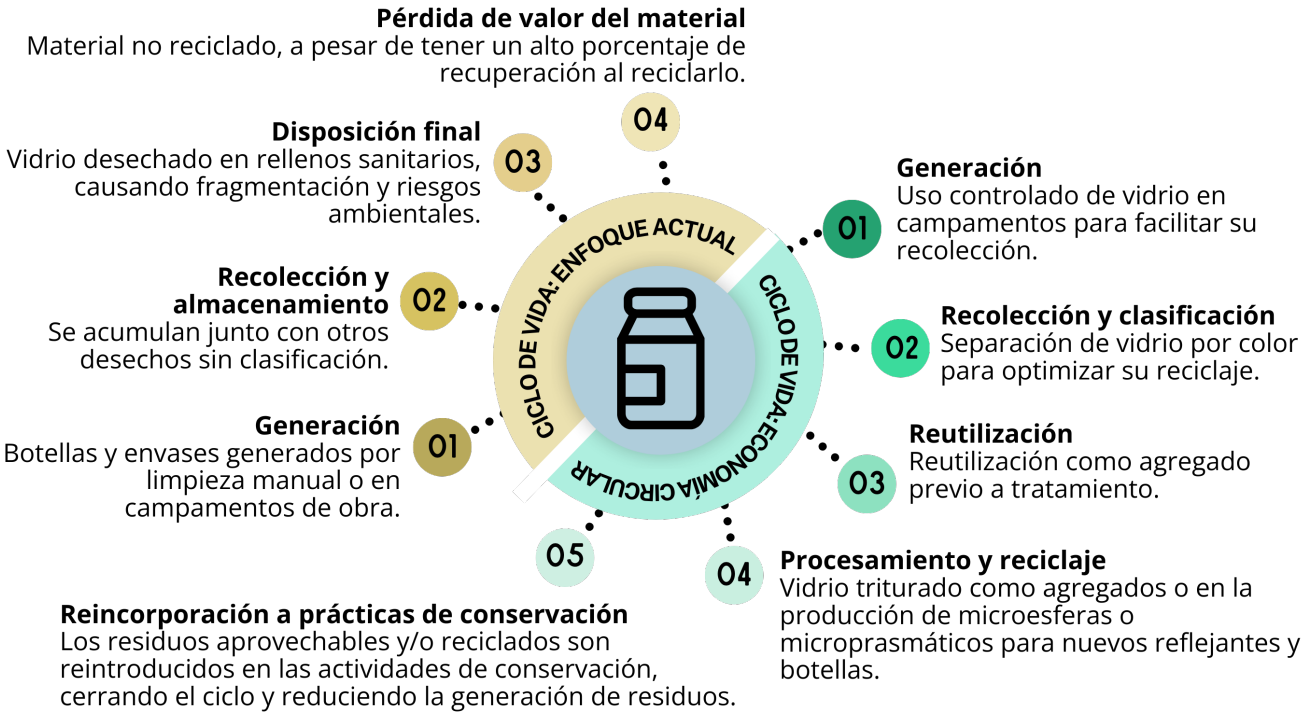
Reincorporación a prácticas de conservación
El caucho reciclado se integra a obras viales, cerrando el ciclo y reduciendo residuos.

PRÁCTICAS SUSTENTABLES:

Si el agua es recolectada y se filtra para obtención de asfalto y caucho se puede crear asfalto con polvo o grano de caucho reciclado, como un producto innovador para la construcción de pavimentos.

3.3.7. Vidrio

RESIDUOS DE VIDRIO



Generación
Uso controlado de vidrio en campamentos para facilitar su recolección.

Recolección y clasificación
Separación de vidrio por color para optimizar su reciclaje.

Reutilización
Reutilización como agregado previo a tratamiento.

Procesamiento y reciclaje
Vidrio triturado como agregados o en la producción de microesferas o microprasmáticos para nuevos reflejantes y botellas.

Reincorporación a prácticas de conservación
Los residuos aprovechables y/o reciclados son reintroducidos en las actividades de conservación, cerrando el ciclo y reduciendo la generación de residuos.

Pérdida de valor del material
Material no reciclado, a pesar de tener un alto porcentaje de recuperación al reciclarlo.

Disposición final
Vidrio desechado en rellenos sanitarios, causando fragmentación y riesgos ambientales.

Recolección y almacenamiento
Se acumulan junto con otros desechos sin clasificación.

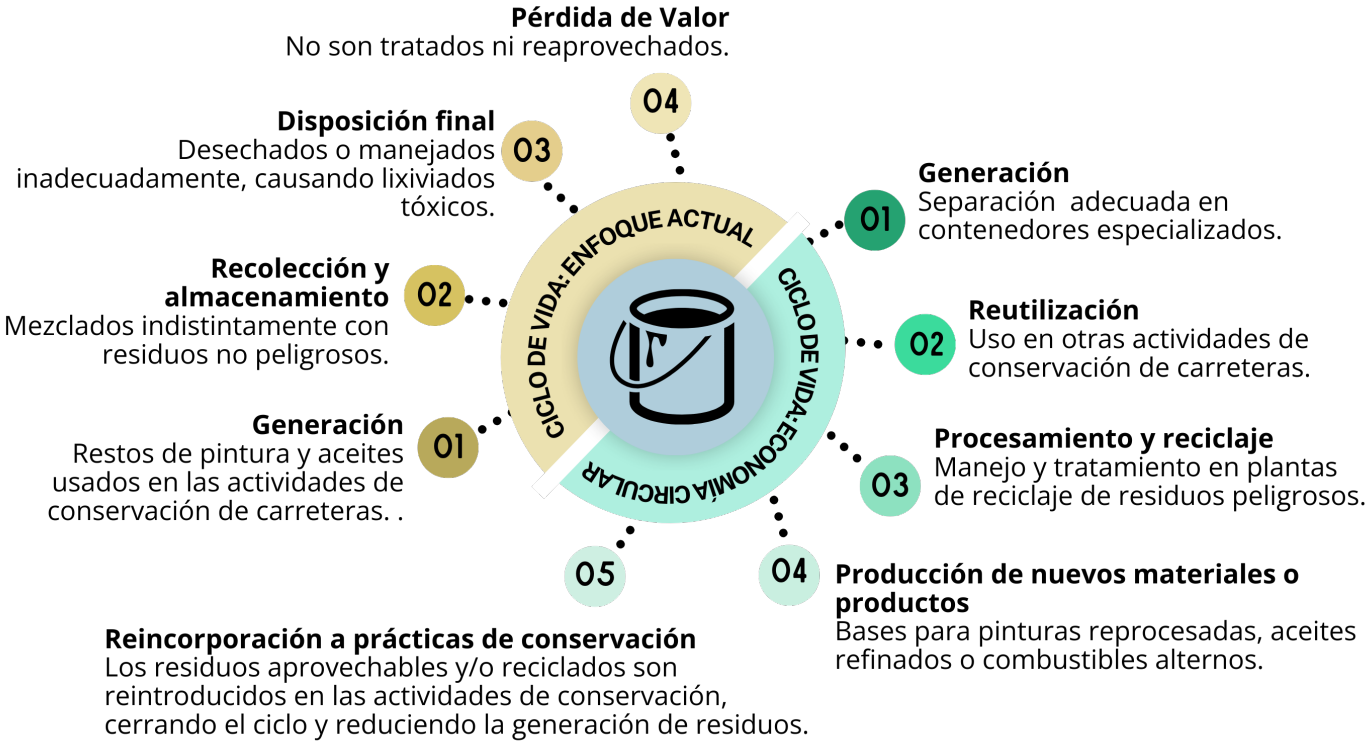
Generación
Botellas y envases generados por limpieza manual o en campamentos de obra.

PRÁCTICAS SUSTENTABLES:

- Implementar contratos con recicladoras para asegurar el manejo adecuado del vidrio recolectado.
- Fomentar el uso de botellas reutilizables y reducir botellas de un solo uso en sitios de obra.

3.3.8. Pinturas y Aceites

RESIDUOS DE PINTURAS Y ACEITES



Generación
Restos de pintura y aceites usados en las actividades de conservación de carreteras. .

Recolección y almacenamiento
Mezclados indistintamente con residuos no peligrosos.

Disposición final
Desechados o manejados inadecuadamente, causando lixiviados tóxicos.

Pérdida de Valor
No son tratados ni reaprovechados.

Generación
Separación adecuada en contenedores especializados.

Reutilización
Uso en otras actividades de conservación de carreteras.

Procesamiento y reciclaje
Manejo y tratamiento en plantas de reciclaje de residuos peligrosos.

Producción de nuevos materiales o productos
Bases para pinturas reprocesadas, aceites refinados o combustibles alternos.

Reincorporación a prácticas de conservación
Los residuos aprovechables y/o reciclados son reintroducidos en las actividades de conservación, cerrando el ciclo y reduciendo la generación de residuos.

PRÁCTICAS SUSTENTABLES:

- Contratación de servicios especializados certificados para reciclaje de residuos peligrosos.
- Uso de pinturas ecológicas y aceites biodegradables.

3.4. Importancia de la durabilidad de los materiales y tecnologías emergentes en la conservación de las carreteras

La infraestructura vial está compuesta de diferentes elementos que consumen muchos recursos tanto naturales como provenientes de las actividades de transformación que tienen diferentes vidas de servicio. La vida de servicio de cada recurso depende de la calidad de los materiales con los que esté construido, las condiciones de operación, la siniestralidad y las condiciones ambientales.

La durabilidad de los proyectos es un aspecto cada vez más importante a nivel mundial.

Esto significa que desde el inicio del proyecto ya está definido de forma bastante precisa tanto el coste como la duración del proyecto; sin embargo, para la infraestructura carretera, si bien es posible determinar la duración de cada uno de sus elementos, estos también estarán sujetos a la conservación que se realice.

3.4.1. Pavimentos, cuerpo y derecho de vía

La planeación, diseño, construcción y conservación de carreteras permiten garantizar su funcionalidad a largo plazo. Incorporar las mejores prácticas, junto con principios de Economía Circular y sostenibilidad, permitirá optimizar recursos y minimizar impactos negativos.

La durabilidad y desempeño de los elementos de infraestructura vial dependen tanto de los materiales utilizados como de las estrategias de diseño, construcción y conservación implementadas. Una gestión proactiva y el uso de tecnologías avanzadas son esenciales para maximizar la eficiencia y sostenibilidad de las carreteras.

Buenas Prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad de los Pavimentos Rígidos

- **Diseños Sostenibles y Duraderos:** Incorporar concretos de alta resistencia con aditivos puzolánicos o cenizas volantes, que reducen la huella de carbono y mejoran la resistencia a ciclos de congelación y deshielo.
- **Sellos de juntas duraderos:**
  1. Sustituir los materiales tradicionales como polietileno por sellos de silicona o polímeros avanzados, que ofrecen mayor resistencia a químicos y ciclos de temperatura, aumentando su vida útil.
  2. Optar por juntas prefabricadas de materiales reciclados, que disminuyen los costos y promueven la reutilización de recursos.
- **Mantenimiento predictivo:** Incorporar sensores de monitoreo estructural para identificar fisuras o deformaciones antes de que comprometan la funcionalidad del pavimento, reduciendo costos de conservación reactiva.

Buenas Prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad de Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles, diseñados principalmente con mezclas asfálticas, están concebidos para una vida útil óptima de 20 años. Sin embargo, el diseño escalonado generalmente contempla un período inicial de 6 a 8 años antes de requerir la aplicación de una nueva capa de rodadura o una superposición. Este enfoque permite una gestión más eficiente del presupuesto de mantenimiento.

Por ejemplo, la capa de rodadura, aunque no contribuyen significativamente al soporte estructural, son esenciales para proteger la carpeta asfáltica y mejorar la seguridad vial. Estas capas también ayudan a mitigar el desgaste causado por el tráfico y las condiciones climáticas. En México, las capas más comunes son:

- **Capa de riego de sello:**

Conocida como tratamiento de "espera", tiene una vida útil de 1 a 2 años. Su principal función es proteger temporalmente las capas inferiores y sellar pequeñas fisuras.

Utilizar emulsiones asfálticas de base agua para minimizar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y que esto contribuye a mejorar la durabilidad del pavimento, principalmente al proteger de forma más eficiente las capas subyacentes, reducir el agrietamiento prematuro, y facilitar una mejor adhesión de capas posteriores.



Fotografía 3.1.
Capa de riego de sello en una carretera en México

- **Mortero Asfaltico**

Similar al riego de sello, su durabilidad también es de 1 a 2 años, siendo usado frecuentemente en reparaciones rápidas.

Incorporar aditivos amigables con el medio ambiente. como bioemulsiones asfálticas puede contribuir a mejorar la durabilidad funcional del mortero asfáltico, especialmente en reparaciones temporales o preventivas, siempre que cumplan las especificaciones técnicas del proyecto. Además, este enfoque representa un avance en la incorporación de materiales sostenibles en la conservación vial bajo los principios de la Economía Circular.



Fotografía 3.2.
Colocación de Mortero Asfaltico en una carretera en México}

- **Stone Mastic Asphalt (SMA):**

Utilizada en zonas con alta precipitación, este diseño mejora el drenaje pluvial y reduce el hidroplaneo, con una vida útil de 2 a 3 años.

Su estructura con alto contenido de agregados gruesos y un mortero rico en ligante proporciona una superficie resistente al desgaste, lo que la hace ideal para capas de rodadura en vialidades con tráfico intenso o condiciones climáticas adversas. Desde el enfoque de Economía Circular, el SMA permite la incorporación de fibras estabilizantes y agregados reciclados, como polvo de caucho o materiales triturados de pavimentos antiguos, reduciendo la necesidad de recursos vírgenes. Al mejorar la adherencia y reducir el envejecimiento del ligante, el SMA contribuye a extender la vida útil del pavimento entre 2 y 3 años más que mezclas convencionales en condiciones similares, disminuyendo la frecuencia de mantenimiento, el consumo de materiales y la generación de residuos, con impactos positivos tanto ambientales como económicos.

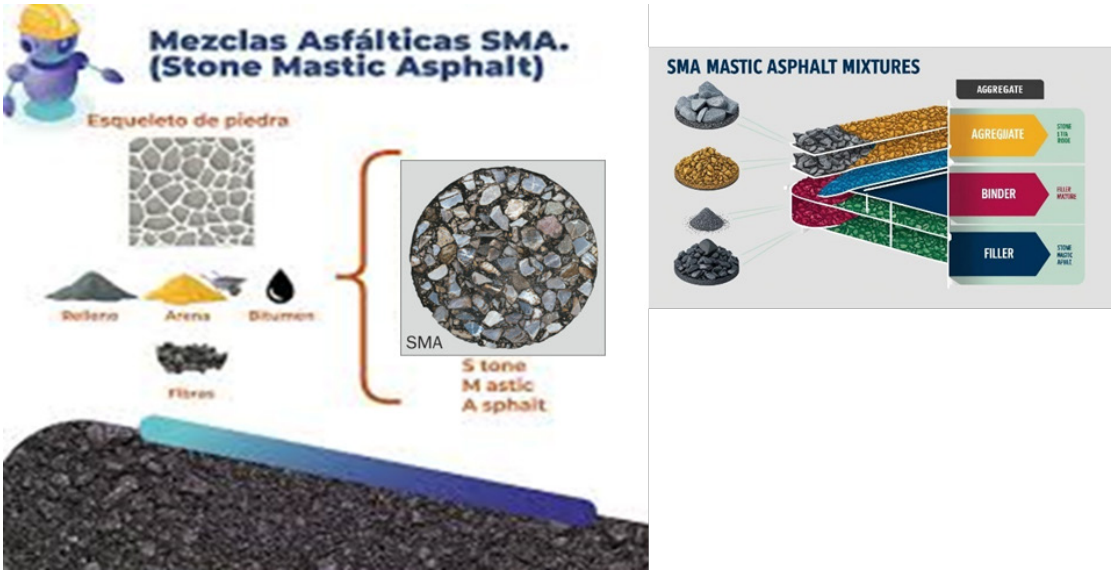


Figura 3.2.
Corazón de mezcla tipo SMA para análisis de laboratorio

- **Capa de textura abierta (Open Graded):**

Utilizada en zonas con alta precipitación, este diseño mejora el drenaje pluvial y reduce el hidroplaneo, con una vida útil de 2 a 3 años. La incorporación de agregados locales reciclados en esta mezcla puede mantener sus propiedades funcionales siempre que los materiales cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto. Este enfoque, además de reducir el transporte y las emisiones de carbono, promueve la Economía Circular al reutilizar residuos de construcción o fresado, reducir la extracción de recursos vírgenes y minimizar la generación de desechos en obras viales. Con ello, se favorece una infraestructura más sustentable y con menor huella ambiental.

Buenas Prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad de los elementos que delimitan el Derecho de Vía

- **Materiales más resistentes**: Sustituir postes de concreto, postes metálicos galvanizados fabricados a partir de materiales reciclados como chatarra industrial o aluminio reciclado, que ofrecen alta resistencia y durabilidad.
- **Tecnología de vigilancia**: Instalar sistemas de monitoreo (como cámaras o sensores) para prevenir el robo y el vandalismo.
- **Diseños modulares**: Usar cercados y barreras modulares que permitan una reparación o reemplazo rápido y localizado, sin desmontar grandes tramos de infraestructura. Se recomienda incorporar materiales más durables y menos atractivos para el robo, como postes de acero reciclado con recubrimientos anticorrosivos (galvanizado o pintura epóxica), así como materiales compuestos de alta resistencia, tales como mezclas de fibras de vidrio o plásticas recicladas con resinas termoestables. Estos materiales ofrecen mayor durabilidad, requieren menos mantenimiento y tienen bajo valor comercial en el mercado informal.



Fotografía 3.3.
Poste para delimitación del derecho de vía con polímero reciclado, en México.
Fuente: https://www.pactoglobal-colombia.org/news/postes-de-plástico-reciclado-en-plantaciones-para-evitar-la-tala-de-arboles.html

3.4.2. Puentes y estructuras

La durabilidad de los componentes de un puente o estructura varía según su función y la exposición a factores ambientales. En términos generales, la vida útil esperada para la infraestructura de puentes y estructuras construidas con concreto armado o elementos metálicos oscila entre 50 y 100 años, dependiendo de la calidad de los materiales, el diseño y las condiciones de conservación. Por lo que desde el diseño inicial se debe garantizar una vida útil mínima de 50 años[2], en cumplimiento de estándares internacionales.

En general, la vida útil de un puente o estructura depende tanto del diseño inicial como de los materiales empleados y las estrategias de mantenimiento aplicadas. Un enfoque integral que combine materiales avanzados, mantenimiento preventivo y rehabilitación programada puede garantizar que las infraestructuras alcancen o incluso superen su vida útil proyectada, reduciendo costos a largo plazo y asegurando su funcionalidad y seguridad.

2 Nota: La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) estima que la vida útil de un puente es de 75 años. Sin embargo, algunas normas prescriben una vida útil de 100 años para los grandes puentes

Buenas prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad de puentes y estructuras

- **Pinturas y Protección Anticorrosivas (Acero):**
  1. Usar pinturas anticorrosivas de última generación, como recubrimientos epóxicos de base agua o recubrimientos poliméricos reciclados, que ofrecen mayor durabilidad y reducen emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV).
  2. Implementar procesos de recubrimiento térmico con zinc, que prolongan la resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes costeros.
- **Juntas de Dilatación:**
  3. Optar por juntas de dilatación fabricadas con elastómeros reciclados y reforzadas con fibras sintéticas para mayor resistencia.
  4. Diseñar juntas modulares para facilitar el reemplazo sin afectar la estructura principal.
- **Apoyos Estructurales:**
  5. Utilizar apoyos de elastómeros de alto rendimiento, preferiblemente fabricados con materiales reciclados o con certificación sostenible.
  6. Realizar inspecciones periódicas para identificar deformaciones o fisuras antes de que afecten la funcionalidad del puente.
- **Equipos de Drenaje y Selladores de Juntas de Dilatación:**
  7. Seleccionar selladores de juntas a base de polímeros biodegradables o materiales reciclados que sean resistentes a productos químicos y cambios climáticos.
  8. Incorporar sistemas de drenaje fabricados con plástico reciclado y diseñados para minimizar obstrucciones.
- **Membranas de Estanqueidad Elastomérica:**
  9. Usar membranas elastoméricas con aditivos reciclados o reforzadas con materiales reciclables como caucho granulado.
  10. Diseñar sistemas de impermeabilización que reduzcan la cantidad de material necesario sin comprometer la durabilidad, como el uso de geotextiles o capas intermedias de alta eficiencia, que reduzcan la cantidad total de material requerido sin comprometer la resistencia al agua, a los rayos UV o a los ciclos de carga y temperatura, contribuyendo así a una mayor durabilidad del elemento protegido.
- **Membranas de Impermeabilización sobre concreto:**
  11. Aplicar membranas fabricadas con polímeros reciclados y reforzadas con fibras naturales para maximizar la resistencia a la intemperie.
  12. Realizar inspecciones regulares y reparaciones puntuales para extender la vida útil de las membranas.
- **Selección de Materiales:**
  13. Es esencial emplear materiales de alta calidad que ofrezcan resistencia a la corrosión, abrasión y cambios climáticos
- **Mantenimiento Preventivo:**
  14. Inspecciones regulares y programas de mantenimiento predictivo son fundamentales para prolongar la vida útil de los componentes. Las juntas de dilatación y los sistemas de drenaje requieren atención frecuente para evitar que fallos menores se conviertan en problemas mayores.

- **Diseño Adaptado a Condiciones Locales:**

15. Los diseños deben considerar factores como humedad, exposición a salinidad (en zonas costeras), tránsito pesado y rangos de temperatura. Las estructuras sometidas a climas extremos pueden beneficiarse del uso de materiales innovadores como aleaciones metálicas especiales o concretos con aditivos que incrementen su resistencia.

- **Rehabilitación de Componentes:**

16. Para componentes con vida útil limitada, como juntas de dilatación o membranas de impermeabilización, es importante planificar su reemplazo dentro del ciclo de mantenimiento de la estructura para evitar deterioros prematuros del resto del puente.

3.4.3. Túneles

Los túneles son estructuras complejas que integran diversos sistemas y componentes para garantizar seguridad, funcionalidad y confort a los usuarios. Tecnologías inteligentes, combinadas con materiales innovadores y estrategias de Economía Circular, pueden extender la vida útil de los elementos y sistemas del túnel y con ello reducir la frecuencia de reemplazos.

- **Buenas prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad de los túneles:**

- Incorporar sistemas inteligentes de transporte (ITS) que automatizan el control del tránsito, mejorando la eficiencia.
- Actualizar la tecnología cada 5 a 10 años, priorizando soluciones de bajo consumo energético.
- Usar dispositivos fabricados con materiales reciclables y modulares para facilitar su reemplazo y reducir residuos.
- Recuperar y reciclar componentes electrónicos desechados, como cámaras y sensores, para la fabricación de nuevos dispositivos.
- Implementación de redes de comunicación resilientes, como sistemas de fibra óptica, que garanticen conectividad continua.
- Incorporación de tecnologías inalámbricas avanzadas para reducir costos de mantenimiento.
- Reutilizar cables y equipos en otros proyectos tras su desinstalación, y reciclar componentes metálicos y plásticos de los sistemas antiguos.
- Uso de ventiladores de alta eficiencia energética y sensores automáticos para activar los sistemas únicamente cuando sea necesario.
- Diseño integrado con sistemas de monitoreo ambiental para ajustar la ventilación en tiempo real
- Fabricar componentes del sistema de ventilación, como carcasas y hélices, con materiales reciclados.
- Implementar un sistema de recuperación y reutilización de partes dañadas o desechadas tras la renovación de los sistemas.

- Utilizar sensores de larga duración con tecnología avanzada para garantizar lecturas precisas.
- Inspecciones y calibraciones periódicas para garantizar la precisión de las mediciones.
- Reutilizar sensores funcionales en otros proyectos menos exigentes tras su reemplazo en túneles de alta demanda.
- Uso de luminarias LED con ajustes automáticos según los niveles de luz ambiental.
- Implementación de paneles solares en las entradas del túnel para alimentar parcialmente el sistema de iluminación y reducir costos energéticos.
- Reciclar luminarias obsoletas para recuperar metales y plásticos que puedan usarse en nuevas instalaciones.
- Uso de membranas de alta durabilidad con resistencia química y mecánica mejorada.
- Monitoreo de las condiciones hídricas alrededor del túnel mediante sensores de presión y humedad.
- Recuperar membranas desgastadas y reprocesarlas para fabricar nuevos materiales impermeables.



Figura 3.3.
Ejemplo de drenaje transversal y longitudinal.
Fuente: Recorrido de campo en la Carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale, San Lui Potosí, México.

- Usar sistemas de drenaje independiente para separar aguas superficiales y subterráneas, mejorando la eficiencia y así para minimizar saturaciones.

1. Uso de filtros que reduzcan la acumulación de partículas finas y prolonguen la vida útil.
2. Reutilizar los materiales de los sistemas de drenaje obsoletos, como tuberías y rejillas, en proyectos secundarios.

Los túneles son infraestructuras complejas que requieren una integración eficiente de sistemas de ventilación, iluminación, seguridad, impermeabilización y drenaje para garantizar la transitabilidad y seguridad de los usuarios. Cada sistema desempeña un papel específico y debe ser diseñado teniendo en cuenta factores ambientales, mecánicos e hidráulicos. Para optimizar su desempeño y durabilidad, es esencial adoptar tecnologías avanzadas, como sistemas de monitoreo ambiental en tiempo real, ventiladores de alta eficiencia energética y luminarias LED. Además, un mantenimiento proactivo y el uso de materiales innovadores pueden minimizar costos operativos y extender significativamente la vida útil de los túneles, garantizando su funcionalidad a largo plazo.

3.4.4. Obras de drenaje

Las obras y sistemas de drenaje en infraestructura vial, como alcantarillas, subdrenes y elementos complementarios, juegan un papel crucial en la funcionalidad y durabilidad de las carreteras. Su vida útil varía significativamente dependiendo del diseño, los materiales utilizados y las condiciones locales.



Figura 3.4.
Ejemplo de alcantarilla transversal.
Fuente: Recorridos en campo, Carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale, San Lui Potosí, México.

Buenas prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad de las Alcantarillas

- **Materiales de Alta Calidad:**
  1. Utilizar concreto armado enriquecido con aditivos resistentes al desgaste hidráulico y químico, como cenizas volantes o fibras sintéticas, que prolongan su vida útil.
  2. Priorizar el uso de concretos reciclados y agregados reciclados para reducir la huella ambiental.
- **Mantenimiento Preventivo:**
  3. Realizar inspecciones regulares para detectar fisuras, erosión o acumulación de sedimentos que puedan bloquear el flujo. previo de la temporada de lluvias.
  4. Limpiar periódicamente para evitar obstrucciones por vegetación o desechos acumulados previo de la temporada de lluvias.
- **Diseño Hidráulico Optimizado:**
  5. Adaptar los modelos de diseño para manejar caudales futuros considerando los efectos del cambio climático, como mayores precipitaciones.
  6. Utilizar en los análisis de diseño los registros más actuales para considerar los efectos del cambio climático.
  7. Incorporar soluciones modulares que permitan ampliaciones o ajustes sin reemplazar toda la estructura. Subdrenes y Sistemas de Drenaje Longitudinal

Buenas prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad de los Subdrenes

- **Filtros Mejorados:**
  1. Incorporar filtros fabricados con fibras recicladas o polímeros avanzados, diseñados para resistir la obstrucción y facilitar el flujo de agua.
  2. Usar materiales geotextiles reciclados con propiedades antimicrobianas para evitar el crecimiento de bacterias y hongos que puedan reducir su funcionalidad.
- **Sistemas de Monitoreo:**
  3. Implementar sensores que midan el flujo de agua y la presión en los sistemas de drenaje para identificar bloqueos de manera temprana.
  4. Incorporar tecnologías como Internet de las Cosas (IoT) para monitorear el rendimiento en tiempo real y planificar mantenimientos de manera eficiente.
- **Reemplazo Programado:**
  5. Establecer ciclos de reemplazo y mantenimiento basados en un análisis de las condiciones locales, como precipitación anual y tipo de suelo.
  6. Priorizar el uso de materiales reciclables en la fabricación de nuevos sistemas para facilitar su disposición y reutilización.
- **Reciclaje de Componentes:**
  7. Recuperar plásticos y polímeros usados en los subdrenes al final de su vida útil para fabricar nuevos productos.
- **Reutilización de Residuos:**
  8. Incorporar RCD como relleno para mejorar la estabilidad del sistema.
- Diseño Sostenible:

9. Fabricar sistemas modulares y reutilizables que puedan desmontarse y adaptarse a diferentes condiciones.

- **Reducción de Residuos:**

10. Promover el uso de materiales reciclados en la construcción de alcantarillas y sistemas de drenaje para reducir la demanda de recursos vírgenes.

- **Gestión de Aguas**

11. Pluviales: Implementar soluciones naturales como drenajes verdes, que combinen infraestructura tradicional con vegetación para filtrar y redirigir el agua.

- **Optimización Energética:**

12. Usar equipos y procesos eficientes en el consumo de energía para reducir las emisiones de carbono durante la construcción y el mantenimiento.



Figura 3.5.
Ejemplo de bordillo Recorrido de campo Cd. Valles-Tamazunchale.
Fuente: Recorridos en campo, Carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale, San Lui Potosí, México.

Buenas prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad de los Bordillos

- **Recomendaciones:**

1. Usar bordillos prefabricados y modulares facilita su instalación, mantenimiento y reemplazo en caso de daños, reduciendo costos operativos y residuos generados durante el mantenimiento.

2. Diseñar bordillos con un sistema de ensamblaje que permita la sustitución de secciones individuales sin afectar el resto de la infraestructura.
3. Integrar elementos que puedan desmontarse y reutilizarse en otros proyectos.

- **Diseños Modulares:**

4. Usar bordillos prefabricados y modulares que sean fáciles de reemplazar en caso de daños.

- **Materiales Resistentes:**

5. Incorporar mezclas de concreto con fibras sintéticas o naturales, así como recubrimientos resistentes a impactos y condiciones climáticas, mejora significativamente la durabilidad de los bordillos.
6. Usar concreto con aditivos reciclados, como cenizas volantes o escoria de horno, que incrementan la resistencia y reducen la huella ambiental.
7. Incorporar refuerzos con polímeros reciclados o fibras de alta resistencia, lo que aumenta su capacidad para resistir impactos.

- **Separación del Tránsito:**

8. Proteger los bordillos de impactos directos mediante la colocación de elementos adicionales, como postes, defensas o separadores físicos, especialmente en zonas de alto riesgo de colisiones.
9. Usar elementos de protección fabricados con plástico reciclado o materiales compuestos que sean económicos y sostenibles.
10. Diseñar defensas ligeras y fáciles de reemplazar para evitar daños mayores al bordillo en caso de siniestros.

- **Reciclaje de materiales**

11. Implementar programas de recuperación de bordillos desgastados para triturarlos y utilizarlos como agregados en nuevos bordillos o subbases.
12. Reutilizar bordillos intactos en proyectos de menor exigencia estructural, como en zonas peatonales o vías secundarias.

- **Diseño y Fabricación:**

13. Promover el uso de materiales reciclables en la fabricación de bordillos, como concreto reforzado con polímeros reciclados.
14. Incorporar procesos de fabricación de bajo impacto ambiental, utilizando energía renovable y tecnologías de curado acelerado para el concreto.

- **Mantenimiento Predictivo:**

15. Realizar inspecciones regulares para identificar fisuras, desgaste o desplazamientos antes de que comprometan su funcionalidad.
16. Implementar sensores o tecnologías de monitoreo que permitan evaluar el estado de los bordillos en tiempo real.

- **Reducción de Residuos:**

17. Diseñar bordillos modulares que generen menos desechos durante su fabricación e instalación.
18. Utilizar métodos de instalación que minimicen el uso de adhesivos o materiales de fijación difíciles de remover o reciclar.

3.4.5. Taludes

Un diseño y construcción correcto de taludes evita los derrumbes, caídas de rocas o deslizamientos de tierra, que pongan en riesgo a los usuarios de las carreteras u obstaculicen la operación normal de la misma, entre otras importantes funciones.

La funcionalidad de los taludes depende tanto del diseño estructural como de los materiales utilizados. El empleo de materiales avanzados, como mallas galvanizadas o poliméricas, y el diseño modular pueden extender la vida útil de estas estructuras y reducir costos de mantenimiento. Asimismo, la planificación adecuada y el mantenimiento regular son esenciales para maximizar la eficacia y la seguridad de los taludes en las carreteras.

Buenas prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad del talud

- Uso de concreto reforzado con fibras o aditivos que incrementen la resistencia a la corrosión.
- Inspecciones periódicas para identificar y reparar fisuras tempranas.
- Uso de mallas galvanizadas o recubiertas con materiales poliméricos que prolonguen su resistencia al desgaste.
- Diseño modular que facilite el reemplazo de secciones dañadas.

3.4.6. Señalización y dispositivos de seguridad

Al considerar las mejores prácticas en términos de durabilidad, cuidado al ambiente y Economía Circular, es posible diseñar y mantener la señalización vial con menores costos ambientales y mayores beneficios a largo plazo.

Buenas prácticas y/o consideraciones para mejorar la durabilidad señalización y dispositivos de seguridad

- Utilizar pintura termoplástica reciclada para mejorar la durabilidad y reducir el impacto ambiental.
- Incorporar microesferas de vidrio recicladas en todas las formulaciones para garantizar una alta reflectividad nocturna.
- Diseñar sistemas de dispositivos reflejantes modulares con componentes fácilmente reemplazables y reciclables.
- Reutilizar los plásticos y polímeros de dispositivos reflejantes desgastados para fabricar nuevos elementos.
- Bajo los principios de la Economía Circular, la implementación de un sistema de recolección de materiales desgastados, combinado con su reciclaje, permitirá disminuir la dependencia de recursos vírgenes. Además, el uso de materiales de base biológica o biodegradables podría reducir significativamente los residuos asociados con el señalamiento horizontal.
- Priorizar películas reflejantes microprismáticas por su mayor durabilidad y resistencia climática.
- Fabricar estructuras metálicas con acero reciclado y diseñarlas de manera modular para facilitar el reemplazo de partes específicas.

- Implementar recubrimientos galvanizados avanzados para extender la vida útil de las estructuras y reducir costos de mantenimiento.
- Utilizar energías renovables para suministrar energía eléctrica a los señalamientos luminosos.
- Utilizar acero reciclado en su fabricación y diseñar sistemas que permitan desmontar y reciclar las partes no dañadas tras un impacto.

Bajo los principios de la Economía Circular, promover la recolección y reciclaje de señales dañadas, separando los materiales metálicos de los reflectivos para reprocesarlos. Esto no solo reduce la generación de residuos, sino que disminuye la huella de carbono asociada con la extracción de materias primas. Así mismo la señalización y los dispositivos de seguridad en infraestructura vial pueden transformarse significativamente bajo un enfoque de Economía Circular. Al integrar materiales reciclados, mejorar los diseños para facilitar el mantenimiento y promover tecnologías más sostenibles, es posible reducir el impacto ambiental y prolongar la durabilidad de estos elementos clave. La adopción de prácticas sostenibles no solo garantiza carreteras más seguras y funcionales, sino que también contribuye a un modelo de infraestructura vial más respetuoso con el medio ambiente.

Bajo los principios de Economía Circular, las barreras de protección pueden integrarse en una estrategia circular mediante la reutilización de materiales tras el desecho inicial. Por ejemplo, las barreras de concreto podrían triturarse para generar agregados reciclados, mientras que las barreras metálicas pueden fundirse para producir nuevas láminas de acero.

3.5. Factibilidad para separar y gestionar los materiales resultantes en las obras de conservación de las carreteras y su implementación de técnicas de economía circular

La factibilidad de separar y gestionar los materiales resultantes en las obras de conservación de carreteras varía según el tipo de residuo. Materiales como metales, residuos de construcción y pavimentos asfálticos presentan alta viabilidad técnica y económica para su separación y reciclaje. Otros, como biorresiduos animales, pintura y aceites, requieren tratamientos especializados que pueden limitar su viabilidad en este contexto. La implementación de prácticas de Economía Circular en el sector carretero debe considerar estas variables para optimizar la gestión de residuos y promover la sostenibilidad (Certicalia, 2023; Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2017).

Considerando los ciclos de vida, la siguiente tabla presenta un análisis resumen de los diferentes residuos generados durante las actividades de conservación de carreteras, evaluando su factibilidad para integrar técnicas de Economía Circular. Cada tipo de residuo se clasifica en términos de su volumen generado, viabilidad técnica, viabilidad económica y operativa, considerando tanto los desafíos como las oportunidades específicas. Este análisis busca priorizar estrategias sostenibles que permitan maximizar el aprovechamiento de los residuos, reducir los impactos ambientales y fomentar prácticas más eficientes en el sector.

Tabla 3.5.
Factibilidad de implementación de técnicas de economía circular en residuos generados por conservación de las carreteras

Residuos	Contexto del Residuo	Viabilidad Técnica	Viabilidad Económica	Operativa	Conclusión
Residuos de Construcción (Concreto y Agregados)	Grandes cantidades de concreto y agregados son generados en demoliciones, fresado y reparaciones de bordillos y pavimentos.	Alta La trituración de concreto para convertirlo en agregados secundarios es una práctica técnica estándar en infraestructura vial.	Alta Reutilizar residuos de construcción reduce significativamente los costos de disposición y de compra de materiales nuevos.	Moderada Requiere equipos de trituración móviles o transporte a plantas, lo que puede aumentar los costos operativos iniciales.	**Muy Factible** Su gran volumen y bajo costo operativo hacen del reciclaje de estos residuos una opción altamente rentable y sostenible.
Pavimentos Asfálticos	Los recortes y fresado son residuos recurrentes en actividades de conservación de carreteras.	Alta Existen tecnologías permiten la recuperación de material asfáltico retirado.	Alta El asfalto reciclado reduce costos significativamente en comparación con la compra de nuevo material, mejorando la sostenibilidad económica.	Alta Existen fresadoras móviles y plantas especializadas que facilitan el reciclaje y reintegración del material en nuevas capas de rodadura.	**Muy Factible** Su volumen alto, facilidad de reciclaje y ahorro en costos lo convierten en un componente clave para la Economía Circular en conservación vial.
Metal y Chatarra	Los residuos como postes, mallas y varillas son comunes en actividades como cercados y barreras metálicas.	Alta El reciclaje de metales es una práctica establecida, con plantas de fundición disponibles que procesan este material eficientemente.	Alta Los metales tienen alto valor como materia prima secundaria, lo que hace rentable su reciclaje y reutilización en obras futuras.	Alta Los metales son fáciles de recolectar y clasificar en obra, lo que simplifica la logística para su transporte a plantas recicladoras.	**Muy Factible** El alto valor de los metales y su fácil reciclaje justifican la inversión en su recolección y procesamiento.

Residuos	Contexto del Residuo	Viabilidad Técnica	Viabilidad Económica	Operativa	Conclusión
Plásticos	Los plásticos como PET, envolturas y bolsas son comunes debido al uso constante de materiales empacados y limpieza.	Alta Existe infraestructura y tecnología accesible para triturar y reciclar plásticos en productos como señalización reciclada.	Moderada Aunque el reciclaje de plásticos es económico en grandes volúmenes, la logística inversa y la separación inicial requieren inversión.	Alta Los plásticos son ligeros y fáciles de separar en obra para su transporte a centros de reciclaje.	**Factible** Alta generación y reciclabilidad justifican la implementación de programas específicos de reciclaje.
Biorresiduos Vegetales	Provenientes de podas, control de maleza y limpieza de áreas verdes en el derecho de vía.	Alta Tecnologías como el compostaje y la biodigestión están ampliamente disponibles y son efectivas para tratar este tipo de residuos.	Moderada Aunque el compostaje tiene costos operativos bajos, requiere espacio, tiempo y personal capacitado para mantener la calidad del producto.	Moderada La recolección y transporte de residuos orgánicos dependen de la logística local, lo que puede dificultar su manejo en áreas rurales.	**Factible** Estos residuos pueden transformarse en fertilizantes o composta para restaurar taludes y áreas verdes o de cultivo con una gestión adecuada.
Biorresiduos Animales	La presencia de restos animales es esporádica, limitada a fauna atropellada o restos biológicos en el derecho de vía.	Moderada Requiere infraestructura específica como biodigestores y tratamientos sanitarios para eliminar riesgos biológicos.	Baja Los bajos volúmenes generados hacen que las inversiones en infraestructura especializada no sean económicamente viables en la mayoría de los casos.	Baja Su manejo exige condiciones específicas (contenedores herméticos) y personal capacitado para evitar riesgos sanitarios y ambientales.	**Parcialmente factible** Los costos de tratamiento y la infraestructura necesaria dificultan su implementación, salvo en proyectos de mayor escala.

Residuos	Contexto del Residuo	Viabilidad Técnica	Viabilidad Económica	Operativa	Conclusión
Papel y Cartón	Derivan principalmente de empaques de cemento, sacos de materiales y documentos administrativos.	Alta El reciclaje de papel y cartón está bien establecido, con infraestructura disponible en la mayoría de las regiones.	Baja Los bajos volúmenes generados limitan la economía de escala y hacen que el costo de transporte sea un factor significativo.	Alta El papel y cartón son ligeros, fáciles de recolectar y transportar, lo que reduce la complejidad operativa.	**Parcialmente factible** Aunque técnicamente viable, su bajo volumen justifica integrarlo en programas de reciclaje más amplios.
Vidrio	Botellas y envases son residuos ocasionales durante las actividades de limpieza de campamentos y zonas de trabajo.	Moderada Aunque técnicamente es sencillo reciclar vidrio, se requiere infraestructura adecuada, como trituradoras y fundidoras específicas.	Baja Los bajos volúmenes generados hacen que los costos de recolección y transporte superen el valor de los productos reciclados.	Moderada Requiere separación inicial y puntos de acopio cercanos para que su manejo sea viable.	**Parcialmente Factible** Los bajos volúmenes limitan la viabilidad económica, pero puede integrarse con otros programas de reciclaje.
Pintura y Aceites	Restos de pintura y aceites usados en maquinaria y señalización se generan de manera intermitente.	Moderada El reciclaje de pinturas y aceites requiere infraestructura especializada y es más complejo que otros residuos.	Baja Su manejo como residuos peligrosos eleva los costos, y el reciclaje puede no ser rentable dependiendo de los volúmenes generados.	Moderada Requiere recolección diferenciada y transporte a plantas autorizadas, aumentando la carga operativa.	**Poco Factible** Los costos de tratamiento y la infraestructura requerida limitan su viabilidad, pero puede integrarse en programas regionales de manejo de residuos peligrosos.

Residuos	Contexto del Residuo	Viabilidad Técnica	Viabilidad Económica	Operativa	Conclusión
Agua	Se generan principalmente durante actividades de limpieza de alcantarillas, drenes y cunetas, así como en el lavado de maquinaria.	Alta Existen tecnologías como plantas de tratamiento móviles para depurar el agua recolectada y reutilizarla en obra.	Moderada a alta Requiere inversión inicial en equipos de tratamiento (aunque en obras de conservación, no se requiere tratamientos al nivel de potabilización del agua) y logística para su recolección, pero a largo plazo reduce el costo de agua potable.	Moderada a alta Requiere sistemas de recolección específicos y personal capacitado para operar equipos de tratamiento de acuerdo con el uso.	**Factible** La reutilización de agua tratada puede optimizar recursos en actividades recurrentes, especialmente en áreas con escasez hídrica.

4. Prácticas sustentables para carreteras: una oportunidad para diseñar infraestructura verde vial y reducir emisiones bajo el enfoque de la economía circular

Las obras carreteras ofrecen una oportunidad estratégica para integrar los principios de sostenibilidad y Economía Circular en el diseño, construcción y conservación de estas. Según la *Organización de las Naciones Unidas* (ONU), las infraestructuras de transporte deben evolucionar para alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), maximizando el uso de materiales reciclados, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero y diseñando carreteras que minimicen impactos ambientales adversos (ONU, 2015). En México, la implementación de estas prácticas puede transformar las carreteras en infraestructuras verdes, abordando tanto las demandas de conectividad como la necesidad de reducir la huella ecológica.

Prácticas como el uso de asfaltos reciclados, la incorporación de sistemas de drenaje sostenible y tecnologías inteligentes para la gestión del tránsito permiten reducir significativamente las emisiones de carbono y optimizar el uso de recursos naturales (Bjørn & Hauschild, 2013). Asimismo, los diseños ecológicos en carreteras, como la integración de vegetación en los derechos de vía, fomentan la captura de carbono, mejoran la biodiversidad y contribuyen al equilibrio ambiental, mitigando los efectos del cambio climático (European Environment Agency, 2019).

Las carreteras, diseñadas y construidas bajo estos principios no solo mejoran su funcionalidad y seguridad, sino que también las hace más resilientes frente a los desafíos ambientales contemporáneos. Además, promueve un modelo de desarrollo sostenible que responde a las metas nacionales e internacionales de sostenibilidad, posicionando a México como un referente en la implementación de prácticas sustentables en el sector. Algunos ejemplos de estas prácticas se mencionan a continuación.

4.1. Alternativas y estrategias para minimizar emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero con el uso de pavimentos sustentables

De acuerdo con Mendoza-Sánchez (2015), el término "sustentabilidad en mezclas asfálticas" se refiere a un enfoque integral que considera las características que un pavimento

debe poseer para cumplir con los objetivos para los cuales fue diseñado. Esto incluye no solo su capacidad de responder a los retos de ingeniería y funcionalidad, sino también su preservación y conservación a lo largo de su vida útil. Este concepto abarca el uso eficiente y responsable de recursos económicos, ambientales y humanos, priorizando el equilibrio entre las necesidades de comodidad, seguridad y movilidad de las personas, y el respeto y cuidado por el medio ambiente. En esencia, busca garantizar que las mezclas asfálticas no solo cumplan con sus funciones técnicas, sino que también contribuyan al desarrollo sostenible de las infraestructuras viales.

4.1.1. Mezclas asfálticas sustentables para pavimentos

- **Pavimento asfáltico reciclado (RAP)**

El RAP (RAP, por sus siglas en inglés) consiste en el reaprovechamiento del pavimento flexible previamente fresado o removido, el cual es reincorporado en nuevas estructuras viales. Este material puede integrarse en la mezcla de carpeta asfáltica, en capas de base o sub-base, dependiendo de su granulometría y calidad. Existen tres metodologías principales para su aplicación: reciclado en caliente (HMA), que requiere temperaturas de hasta 165 °C para la elaboración de la mezcla; reciclado en tibio (WMA), que reduce el consumo energético al trabajar con aditivos a temperaturas cercanas a los 100 °C; y reciclado en frío (CMA), que mezcla el material fresado con emulsión asfáltica o asfalto espumado para colocarlo y compactarlo directamente en sitio. Esta última metodología es especialmente útil en tramos rurales o de bajo volumen vehicular**.** Están acotados principalmente en el consumo de recursos y energía, así como en las externalidades del proceso al comparar la fabricación de un pavimento asfáltico con uno reciclado. Para mayor información, consulte la guía de Diseño de mezclas asfálticas en caliente con alto contenido de pavimento asfaltico reciclado (RAP) de la AMAAC.



Figura 4.1.
Proceso de recuperación o reciclaje de pavimento asfaltico.
Fuente: (https://www.dynatestlatam.com/reciclaje-de-pavimentos5)

Algunos de sus principales beneficios son:

- Reducción en el uso de materiales vírgenes, como áridos y ligantes asfálticos, lo que disminuye la presión sobre los bancos de materiales y los ecosistemas asociados.
- Ahorro energético significativo, especialmente en procesos tibios o en frío, al requerir menos calor para su producción.
- Disminución de costos en obra, tanto por la reutilización del material fresado como por la reducción en transporte de nuevas mezclas.
- Menor generación de residuos, ya que el fresado del pavimento no se destina a disposición final, sino que se reintegra al proceso constructivo.
- Buen desempeño estructural, si el RAP se somete a un diseño adecuado de mezcla, puede alcanzar parámetros de resistencia y durabilidad similares a las mezclas vírgenes.

En México, el uso de RAP ha sido impulsado por la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC), que desarrolló la Guía de diseño de mezclas asfálticas en caliente con alto

contenido de RAP, documento que promueve su aplicación en carreteras federales. A nivel internacional, países como Estados Unidos han integrado RAP en más del 90 % de sus proyectos viales, con experiencias exitosas en estados como Texas, Arizona y California, donde se aprovechan tramos reciclados para nuevas mezclas, generando ahorros de hasta 25 % en costos de mezcla y reduciendo las emisiones de GYCEI por tonelada colocada (Federal Highway Administration, 2020).

Sus beneficios en términos de la Economía Circular Economía Circular son los siguientes:

- Cierra el ciclo de vida del asfalto, reincorporando el material extraído al proceso constructivo sin necesidad de disposición final.
- Reduce la huella de carbono del proyecto vial, especialmente en procesos WMA o CMA.
- Evita la explotación de nuevos bancos pétreos, preservando ecosistemas y reduciendo impactos ambientales indirectos.
- Fomenta la innovación tecnológica, al requerir desarrollo de aditivos y mezclas más eficientes para su integración.
- Genera valor a partir del residuo, convirtiendo el pavimento removido en un insumo útil y competitivo para la construcción.

- **Asfalto modificado con llantas pulverizadas**

Este tipo de asfalto incorpora polvo de caucho, el cual se obtiene a partir del molido fino de llantas de desecho. El material pulverizado se integra como modificador del aglutinante asfáltico, generando una mezcla más resistente y flexible, ideal para sellado de grietas o aplicación en capas intermedias y de rodadura. Su implementación responde tanto a necesidades de desempeño vial como a estrategias de manejo de residuos sólidos, principalmente neumáticos fuera de uso (NFU), considerados de difícil disposición..

Beneficios ambientales:

- Mayor resistencia a altas temperaturas, reduciendo el riesgo de deformaciones plásticas en climas cálidos.
- Reducción de ruido de rodadura, al proporcionar una textura más favorable para el contacto neumático-superficie.
- Mejora del comportamiento frente al agrietamiento por fatiga, gracias a la elasticidad aportada por el caucho.
- Aprovechamiento de residuos peligrosos, como los NFU, que de otro modo terminarían en tiraderos clandestinos o serían incinerados.



Fotografía 4.1.
Sellado de grietas en losas de concreto con asfalto modificado con caucho de llanta pulverizada. Autopista 40D. Arco Norte. Tramo Pachuca-Tulancingo en el Edo. de Hidalgo.

En México, la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC) ha desarrollado protocolos específicos para el diseño y colocación de mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho. Estas técnicas han sido aplicadas en diversas vialidades urbanas y tramos federales, incluyendo corredores de alto tránsito en estados como Querétaro, Jalisco y la CDMX.

Desde el enfoque de la Economía Circular:

- Incorpora residuos de llantas fuera de uso como insumo en mezclas asfálticas.
- Reduce la extracción de materiales vírgenes
- Evita emisiones asociadas a la quema o disposición final de neumáticos, mitigando impactos en aire, suelo y agua.
- Extiende la vida útil del pavimento, lo que disminuye la frecuencia de mantenimiento y generación de residuos.
- Fomenta cadenas de valor locales, vinculadas a la recolección, trituración y procesamiento de NFU.

- **Asfalto con mezcla terminal de llantas de caucho**

El asfalto con mezcla terminal de llantas de caucho es un material modificado que incorpora caucho granulado derivado del reciclaje de llantas usadas en la producción de mezclas asfálticas. En este proceso, el caucho se integra directamente en el asfalto líquido en una planta de producción, creando una mezcla uniforme y homogénea lista para ser utilizada en la construcción y conservación de carreteras.

Algunos beneficios son los siguientes:

- Mejora en el desempeño del pavimento ya que incrementa la elasticidad, resistencia a la deformación y durabilidad de las mezclas asfálticas, lo que resulta en pavimentos más resistentes al agrietamiento y al envejecimiento.
- Fomenta la reutilización de llantas desechadas, mitigando su acumulación en rellenos sanitarios y bancos de tiro y la contaminación asociada.
- Disminuye el ruido de rodadura ya que proporciona superficies más silenciosas, mejorando el confort para los usuarios y reduciendo la contaminación acústica.
- Ha demostrado tener una concentración significativamente menor de contaminantes viales que desembocan en las cunetas laterales a la vía en comparación con las aguas de escorrentía contaminadas de otros pavimentos asfálticos.
- Eficiencia económica a largo plazo: Aunque el costo inicial puede ser más alto, su durabilidad y menor necesidad de mantenimiento pueden generar ahorros significativos a largo plazo.

Su eficiencia en Economía Circular se genera dado que:

- Valorización de residuos: convierte llantas usadas en recurso útil y funcional para pavimentación.
- Reducción de extracción de materiales vírgenes al sustituir parte del ligante o modificar la mezcla con caucho reciclado.
- Disminución de emisiones y huella de carbono asociada al transporte y procesamiento de materiales vírgenes y al mantenimiento frecuente de pavimentos.
- Ahorro económico a largo plazo al prolongar la vida útil del pavimento, lo que significa menos intervenciones, menos recursos empleados y menor generación de residuos de reparación.
- Fomenta mercados locales de reciclaje de llantas y cadena de suministro circular (recolección, trituración, producción del modificado, aplicación

Concreto asfáltico de caucho

El concreto asfáltico de caucho contiene caucho de llantas trituradas, aglutinante de asfalto y otros materiales agregados.

Algunos beneficios son:

- El concreto asfáltico de caucho reduce la contaminación acústica con el ruido de las llantas notablemente inferior.
- Utiliza miles de llantas de desecho por milla de carril, lo que minimiza el número de llantas que van a los rellenos sanitarios
- Aumento de la durabilidad del pavimento,
- menor formación de grietas y fisuras

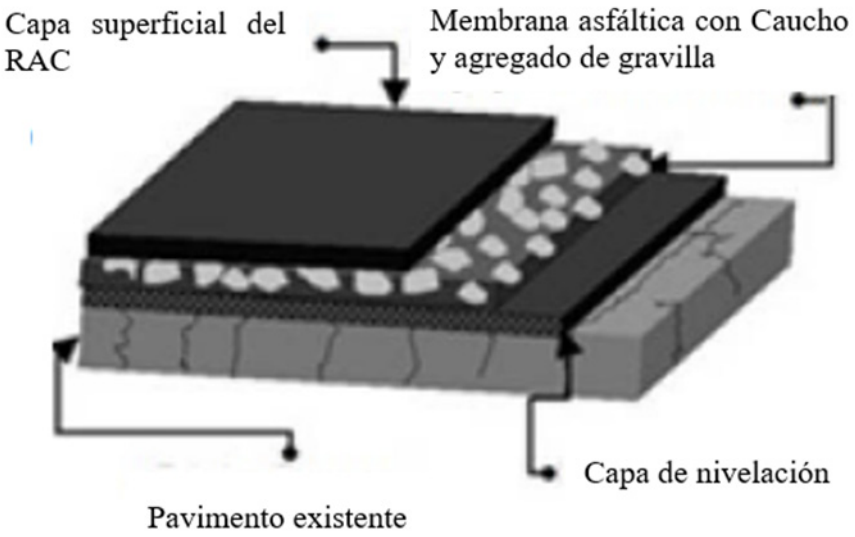


Figura 4.2.
Capas intermedias de asfalto con caucho.
Fuente: (https://calepa.ca.gov/wp-content/uploads/sites/6/2017/11/Rubberized-Asphalt-Concrete-101-Introduction-Spanish.pdf)

Su eficiencia en Economía Circular se genera dado que:

- Valorización de un residuo: convierte llantas usadas en un recurso para pavimentación.
- Reducir extracción de agregados y/o ligantes puros, disminuyendo uso de recursos vírgenes.
- Prolongar la vida útil del pavimento, lo que significa menos mantenimiento, menos material usado y menos generación de residuos de reparación.
- Menor impacto ambiental en etapas como transporte de materiales y emisiones derivadas de operaciones de reparación.
- Fomento de mercado para reciclaje de llantas, creando cadenas de valor local orientadas al caucho reciclado.

Agregados derivados de llantas

Los agregados derivados de llantas (TDA) son materiales que se obtienen al triturar y procesar llantas fuera de uso. Después de remover componentes no deseados (como metales de refuerzo), se generan fragmentos de caucho de diferentes tamaños —chips, trozos grandes, partículas pequeñas— que pueden usarse como relleno, agregado ligero, material de drenaje, capa aislante, o como mezcla con suelos. Estos agregados tienen propiedades particulares: menor densidad, buena capacidad de drenaje, flexibilidad, y resistencia al desgaste mecánico.

Beneficios ambientales:

- Reducen la presión sobre estructuras como muros de contención o terraplenes, al ser más livianos que los agregados naturales.

- Mejora del drenaje y la permeabilidad, lo que ayuda a mitigar problemas de acumulación de agua y congelamiento/frost heave.
- Disminuyen la demanda de agregados naturales, lo que preserva recursos geológicos y reduce impacto de extracción.
- Aprovechan llantas desechadas, reduciendo residuos sólidos y evitando acumulaciones contaminantes.
- Posible reducción de costos de transporte, ya que las llantas pueden estar más disponibles localmente que fuentes de agregado natural de buena calidad.
- Mejor aislamiento térmico en ciertas aplicaciones, lo que puede ayudar en climas fríos.

En Economía Circular su aplicación es muy importante dado que:

- Promueve la valorización de residuos al reincorporar llantas fuera de uso en obras de ingeniería, evitando su disposición en rellenos sanitarios y bancos de tiro.
- Reduce el uso de materiales vírgenes (grava, arena, otros agregados naturales).
- Disminuye la huella ambiental asociada con extracción, transporte y procesamiento de materiales nuevos.
- Extiende la durabilidad de la infraestructura vial al mejorar drenaje y reducir tensiones mecánicas en la estructura (lo que disminuye intervenciones de mantenimiento).
- Fomenta modelos locales de recolección-y-procesamiento de llantas desechadas, generando Economía Circular local.

Agregados de concreto reciclado y residuos de construcción y demolición (RCD)

Agregados de concreto reciclado y residuos de construcción y demolición (RCD): Estos materiales, tras un proceso de separación selectiva, pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en capas base y hasta el 100% en bases granulares. Este enfoque no solo reduce la cantidad de residuos que llegan a los vertederos, sino que también disminuye la extracción de materiales vírgenes. Su uso fomenta una Economía Circular al reincorporar materiales desechados en nuevas aplicaciones viales

Productos biológicos: Sustituyen productos derivados del petróleo, eliminando el uso de sustancias peligrosas y reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero (GYCEI) y el consumo de energía. Estos productos, derivados de fuentes renovables, también contribuyen a una huella ambiental más baja y fortalecen el compromiso con la sostenibilidad.

Residuos poliméricos: Cuando se incorporan a las mezclas asfálticas, los residuos poliméricos aumentan la resistencia a la formación de surcos y mejoran los módulos estructurales de los pavimentos. Esto no solo incrementa la durabilidad de la infraestructura vial, sino que también reduce la frecuencia de mantenimiento, disminuyendo así costos y emisiones asociadas.

Escoria: Utilizada como sustituto de los agregados gruesos, la escoria mejora la resistencia mecánica, la adherencia del aglutinante y las propiedades de fricción de los pavimentos. Además, proporciona mayor resistencia al deslizamiento y a la abrasión, haciéndola ideal para carreteras sometidas a alto tráfico.

El uso de materiales alternativos en la construcción de pavimentos no solo es una estrategia sostenible, sino que también ofrece mejoras técnicas significativas. Estos materiales no solo reducen el impacto ambiental, sino que también garantizan pavimentos más duraderos y resilientes.

Productos para Cemento Asfáltico con aditivos derivados de etilenaminas

Uno de los principales desafíos en la durabilidad de las carreteras pavimentadas es la filtración de agua a través del pavimento. Esta situación ocurre cuando el agua penetra en las capas del pavimento y se acumula en la interfaz entre el asfalto y los agregados, debilitando la unión entre ambos. Con el tiempo, esto genera pérdida de cohesión, agrietamiento prematuro y costos elevados de mantenimiento y reparación.

Para resolver este problema, se han desarrollado aditivos derivados de etilenaminas que fortalecen la adherencia entre el asfalto y el agregado, incluso en condiciones de humedad. Estos productos optimizan la calidad de las mezclas asfálticas, prolongan la vida útil del pavimento y reducen el impacto ambiental de las intervenciones.

Tipos de aditivos utilizados:

1. Amidoaminas: Emulsiones que reducen la tensión superficial y mejoran la adherencia.
2. Imidazolinas: Altamente eficaces en condiciones de humedad, mejoran la estabilidad térmica.
3. Aminas grasas: Proveen excelente adhesión al bitumen, aunque pueden ser menos estables a altas temperaturas.

Algunos beneficios de su uso en asfaltos son:

- Mejora en la adherencia entre asfalto y agregado, reduciendo el riesgo de desprendimiento y fisuras.
- Mayor resistencia al desgaste y estabilidad frente a variaciones térmicas.
- Reducción de temperaturas de mezcla y colocación, permitiendo procesos en frío o tibio.
- Ahorros en consumo de combustible durante la fabricación e instalación de mezcla.
- Disminución de emisiones de GYCEI al evitar recalentamientos innecesarios.
- Prolongación del ciclo de vida del pavimento, disminuyendo la frecuencia de mantenimiento.

En la industria vial de países como Estados Unidos y Alemania, el uso de aditivos a base de aminas ha sido integrado en mezclas en frío y tibio, especialmente en zonas con alto índice de precipitación y humedad, con resultados exitosos en términos de durabilidad y reducción de mantenimiento.

Aplicación en Economía Circular

- Reducción de la temperatura de mezcla, disminuyendo el consumo de energía y las emisiones de gases contaminantes.
- Optimización del ciclo de vida del pavimento, al mejorar su desempeño mecánico sin requerir materiales adicionales.
- Disminución del uso de materiales vírgenes, al permitir el reciclaje de mezclas en sitio (reciclado en frío).

- Menor frecuencia de mantenimiento, lo que implica menos residuos de obra y menos desgaste en la infraestructura vial.
- Uso potencial de subproductos industriales como materia prima, alineándose con el principio de valorización de residuos.

Nuevas Tecnologías Asfálticas Sustentables

Los avances recientes en tecnologías asfálticas están revolucionando la construcción de carreteras al incorporar soluciones innovadoras que optimizan el uso de recursos, reducen el consumo energético y minimizan el impacto ambiental. Estas tecnologías no solo mejoran el desempeño de los pavimentos, sino que además impulsan la transición hacia una infraestructura vial más sostenible. Algunas de ellas se mencionan a continuación

1. Pavimentos Asfálticos de Energía Térmica (Road Energy Systems, RES®: Tecnología que integra intercambiadores de calor en el pavimento, aprovechando su capacidad de acumular y transferir calor solar (hasta 70 °C). El calor captado puede ser utilizado en invierno para calefacción o en verano para refrigeración, y al mismo tiempo regula la temperatura del pavimento, reduciendo deformaciones y accidentes por congelamiento. Algunos beneficios son los siguientes:
   - Reducción del uso de sal y agentes contaminantes en invierno
   - Ahorro de energía térmica para edificaciones cercanas.
   - Reducción significativa de emisiones de GYCEI.
2. Tecnología Asfáltica de Mezcla Templada (WMA): Consiste en reducir la temperatura de fabricación del asfalto (por debajo de 140 °C) mediante aditivos como resina de polivinilo, zeolitas sintéticas o aminas líquidas. Esto facilita el manejo de la mezcla, permite mayor tiempo de transporte y reduce costos operativos.
   - Ahorro de hasta 30% en consumo energético.
   - Reducción del 30% en emisiones de GYCEI.
   - Menores emisiones de SO_2 (–35%).
   - Mejores condiciones laborales por menor exposición a vapores.
3. Tecnología Asfáltica de Mezcla Fría: Utiliza emulsiones asfálticas especiales para mantener la trabajabilidad de la mezcla a bajas temperaturas, eliminando la necesidad de calentamiento excesivo. Ideal para obras pequeñas o en climas fríos.
   - Menor consumo energético.
   - Reducción de riesgos laborales.
   - Bajos costos de producción y mantenimiento.
   - Menores emisiones de GEI.
4. Tecnología de Asfalto Espumado: Se basa en la inyección de agua fría y aire comprimido en asfalto caliente, lo que genera una espuma que facilita la mezcla y compactación a temperaturas más bajas. Esto reduce el consumo de energía sin comprometer el desempeño mecánico del asfalto.
   - Ahorro energético significativo.
   - Reducción de temperatura de producción hasta en 40 °C.
   - Menor exposición de trabajadores a vapores.
5. Pavimentos Bloqueadores del Calor Solar: Diseñados con pigmentos reflectantes que reducen la temperatura superficial del pavimento al reflejar la radiación solar, lo cual mejora el confort térmico y extiende la vida útil del asfalto.

- Reducción de la temperatura del pavimento.
- Menor deterioro por calor y radiación UV.
- Mejora del microclima urbano.

En términos de Economía Circular Economía, la aplicación de estas estratégias contribuye en la:

- Disminución del consumo energético en producción, transporte y aplicación de mezclas.
- Reducción de emisiones contaminantes, mejorando la calidad del aire en obras y zonas urbanas.
- Aumento en la vida útil del pavimento, disminuyendo la frecuencia de intervenciones.
- Reaprovechamiento de energía térmica para otras funciones (como en sistemas RES®).
- Integración con otras tecnologías sostenibles, como energías renovables y materiales reciclados.

4.1.2. Otras tecnologías sustentables aplicables a la conservación de las carreteras

La conservación y mantenimiento de carreteras están evolucionando mediante la incorporación de tecnologías innovadoras diseñadas para mejorar la eficiencia, reducir el impacto ambiental y fortalecer la resiliencia de la infraestructura vial. Estas soluciones sustentables abarcan aditivos, materiales y sistemas tecnológicos que permiten optimizar procesos, disminuir costos, mejorar la calidad del aire, reducir emisiones y alargar la vida útil de los componentes viales. Algunas de estas se mencionan a continuación:

1. Control del Polvo: Se ha desarrollado un aditivo aglomerante de partículas que las hace más pesadas, reduciendo su dispersión en el aire durante actividades de mantenimiento vial.
   - Mejora la calidad del aire en zonas de obra.
   - Ahorro de material (0.5% a 1% en cemento).
   - Facilita la obtención de certificaciones LEED.
2. Impermeabilización Sustentable: Uso de emulsiones sin formaldehído ni amoníaco para membranas impermeables, prolongando la vida útil de estructuras.
   - Reducción de emisiones de COV.
   - Prevención de filtraciones y patologías.
   - Mayor durabilidad estructural.
3. Barreras Móviles: Permiten reconfigurar calzadas rápidamente durante trabajos viales, sin necesidad de cierres prolongados.
   - Reducción de accidentes y congestión.
   - Menor tiempo y costo de construcción.
   - Disminución de emisiones por tráfico detenido.
4. Sistemas Inteligentes de Cobro Electrónico (ETC): Basados en GPS y GSM, estos sistemas aplican tarifas diferenciadas según las emisiones del vehículo.
   - Reducción del consumo de combustible y tiempos de viaje.

- Disminución de ruido, accidentes y emisiones de CO_2.
- Mejora de eficiencia vial.

5. Revestimiento con Poliurea: Material impermeabilizante y anticorrosivo sin disolventes ni compuestos orgánicos volátiles.
   - Alta resistencia química y mecánica.
   - Prolongación de vida útil en puentes y estructuras expuestas.
   - Cero emisiones de COV.

En términos de Economía Circular las ventajas de estas prácticas son las siguientes:

- Reducción del uso de materiales vírgenes al emplear soluciones eficientes y durables.
- Minimización de residuos mediante mejoras en la durabilidad e impermeabilización.
- Reducción de emisiones por tecnologías limpias y reducción de tiempos operativos.
- Extensión del ciclo de vida de estructuras mediante aditivos y materiales de alto desempeño.
- Digitalización y cobros inteligentes que promueven menor consumo de recursos y mejores prácticas de movilidad.

4.2. Prácticas de control de erosión

Consisten en elementos que se instalan en sitios identificados con un alto potencial de erosión, para mayor detalle consultar el Manual de Planeación, Diseño e Implementación de Infraestructura Verde Vial de la SICT, 2021 Estos elementos se pueden considerar desde la planeación o diseño, sin embargo, se pueden implementar en etapas posteriores en sitios donde se identifiquen problemas de erosión que no se consideraron durante las etapas previas. Algunos ejemplos de estas prácticas se describen a continuación

4.2.1. Terrazas

Una de las estrategias que se usan para suavizar las pendientes de los cortes y terraplenes, es la construcción de terrazas. En términos de infraestructura verde vial, las terrazas son estructuras dispuestas perpendicularmente a la pendiente que pueden reducir la erosión potencial al disminuir las velocidades de escurrimiento. Su construcción puede cumplir diferentes funciones con la correcta estabilización del talud como son:

- Reutilización de materiales locales: Las terrazas pueden construirse con materiales in situ, como piedras del propio talud, tierra estabilizada o residuos de excavación. Esto reduce la necesidad de extraer o transportar nuevos recursos.
- Prolongación de la vida útil de la infraestructura: Las terrazas estabilizan taludes y previenen deslizamientos, reduciendo la erosión y daños a la carretera, lo que alarga su vida útil y disminuye la frecuencia de reparaciones costosas y generadoras de residuos.

- Reducción de emisiones: Al evitar deslizamientos o colapsos, se reduce la necesidad de maquinaria pesada para reparaciones de emergencia, lo que se traduce en menor consumo de combustibles fósiles.
- Eficiencia hídrica: En algunas regiones, las terrazas permiten captar y redirigir el agua pluvial de forma controlada, previniendo el escurrimiento superficial descontrolado y contribuyendo a una gestión sustentable del recurso hídrico.
- Posibilidad de incorporar materiales reciclados: Aunque no es común, se podrían usar geotextiles reciclados, llantas trituradas para drenaje o materiales reutilizados en los muros de contención que forman parte de la terraza.

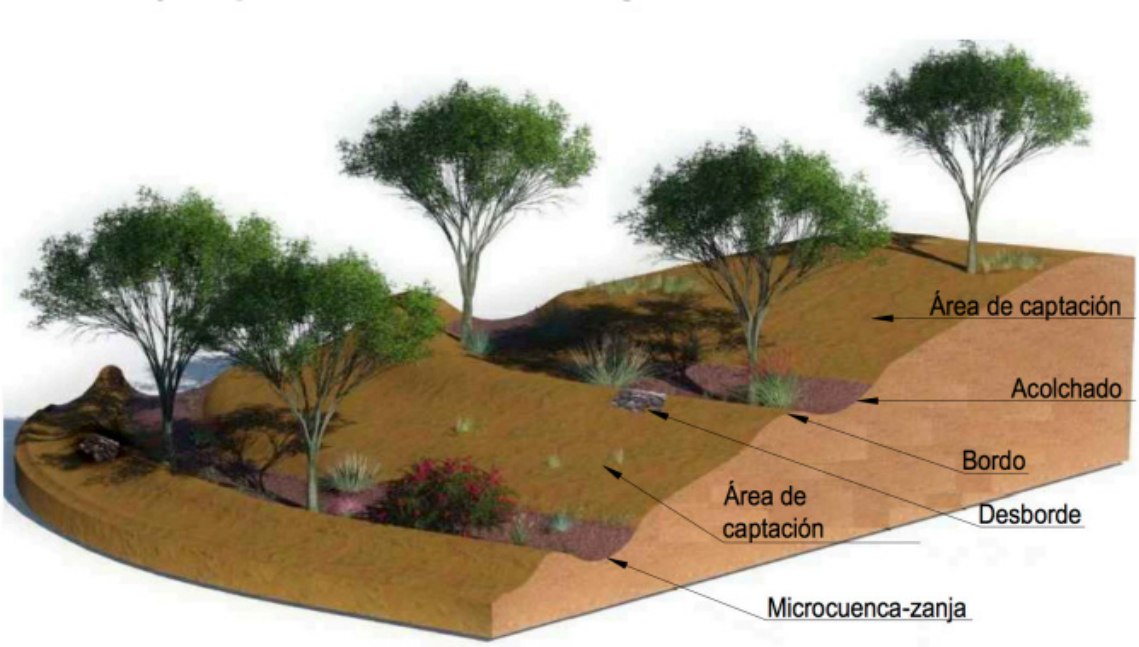


Figura 4.3.
Terrazas.
Fuente: SICT, 2021

La construcción de terrazas puede incorporar residuos reciclados como escombros de concreto o asfalto fresado, cerrando ciclos de materiales y promoviendo la Economía Circular (Tengberg et al., 2016).

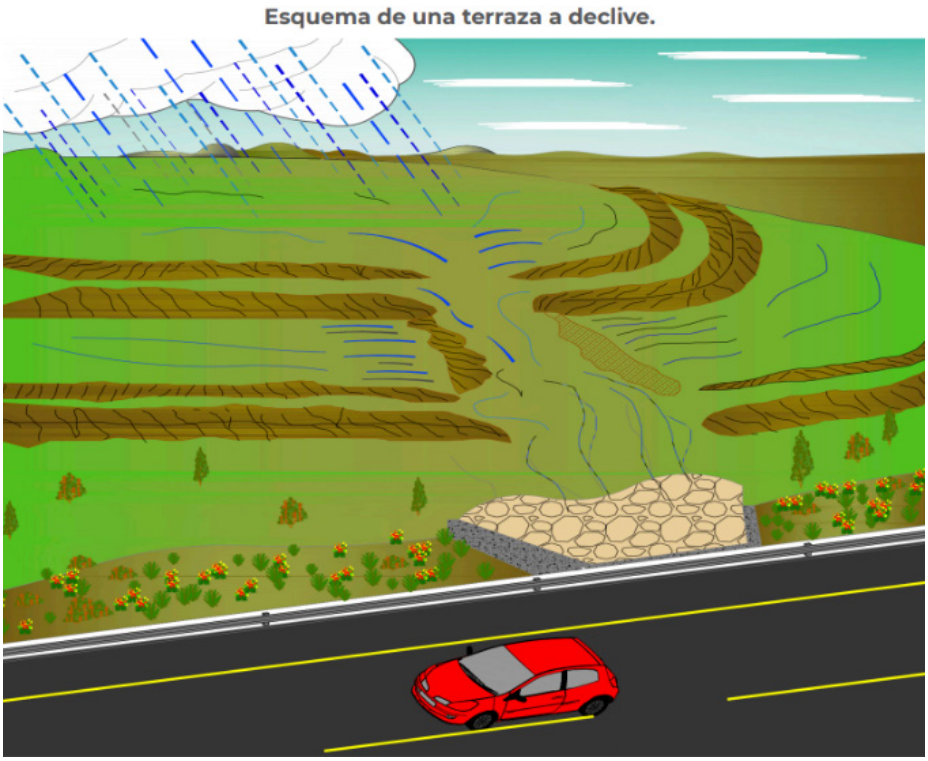


Figura 4.4.
Esquema de una terraza a declive.
Fuente: (SICT, 2021)

Ejemplo: India – Terrazas de retención en las zonas escarpadas de los Ghats Occidentales

En las regiones montañosas de los Ghats Occidentales, se utilizan tradicionalmente terrazas acondicionadas con drenaje estructurado para controlar la escorrentía durante la temporada de monzones. Estas terrazas disminuyen la velocidad del agua, favorecen la infiltración, reducen el riesgo de deslizamientos y estabilizan las pendientes, lo cual ayuda a preservar el suelo y mitigar daños en infraestructura cercana.

Aunque no existe documentación que avale su aplicación específica en carreteras, esta técnica demuestra un gran potencial como estrategia circular aplicable a infraestructura vial, al emplear soluciones adaptadas al entorno, reducir la dependencia de materiales nuevos y reforzar la durabilidad y resiliencia del sistema vial.



Figura 4.5.
Campos en terrazas en las montañas Ghats occidentales. Kodaikanal, Tamil Nadu, India
Fuente: (DmitryRukhlenko)

Otro ejemplo está en China, en las Carreteras en el Loess Plateau, La práctica de construir terrazas agrícolas ha sido fundamental en la Loess Plateau para reducir la escorrentía superficial, mejorar la infiltración del agua y conservar el suelo y nutrientes en pendientes pronunciadas. Estas prácticas han demostrado disminuir sensiblemente la erosión del terreno. Programas como *Grain for Green* implementados desde los años noventa han sustituido cultivos en laderas por bosques y pastizales, lo que amplió significativamente la cobertura vegetal, redujo la erosión y mejoró los servicios ecosistémicos.

Desde el enfoque de Economía Circular, estas prácticas son un referente por su capacidad de:

- Adaptarse al entorno natural.
- Disminuir el uso de materiales nuevos y huella de carbono.
- Proteger el terreno con soluciones regenerativas de baja intervención.

Su aplicación en obra vial modular, como diseño de corredores verdes o drenaje ecológico, representa una estrategia valiosa para incorporar resiliencia y sostenibilidad en la infraestructura.



Figura 4.6.
Terrazas cerca de la aldea Changyuan, Ciudad de Linfen, provincia de Shanxi, en el norte de China.
Fuente: (news.cgtn.com revisado en 2024)

4.2.2. Disipadores de energía

En la mayoría de los casos, los escurrimientos de los taludes pueden llegar a erosionar y transportar sedimentos o lodos hacia las obras de drenaje, por lo que se deben considerar areneros o lavaderos, estructuras disipadoras de energía entre el escurrimiento y las cunetas Las estructuras disipadoras de energía se colocan en sitios estratégicos para dirigir los escurrimientos pluviales fuera de la vialidad, evitando que el flujo cause erosión en los terraplenes. Dentro de las ventajas que proporciona la implementación de estas obras se puede mencionar:

- Generan una transición hidráulica adecuada entre el flujo superficial y las obras de drenaje (cunetas o alcantarillas), reduciendo velocidades críticas.

- Permiten una autolimpieza más eficiente de los sistemas pluviales aguas abajo, al retener sedimentos pesados aguas arriba.
- Previenen la sedimentación excesiva en estructuras de desalojo, manteniendo su funcionalidad y reduciendo los costos de mantenimiento.

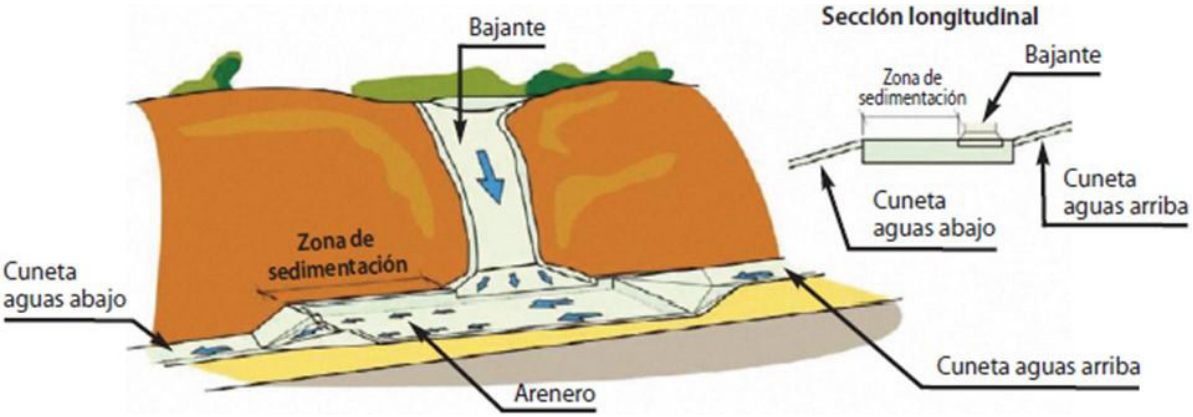


Figura 4.7.
Esquema de disipadores de energía
Fuente: (De la Peña et al., 2018)

Al ser elementos que se encuentran dentro de la normatividad del diseño de carreteras, estos se pueden encontrar en diversas carreteras del país, por ejemplo, en la en la Carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale, San Lui Potosí, México. En recorridos realizados en el tramo entre Ciudad Valles y Tamazunchale, se identificaron estructuras hidráulicas colocadas estratégicamente para canalizar los escurrimientos pluviales fuera de la vía. Estas medidas protegen los terraplenes de erosión durante temporadas de lluvia intensa, garantizando la estabilidad estructural y reduciendo la necesidad de reparaciones frecuentes.

Desde una perspectiva de Economía Circular, este tipo de infraestructura promueve la eficiencia operativa y la conservación de recursos, al evitar desprendimientos y minimizar la generación de residuos y trabajos de reposición. Al proteger activamente el cuerpo vial mediante intervenciones preventivas, se extiende la durabilidad de la carretera y se optimizan los recursos destinados a mantenimiento.



Figura 4.8.
Estructuras de desalojo pluvial o lavaderos.
Fuente: Recorridos en campo, Carretera 85. Ciudad Valles – Tamazunchale, San Lui Potosí, México.

Ejemplo: Carretera federal Mex-105, Pachuca-Huejutla, en el Estado de Hidalgo la cual forma parte del Corredor Intertroncal México-Pachuca–Tampico, Hidalgo, México:

En el tramo ubicado en Huasca de Ocampo, se observan estructuras hidráulicas escalonadas diseñadas para disipar la energía del agua proveniente de escurrimientos sobre taludes con pendientes pronunciadas. Estas obras permiten conducir el flujo sin causar erosión ni daños a otras infraestructuras del sistema de drenaje. Además, se integran lavaderos distribuidos a lo largo del tramo para facilitar la evacuación controlada del agua.

En términos de Economía Circular, estas estructuras representan una estrategia efectiva:

- Se protege el talud mediante soluciones preventivas en sitio
- Evitar pérdidas de material y recursos derivados de obras reactivas,
- Reducción de insumos de reparación y se prolonga la vida útil de la infraestructura vial.



Figura 4.9.
Estructuras de disipación de energía y lavaderos.
Fuente: Recorridos de campo, carretera federal Mex-105, Pachuca-Huejutla, en el Estado de Hidalgo la cual forma parte del Corredor Intertroncal México-Pachuca–Tampico, Hidalgo, México.

4.2.3. Geotextiles

En México, ya tiene muchos años de aplicación los materiales geosintéticos en la estabilización del suelo. Se prefiere que sean fabricados a partir de materiales reciclados como polímeros reutilizados, polipropileno o poliéster, son confinamientos o refuerzo del suelo mediante muros hechos a base de llantas, paneles de concreto, geomembranas o geotextiles que se utilizan para estabilizar taludes, controlar la erosión y promover el crecimiento de vegetación en áreas vulnerables siendo el método más económico de estabilización. Sus beneficios son:

- Control de la Erosión: Los geotextiles minimizan la pérdida de suelo al estabilizar las capas superiores, especialmente durante lluvias intensas o en áreas con pendientes pronunciadas.
- Promoción de Vegetación: Su estructura permite el paso de agua y nutrientes, facilitando el crecimiento de plantas que estabilizan el terreno de manera natural.
- Reducción de Residuos Plásticos: Al fabricarse con materiales reciclados, como fibras provenientes de botellas PET, los geotextiles contribuyen a la reutilización de plásticos postconsumo, disminuyendo la contaminación ambiental.



Figura 4.10.
Uso de geotextiles en carretera (Diagrama)
Fuente: OpenAI, 2024

1. Taiwan–Autopista Nacional No.3:

En la salida sur del cruce de Tianliao, esta autopista atraviesa una zona montañosa caracterizada por formaciones de lutita blanda, altamente susceptibles a erosión e inestabilidad, particularmente tras el incremento en la intensidad de lluvias en años recientes.

Como solución, se implementó un sistema de reforzamiento del terreno mediante **sacos de arena y geotextiles fabricados con materiales reciclados**, permitiendo estabilizar laderas sin recurrir a estructuras pesadas. Esta estrategia no solo resultó efectiva desde el punto de vista técnico, sino que también se alinea con los principios de **Economía Circular**:

- Aprovechar residuos plásticos en nuevas aplicaciones de alto valor
- Extender la vida útil de la infraestructura existente, minimizando impactos ambientales y promoviendo la resiliencia vial.



Figura 4.11.
Aplicación de geotextiles en la Autopista Nacional No. 3, Taiwan.
Fuente: (https://www.geoace.com/)

Ejemplo: Malasia – Carreteras de acceso montañoso:

En 2019, un tramo de aproximadamente 300 metros en una carretera de acceso a zona montañosa en Malasia fue severamente afectado por un deslizamiento de tierra provocado por lluvias intensas. Para restaurar el tramo y estabilizar el talud, se implementó una solución basada en geotextiles, combinada con relleno utilizando materiales disponibles in situ.

Los beneficios de esta medida son:

- Reducción significativa de los tiempos de traslado y los costos asociados al acarreo de materiales externos.
- Generar un impacto ambiental positivo al disminuir el consumo energético y las emisiones de carbono, derivadas del uso de maquinaria pesada y transporte.

Este caso representa una aplicación efectiva de los principios de Economía Circular en infraestructura, al aprovechar recursos locales, reducir huella de carbono y extender funcionalidad de la carretera con soluciones técnicas de bajo impacto.



Figura 4.12.
Aplicación de geotextiles en carreteras, Malasia.
Fuente: (https://www.geoace.com/)

4.2.4. Sistemas de drenaje sostenible (SUDS)

Los sistemas de drenaje sostenible, como cunetas verdes, franjas filtrantes, drenes filtrantes, entre otros, pueden integrarse en las obras carreteras para manejar de manera eficiente las aguas pluviales, para más información revisar el Manual de Planeación, Diseño e Implementación de Infraestructura Verde Vial de la SICT, 2021. Estos sistemas reducen la escorrentía superficial, disminuyen el riesgo de inundaciones y mejoran la calidad del agua al filtrar contaminantes. Su viabilidad técnica es alta, ya que pueden adaptarse a diversas condiciones climáticas y geográficas en México. Económicamente, aunque requieren inversión inicial, a largo plazo generan ahorros al evitar daños por inundaciones y reducir la carga en sistemas de drenaje urbano (Novotny et al., 2010).

Cunetas verdes

Las cunetas son canales que se ubican en los cortes, en uno o en ambos lados de la corona, contiguo a la línea de hombros, para drenar el agua que escurre por la corona y/o el talud. El uso de cunetas verdes se basa en los principios de diseño ecológico y soluciones basadas en la naturaleza (Nature-Based Solutions, NBS). Las cunetas verdes se alinean con estos principios al promover la infiltración, el almacenamiento y la evapotranspiración del agua, reduciendo el riesgo de inundaciones y mejorando la calidad del agua en ecosistemas cercanos (Fletcher et al., 2015). Su implementación en carreteras permite reincorporar recursos al ciclo natural y fomenta la resiliencia frente al cambio climático.

Algunos beneficios son los siguientes:

- Las cunetas verdes mitigan la contaminación del agua al filtrar aceites, metales pesados y partículas provenientes del tránsito vehicular. También mejoran la infiltración, recargando los acuíferos y evitando la erosión del suelo (Fletcher et al., 2015).
- Estas estructuras reducen la dependencia de costosos sistemas de drenaje convencionales y alargan su vida útil. Además, al disminuir los daños por inundaciones, se ahorran recursos en reparaciones y mantenimiento (Mann et al., 2013).
- Contribuyen a la mejora del paisaje vial, generando entornos más verdes y agradables para las comunidades cercanas.

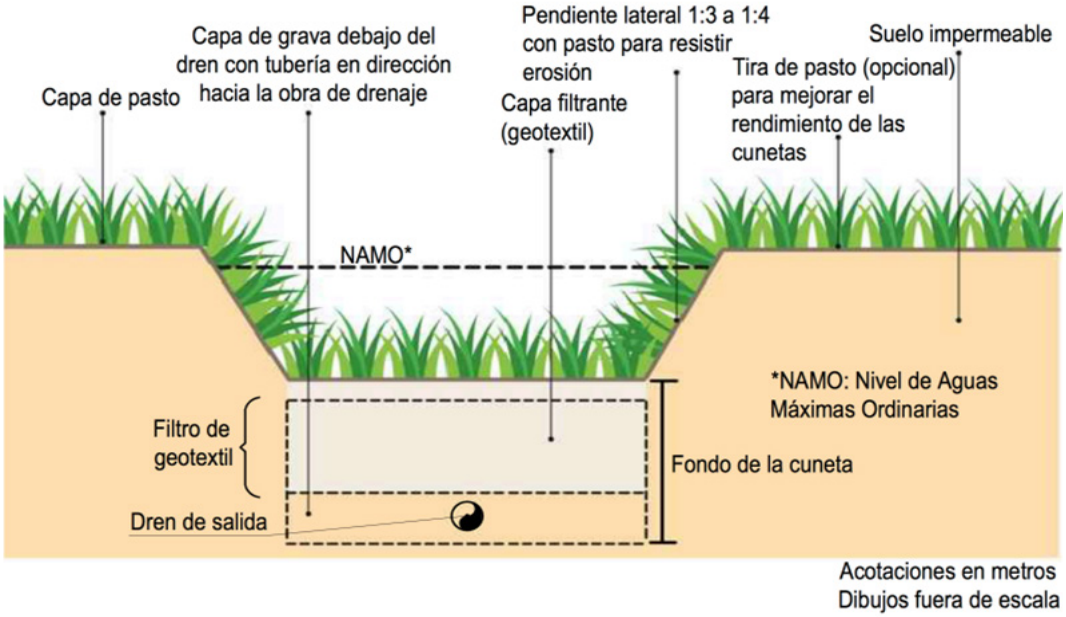


Figura 4.13.
Esquema general de una cuneta verde:
Fuente: (SICT, 2021)

Su diseño puede incluir el uso de materiales reciclados, como caucho triturado o plástico reciclado, para mejorar la permeabilidad y la estabilidad estructural, alineándose con los principios de la Economía Circular (López et al., 2021). Además, incorporar vegetación nativa en las cunetas reduce los costos de mantenimiento y favorece la biodiversidad. Cabe mencionar que estos sistemas tienen una aplicación limitada en zonas con clima seco.

Franja Filtrante

Las franjas filtrantes, también conocidas como filtros verdes o franjas de vegetación, son áreas permeables adyacentes a las carreteras que filtran, retienen y tratan el agua de escorrentía antes de que llegue a cuerpos de agua o sistemas de drenaje convencionales. Las franjas filtrantes se fundamentan en principios de diseño ecológico y gestión sostenible del agua, alineados con el concepto de soluciones basadas en la naturaleza

(Nature-Based Solutions, NBS). Según los estudios de Brabec et al. (2002), estas franjas mejoran la infiltración del agua, reducen la carga de sedimentos y contaminantes, y evitan la erosión del suelo. Asimismo, integran el manejo de recursos locales, incluyendo el uso de vegetación nativa y materiales reciclados, para garantizar una operación eficiente y ambientalmente responsable (Hatt et al., 2007).

Las franjas filtrantes pueden implementarse en carreteras, utilizando materiales reciclados como geotextiles fabricados con PET recuperado o caucho reciclado, alineándose con los principios de Economía Circular. Estas franjas son especialmente útiles en áreas con alta pluviosidad o cercanas a cuerpos de agua sensibles, donde el control de la calidad y el flujo de escorrentía es crítico.

Por ejemplo, en países como Australia, las franjas filtrantes han sido integradas con éxito en redes viales urbanas para reducir la carga contaminante en los ríos (Hatt et al., 2007). En México, su adopción podría verse favorecida por la reciente legislación que impulsa prácticas sostenibles y la gestión integral de residuos en el sector carretero.

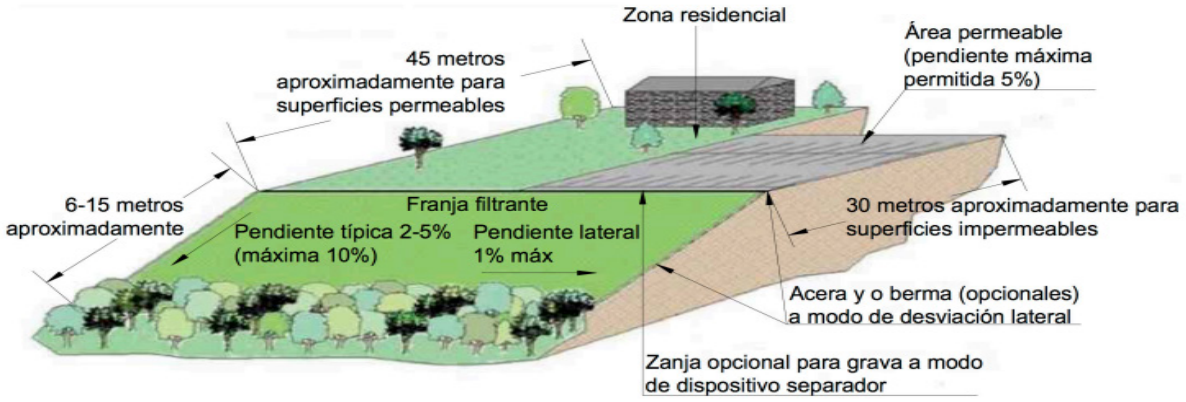


Figura 4.14.
Franja Filtrante.

Un ejemplo de estos diseños se tiene en:

Estados Unidos – Lino Lakes, Minesota:

En Lino Lakes se emplean prácticas de infiltración de aguas pluviales comunes de Economía Circular, como las zanjas o franjas de infiltración construidas adyacentes a superficies impermeables—principalmente vialidades. Estas estructuras dan un pretratamiento al escurrimiento al captarlo, almacenarlo temporalmente y filtrarlo hacia el suelo, evitando la contaminación de aguas subterráneas, mejorando la calidad del agua y reponiendo los niveles freáticos.

Desde el enfoque de Economía Circular, estas zanjas representan una **solución regenerativa**:

- Aprovechan procesos naturales del ciclo del agua
- Reducen la necesidad de intervenciones de construcción tradicionales costosas
- Minimizan el uso de materiales, al mismo tiempo que fortalecen la capacidad de la infraestructura urbana para manejar eventos pluviales de manera sostenible.

España–cuneta verde en Ronda Norte de Xàtiva, Valencia

En el marco del proyecto europeo LIFE AQUAVAL, se implementó en la Ronda Norte de Xàtiva una cuneta vegetada de sección trapezoidal, con extensión aproximada de 400 m. Esta infraesctructura forma parte de un piloto SUDS orientado a gestionar de manera eficiente las escorrentías urbanas, integrando el drenaje en el paisaje urbano A través de este sistema, el agua pluvial se infiltra, se depura in situ y se aprovecha para riego o recarga de acuíferos, evitando sobrecargas en las redes de alcantarillado y reduciendo la dependencia de infraestructuras convencionales. Además, contribuye a la mitigación del efecto "isla de calor" y mejora la resiliencia urbana frente a las precipitaciones intensas

Desde la perspectiva de Economía Circular, la cuneta verde ejemplifica una estrategia eficiente porque:

- Imita procesos naturales para reducir el uso de materiales y energía.
- Facilita la reutilización del recurso agua.
- Mejora la sostenibilidad urbana y prolonga la vida útil de la infraestructura..



Figura 4.15.
Ejemplo de aplicación de una cuneta verde:
Fuente:(https://redsuds.es)

Francia–Porte des Alpes en Lyon

En el parque tecnológico de la Porte des Alpes, ubicado al este de Lyon, se diseñaron soluciones SUDS para gestionar eficientemente el agua pluvial en un área sin salida natural de drenaje. El sistema incluye canales de retención, zanjas de infiltración y áreas verdes—como lagos y fosas—que recogen, retienen y filtran el agua mediante estructuras configuradas por zonas impermeables existentes. Las obras son compactas y multifuncionales, combinando retención, pretratamiento por decantación y filtración natural, además de integrar zonas ajardinadas y recreativas que maximizan los beneficios de diseño y funcionalidad

Desde una perspectiva de Economía Circular, estas medidas permiten:

- Cerrar el ciclo hídrico en el entorno urbano
- Aprovechar métodos naturales para la gestión del agua, reduciendo el uso de recursos y maximizando la resiliencia del urbanismo.



Figura 4.16.
Ejemplo de aplicación de una cuneta verde:
Fuente: (https://redsuds.es)

Otro tipo de franja o bermas son las franjas de filtro de composta, hechas con material orgánico reciclado, como residuos de poda y desechos orgánicos, que se colocan en el borde de carreteras para filtrar y tratar la escorrentía de agua o bien proteger las estructuras de drenaje del ingreso de sedimentos. Estas estructuras son un ejemplo claro de Economía Circular, ya que aprovechan residuos orgánicos para cumplir funciones ambientales y operativas, evitando que terminen en rellenos sanitarios y bancos de tiro. Se fundamentan en el principio de biofiltración, una solución basada en la naturaleza que utiliza materia orgánica para capturar sedimentos, reducir contaminantes y promover la infiltración de agua en el suelo. Estudios como los realizados por Faucette et al. (2009) han demostrado que estas estructuras pueden reducir significativamente la carga de sedimentos, fósforo y nitrógeno en la escorrentía de aguas pluviales, contribuyendo a la protección de cuerpos de agua y la biodiversidad circundante.

Desde el punto de vista de la Economía Circular, estas bermas representan una forma efectiva de transformar residuos orgánicos en un recurso útil, cerrando el ciclo de los materiales y minimizando el impacto ambiental de las actividades viales. La práctica también está alineada con estrategias de manejo integrado de residuos y restauración de ecosistemas (USEPA, 2020).

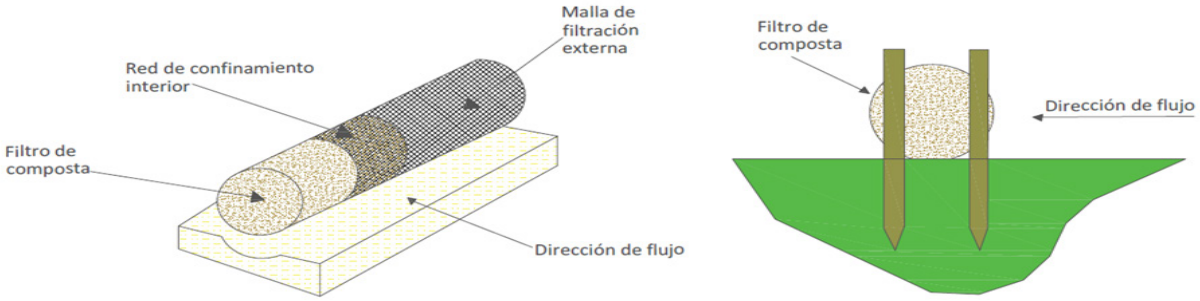


Figura 4.17.
Esquema general de un filtro de composta.
Fuente: Fuente: (USDA, 2011.)

Ejemplos de estos diseños se tiene en:

Estados Unidos

En infraestructura y construcción en EE.UU., es común el uso de filtros de composta, como los composta filter berms y composta filter socks, diseñados para retener sedimentos, metales, nutrientes y otros contaminantes durante eventos de escurrimiento pluvial. Estos sistemas utilizan composta elaborada a partir de residuos orgánicos como restos de jardín, residuos alimenticios y biosólidos, actuando como filtros tridimensionales que permiten el paso de agua limpia. Además, pueden reemplazar barreras convencionales y mejorar la eficiencia del manejo del agua.

En el marco de la Economía Circular, estas infraestructuras regenerativas representan una práctica ideal:

- Reutilizan residuos orgánicos
- Reducen impactos ambientales
- Fortalecen la resiliencia urbana y prolongan la vida útil del sistema de drenaje.



Figura 4.18.
Aplicaciones de los filtros de composta.
Fuente: (USDA, 2011.)

Cuenca de Sedimientos

Una cuenca de sedimentos es una estructura temporal diseñada para interceptar escurrimientos superficiales y permitir la sedimentación de partículas antes de que el agua ingrese a las estructuras de drenaje vial. Estas cuencas son efectivas en áreas de drenaje mayores a 2 hectáreas, preferentemente donde el terreno forma una cuenca natural y no interfiera con la infraestructura vial existente.

El diseño está optimizado para que entre el 70 % y el 80 % de los sedimentos se asienten en un periodo de 24 a 40 horas. Sin embargo, estas estructuras requieren un área considerable para su implementación, lo que limita su instalación a la disponibilidad de derechos de vía. Además, su vida útil es de 12 a 18 meses, lo que las posiciona

como soluciones de carácter temporal que necesitan supervisión constante para mantener su funcionalidad.

Economía Circular en Cuencas de Sedimentos dentro del marco de la Economía Circular, las cuencas de sedimentos pueden desempeñar un papel relevante si se implementan estrategias para el manejo sostenible de los residuos recolectados. Por ejemplo, los sedimentos retenidos pueden ser tratados y reutilizados en actividades como:

- Recuperación de suelos: Los sedimentos pueden ser procesados para su uso en la rehabilitación de áreas degradadas o como relleno en proyectos de construcción.
- Fabricación de materiales: Los sedimentos ricos en minerales pueden ser incorporados en la producción de ladrillos u otros materiales de construcción de bajo impacto ambiental.
- Dependiendo de sus propiedades, los sedimentos tratados pueden emplearse como bases estabilizadas para caminos secundarios o de menor especificación en la conservación de carreteras.

Además, la operación de las cuencas de sedimentos bajo principios de Economía Circular implica un mantenimiento planificado para garantizar su funcionalidad, como la limpieza periódica de sedimentos acumulados y su transporte eficiente hacia plantas de tratamiento o lugares de reutilización.

El uso de cuencas de sedimentos no solo contribuye a la gestión de aguas pluviales y a la reducción de la sedimentación en los sistemas de drenaje, sino que también podría integrarse como una práctica de Economía Circular para maximizar su sostenibilidad. Implementar estos sistemas con un enfoque en la reutilización de sedimentos no solo reduce el impacto ambiental, sino que también optimiza recursos, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y desarrollo responsable.

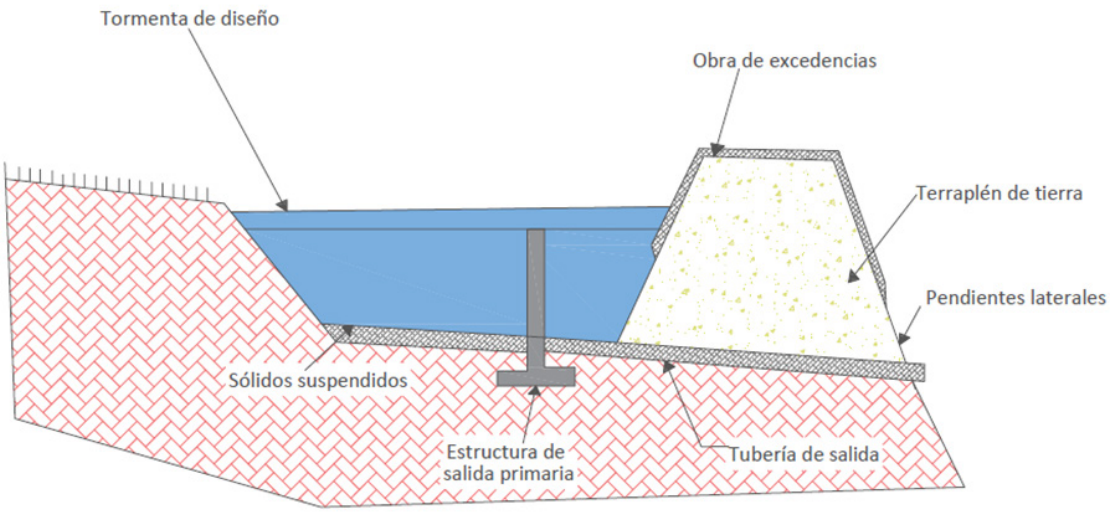


Figura 4.19.
Esquema de funcionamiento de cuencas de sedimentación.
Fuente: (https://wginc.com/)

Un ejemplo de estos diseños se tiene en:

Estados Unidos – Condado Franklin, Alabama:

En un sitio de construcción vial en el Condado Franklin (Alabama), se instaló una cuenca de sedimentación diseñada con skimmer, deflectores de carrizo y bloques de floculante de poliacrilamida (PAM). Durante un monitoreo que abarcó 16 eventos lluviosos entre noviembre de 2011 y febrero de 2012, se logró una eficiencia de remoción de sedimentos del 97.9 % en un evento específico.

Desde el enfoque de Economía Circular, este sistema demuestra una intervención eficiente, ya que permite:

- Prevenir impactos ambientales desde la etapa de construcción.
- Reducir la generación de residuos y evitar transportes adicionales.
- Optimizar el uso de aditivos técnicos (PAM) con resultados comprobables.
- Mejorar la sostenibilidad del proceso constructivo al proteger los ecosistemas acuáticos y del suelo.

Estados Unidos – Condado Franklin, Alabama:

Durante la construcción de una carretera en el Condado Franklin, se implementó un sistema mejorado de manejo de aguas pluviales que incluyó una cuenca de sedimentación equipada con skimmer, deflectores internos y floculantes de poliacrilamida (PAM). A través de un programa de monitoreo intensivo, se demostró que el sistema eliminó eficazmente los sedimentos generados en la fase inicial de obra, alcanzando una eficiencia del 97.9 % en la retención de sólidos suspendidos durante uno de los eventos de lluvia monitoreados.

Desde el enfoque de Economía Circular, esta intervención resalta la importancia de gestionar impactos desde el diseño de obra:

- Evitar daños ambientales
- Reduciendo necesidades futuras de mantenimiento
- Mejorar el rendimiento de recursos empleados durante la construcción.



Figura 4.20.
Cuenca de sedimentación, Franklin, Alabama.
Fuente: (Fang et al., 2015)

Estados Unidos – Autopista U.S. 30, Condado Tama, Iowa:

Durante la construcción de la expansión de la autopista U.S. 30, se instalaron cuencas temporales de sedimentación conformadas por bermas de tierra en canales laterales. Se realizaron mediciones de lluvia y turbidez tanto en la entrada como en la salida. Mientras que las cuencas individuales mostraron un aumento de turbidez de 92 NTU, cuando se instalaron en serie lograron reducirla aproximadamente 215 NTU en la primera y 870 NTU en la segunda lago de contención. No obstante, estos sistemas demostraron una eficacia limitada sin mantenimiento, lo que subraya la importancia de su operación adecuada

Desde el enfoque de Economía Circular, este caso destaca cómo:

- Soluciones simples basadas en estructuras temporales
- Contribución en la prevención de impactos ambientales,
- Optimizar recursos y mejorar la sostenibilidad de procesos constructivos, siempre que se combinen con diseño y seguimiento técnico adecuados.



Figura 4.21.
Cuenca de sedimentación, Tama, Iowa.
Fuente: (Schussler et al., 2022)

Estanques y Humedales

Los estanques y humedales de retención son soluciones basadas en la naturaleza para gestionar el agua pluvial en carreteras, capturando, almacenando y tratando el agua

antes de su liberación a cuerpos receptores. El agua se desaloja, de preferencia de una forma controlada, mediante un colector de desagüe en la cota del fondo y ventanas de desagüe en la obra de toma a diferentes cotas, las cuales se pueden abrir o cerrar en función del volumen de almacenamiento, además de contar con obra de excedencias para desalojar el gasto máximo de diseño. Estas estructuras no solo ayudan a mitigar los impactos negativos de las lluvias intensas, como inundaciones y erosión, sino que también ofrecen múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos, especialmente dentro de un enfoque de Economía Circular.

Estos estanques se colocan aguas abajo de las obras de drenaje que desalojan el agua sin regulación o bien para proteger infraestructura o núcleos urbanos susceptibles a inundaciones.

En un modelo de Economía Circular, los estanques y humedales de retención pueden diseñarse para maximizar el uso de recursos reciclados y reutilizables:

- Reutilización del agua tratada: El agua retenida y purificada puede ser reutilizada en actividades como riego, construcción o limpieza vial.
- Aprovechamiento de sedimentos: Los sedimentos recolectados pueden utilizarse como fertilizantes naturales en revegetación o en la estabilización de suelos.
- Reciclaje de componentes estructurales: Los materiales utilizados en la construcción de estos sistemas (geotextiles, estructuras de soporte) pueden incluir plásticos reciclados o residuos de construcción.

El uso de estanques y humedales de retención es viable en México, dado el creciente énfasis en soluciones sostenibles y la normativa ambiental que promueve prácticas de bajo impacto. Sin embargo, se deben considerar desafíos como la disponibilidad de terreno adecuado, el diseño específico para climas locales y la necesidad de mantenimiento regular.



Figura 4.22.
Humedal pluvial.
Fuente: (SICT, 2021)

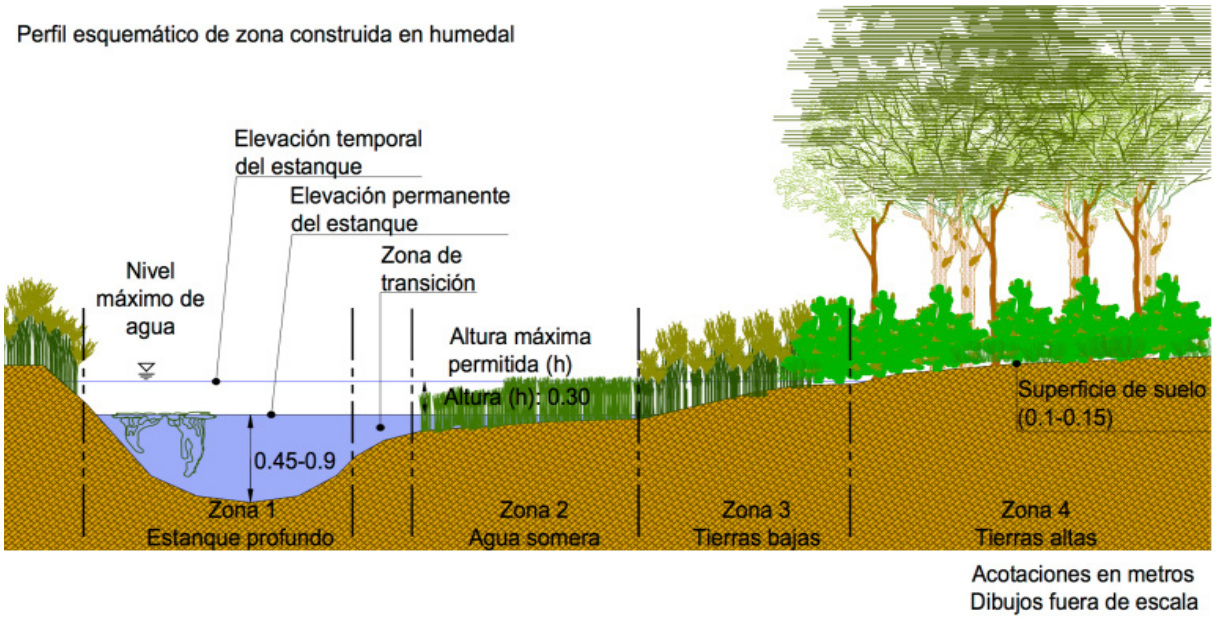


Figura 4.23.
Humedal artificial y su perfil.
Fuente: (SICT, 2021)

Un ejemplo de estos diseños se tiene en:

República de Yemen

En zonas de piedra caliza de Yemen, se han construido cisternas a lo largo de las carreteras que captan y almacenan precipitaciones escasas. Estas cisternas, usadas como cámaras de refrigeración o abrevaderos durante épocas secas, cuentan con dispositivos que permiten retener los primeros flujos de escurrimiento —que suelen concentrar la mayoría de sedimentos y contaminantes— gracias a estructuras como obras de excedencias y trampas de sedimento. El diseño considera variables críticas como la capacidad de almacenamiento y la descontaminación del agua antes de su uso.

Este sistema es un claro ejemplo de Economía Circular aplicada a infraestructura vial:

- Transforma el escurrimiento pluvial en un recurso valioso
- Reduce la pérdida de agua útil
- Previene contaminación y promueve la sostenibilidad hídrica en entornos climáticamente desafiantes.



.

Figura 4.24.

Ejemplo de uso de cisternas en carreteras, República de Yemen.

Fuente: **(Van Steenbergen et al., 2021**)

Biorretenedor

Estos sistemas combinan espacios abiertos con el tratamiento de aguas pluviales con vegetación. el escurrimiento se capta y almacena temporalmente para pasar a través de un lecho filtrante de arena, materia orgánica, suelo u otros medios. se debe considerar el uso de plantas nativas además de incorporarse al plan de paisajismo local para mayor información revisar el *Manual de Planeación, Diseño e Implementación de Infraestructura Verde Vial* de la SICT, 2021. Algunos de sus beneficios son:

- Control de la contaminación: Los biorretenedores filtran contaminantes como hidrocarburos, metales pesados y sedimentos presentes en las escorrentías de las carreteras (LeFevre et al., 2015).
- Recarga de acuíferos: Facilitan la infiltración de agua al subsuelo, promoviendo la sostenibilidad de los recursos hídricos.
- Fomento de la biodiversidad: Las plantas utilizadas en los biorretenedores crean microhábitats para la flora y fauna local.
- Reducción de costos en infraestructura gris: Disminuyen la dependencia de sistemas convencionales de drenaje, reduciendo los gastos de construcción y mantenimiento (Semadeni-Davies, 2015).
- Uso de materiales reciclados: Los biorretenedores pueden incorporar residuos reciclados como agregados secundarios o suelos tratados, cerrando ciclos de materiales.
- Estética y aceptación pública: Mejoran el entorno visual y aumentan la percepción positiva de las comunidades hacia las infraestructuras.
- Reducción del riesgo de inundaciones: Retienen el agua de lluvia en áreas críticas, protegiendo a las comunidades cercanas.

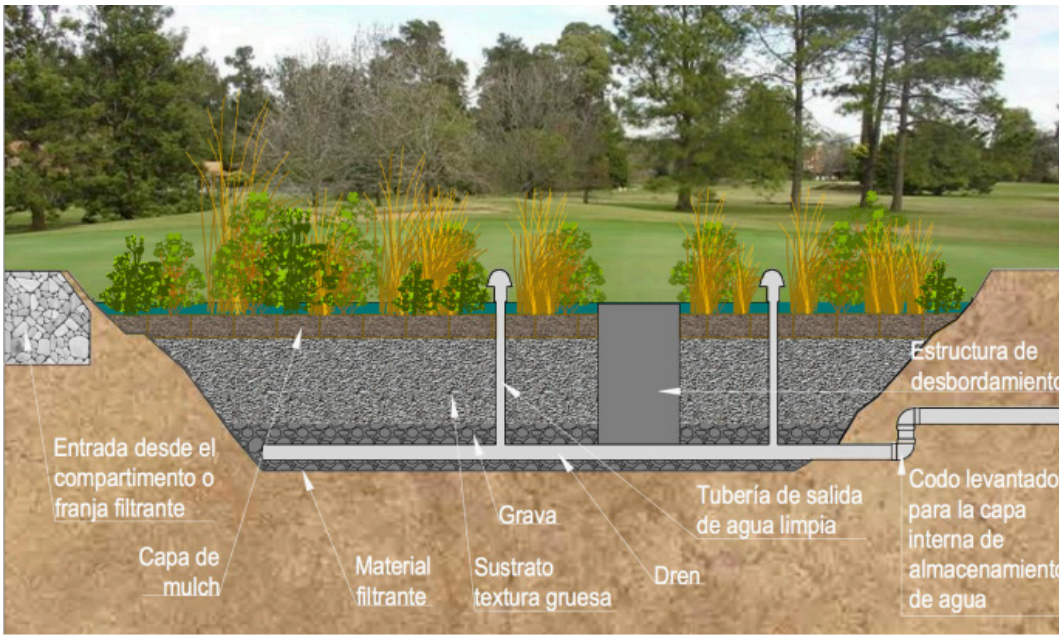


Figura 4.25.
Diseño de un biorretenedor de contaminantes
Fuente: (SICT, 2021)

Un ejemplo de estos diseños se tiene en:
Estados Unidos, Sandy Forks Road, Raleigh, Carolina del Norte
En el proyecto de ampliación de Sandy Forks Road se incorporaron soluciones de infraestructura verde vial, incluyendo áreas de biorretención con recortes de bordillo que conducen el agua pluvial hacia zonas plantadas y diseñadas para filtración natural.

Estas áreas utilizan capas de mantillo, tierra, arena y raíces vegetales para limpiar el agua antes de liberarla al sistema de drenaje pluvial; permanecen secas durante la temporada seca. Los beneficios de este proyecto son:

- Reducción de la contaminación del agua
- Reforzó la sostenibilidad del entorno urbano.
- Este proyecto obtuvo la certificación Silver de Greenroads, reconociendo su diseño-sostenible, el uso de materiales reciclados —como rap y madera regenerada— y su enfoque integral de resiliencia ambiental.

El enfoque no solo redujo la contaminación del agua, sino que reforzó la sostenibilidad del entorno urbano. este proyecto obtuvo la certificación silver de greenroads, reconociendo su diseño sostenible, el uso de materiales reciclados —como rap y madera regenerada— y su enfoque integral de resiliencia ambiental.



Figura 4.26.
Ejemplo de biorretención, Sandy Forks Road, Carolina del Norte, Estados Unidos.
Fuente: (https://raleighnc.gov/stormwater/services/green-stormwater-infrastructure-initiatives/roadway-bioretention-areas)

Pozos de Infiltración

Los pozos de infiltración pueden clasificarse como pozos de recarga someros, utilizados para el almacenamiento y recuperación de acuíferos (ASR, por sus siglas en inglés), o como pozos de transferencia y recuperación de almacenamiento de acuíferos (ASTR). La implementación de este tipo de infraestructura en obras carreteras o ferroviarias representa una alternativa más rentable frente a otros métodos de almacenamiento hídrico, como humedales artificiales, cuencas de infiltración o plantas de tratamiento con

depósitos superficiales, los cuales requieren grandes extensiones de terreno o mayores inversiones.

Los pozos someros son especialmente útiles en zonas donde el nivel freático se encuentra a poca profundidad o donde existen capas superficiales de baja permeabilidad que cubren estratos subterráneos permeables, evitando así la necesidad de técnicas complejas de distribución del agua.

Estos pozos se pueden construir dentro de estanques o franjas de infiltración, o incluso en cauces naturales, y contribuyen a incrementar la eficiencia y el rendimiento de otras infraestructuras verdes integradas al sistema vial.

Algunos beneficios son los siguientes:

- Recarga de acuíferos: Los pozos de infiltración contribuyen a reabastecer las reservas subterráneas de agua, especialmente en regiones con estrés hídrico (Bouwer, 2002).
- Control de la contaminación: Actúan como sistemas naturales de filtración, reduciendo la carga de contaminantes como sedimentos, aceites y metales pesados presentes en la escorrentía.
- Prevención de inundaciones: Ayudan a disminuir el volumen de agua superficial en áreas propensas a encharcamientos y daños por inundaciones.
- Reducción de costos en infraestructura de drenaje: Al reducir la necesidad de sistemas de drenaje convencional, los pozos de infiltración representan una alternativa más económica en el largo plazo.
- Uso de materiales reciclados: Pueden ser construidos utilizando materiales reciclados, como agregados secundarios en las capas de filtración, promoviendo la circularidad de materiales.
- Beneficio para las comunidades: En áreas rurales y urbanas cercanas a carreteras, los pozos de infiltración mejoran la disponibilidad de agua subterránea para uso agrícola y doméstico.
- Aceptación pública: Estas estructuras suelen ser bien vistas por las comunidades al contribuir a la sostenibilidad hídrica y ambiental. (Para mayor información consultar el Manual de Planeación, Diseño e Implementación de Infraestructura Verde Vial de la SICT, 2021

Un ejemplo de estos diseños se tiene en:

Etiopía

En esta región se han instalado zanjas de infiltración adyacentes a las carreteras, diseñadas para captar escurrimientos pluviales y facilitar su paso al subsuelo, favoreciendo la recarga del acuífero. Estas estructuras se complementan con sistemas de retención de sedimentos, aceites y grasas, evitando la entrada de contaminantes al agua infiltrada. Además, se emplean pequeños diques de gaviones y cuencas de sedimentación (check dams) que retienen partículas antes de la infiltración, lo que protege los acuíferos y mejora el rendimiento hidráulico

Desde el enfoque de Economía Circular, esta práctica destaca por transformar el agua de escorrentía—usualmente considerada un residuo—en un recurso valioso, reducir el uso de recursos nuevos, prevenir la contaminación ambiental y promover la sostenibilidad hídrica e infraestructural.



Figura 4.27.
Ejemplo de pozo de infiltración de escurrimientos de las carreteras en Etiopía.
Fuente: Van Steenbergen et al., 2021

La implementación de las estrategias antes descritas requiere del análisis y diseños específicos que se adecúen a las características físicas e hidrológicas de la zona de estudio, sin embargo, de manera general se pueden citar las siguientes consideraciones y beneficios de la gestión de agua superficial en vialidades:

- La capacidad de almacenamiento de los embalses superficiales está limitada al tamaño de la cuenca, pero el agua está fácilmente disponible en la superficie.
- Se pueden almacenar cantidades mucho mayores de agua en el suelo en acuíferos poco profundos, siempre que la geología de la zona sea adecuada.
- Las características de infiltración y la capacidad de los acuíferos poco profundos para almacenar agua difieren según el tipo de formación geológica, la corteza del suelo y el tipo de lluvia.
- La capacidad de recarga de los acuíferos poco profundos puede mejorarse mediante técnicas que aceleren la infiltración como zanjas o estanques de infiltración o pozos de recarga.
- La recolección de mayores cantidades de agua también puede reducir el volumen de aguas pluviales potencialmente destructivas en la parte inferior de la cuenca.
- La retención intensiva de agua puede almacenar una gran cantidad de agua y cambiar el ciclo del agua en grandes áreas al afectar su disponibilidad para los cultivos y los procesos del suelo que aceleran la fertilización natural, y al crear microclimas que son más propicios para la vegetación y la agricultura, reduciendo así los riesgos de sequía y escasez de agua.

- Otra ventaja de la captación de agua es la reducción de su velocidad y, por ende, la reducción de los efectos de erosión además de favorecer la sedimentación y la infiltración en sitios específicos.
- A medida que más aguas pluviales se infiltran en el suelo, se debe gestionar menos agua como escurrimiento superficial.
- Para que estas estrategias tengan un buen desempeño dependen en mayor medida del mantenimiento periódico ya que el principal problema del escurrimiento pluvial es la carga de sedimentos y contaminantes que puede arrastrar de la superficie, por lo que es recomendable que los usuarios establezcan rutinas para inspeccionar los sistemas de gestión del agua periódicamente (después de cada temporada de lluvias) para identificar si es preciso realizar modificaciones o mejoras en los según sea necesario para abordar impactos como la erosión o el desbordamiento, y remediar cualquier problema de salud, seguridad y medio ambiente.
- El enfoque de captación debe orientarse hacia las necesidades de los usuarios, las cuales deben analizarse durante las etapas de planificación, diseño e implementación de proyectos de captación de agua.
- Los sistemas de almacenamiento de agua deben incluir medidas adecuadas para prevenir la reproducción de mosquitos y las enfermedades transmitidas por el agua que surgen en aguas estancadas.
- Como en la mayoría de los casos, la elección de las técnicas de captación de agua depende de la topografía, las condiciones del suelo y subsuelo, el clima y la economía para identificar los usos potenciales del suelo que se encuentra cercano a la infraestructura vial.
- El agua que se capta en vialidades pavimentadas puede tener presencia de hidrocarburos y otros contaminantes derivados del tránsito como grasas y aceites, lo que limita el uso de esta, por lo que se debe evitar la captación directa de vialidades con mucho tránsito o bien, considerar estrategias como la eliminación de los primeros escurrimientos o el uso de trampas de grasa y aceites o filtros.
- En la mayoría de las técnicas descritas de captación, filtración y almacenamiento de los escurrimientos superficiales se pueden utilizar materiales producto de la conservación como rocas, limos y arcillas, además de que el material orgánico se puede emplear en la generación de composta para el mejoramiento de los cultivos.
- Es necesario analizar si los periodos de retorno establecidos para el diseño de estructuras son adecuados con respecto a los cambios en los patrones de lluvia originados por el cambio climático. En el análisis estadístico se deben incluir los registros más actuales de precipitación, así como de los eventos extraordinarios con la finalidad de que el diseño de la infraestructura sea capaz de drenar el escurrimiento pluvial. Lo anterior no sólo para el diseño de nueva infraestructura, sino como una revisión de la existente.
- Cabe mencionar que los trabajos de conservación se llevan a cabo por contratistas, los cuales se rigen por las directrices plasmadas en los términos de referencia, por lo que es necesario que en estos términos se incorporen las estrategias de gestión y manejo sustentables para que se lleven a cabo y sean consideradas desde el inicio de la contratación de los trabajos.

- Los sistemas de captación y gestión de agua de lluvia en carreteras pueden complementarse elaborando contratos de aprovechamiento de agua pluvial como servicio, además de que se pueden realizar intercambios de agua pluvial recuperada por agua de extracción de pozos.

4.3. Eficiencia energética

La eficiencia energética son todas las acciones que conllevan a una reducción, económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad. (CONUEE, 2015) La eficiencia energética es esencial para optimizar el consumo de energía mediante la mejora de procesos, sistemas y recursos, con el objetivo de maximizar el rendimiento y minimizar el desperdicio sin comprometer la productividad, el confort ni la calidad de vida. Esto se logra a través de la implementación de mecanismos y tecnologías que favorecen el ahorro energético, como sistemas inteligentes de gestión de energía, mejoras en la infraestructura y el uso de materiales más eficientes.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [CONUEE]. (2015). *Ley de Transición Energética*. Diario Oficial de la Federación. México.

La eficiencia energética tiene las siguientes ventajas:

- Representa una reducción de costos operativos,
- Optimizar el uso de los recursos energéticos existentes,
- Disminuye la dependencia de fuentes no renovables.
- Se evita la sobreexplotación del medio ambiente.
- Reducir el desperdicio energético
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, un objetivo clave en la lucha contra el cambio climático (IEA, 2022).

Antes de priorizar la transición a fuentes de energía renovable, es crucial garantizar que el consumo de energía sea eficiente, ya que esto multiplica los beneficios de cualquier sistema energético, sin importar su fuente.

La eficiencia energética es un elemento imprescindible para una Economía Circular efectiva, ya que fomenta un uso responsable de los recursos, reduce impactos ambientales y contribuye al bienestar social y económico. Su implementación no solo es un imperativo técnico y económico, sino también un compromiso ético con el futuro sostenible de nuestras comunidades.

A continuación, se describen las fuentes de energía primarias y secundarias, convencionales y algunas estrategias de fuentes de energía para la diversificación de las fuentes de energía.

4.3.1. Fuente energía fósil

- México depende en gran medida del uso de hidrocarburos como fuente de energía primaria para sustentar sus actividades económicas e industriales. El petróleo es clave para la producción de diésel y gasolinas, que representan la principal fuente de combustible en el transporte. Todos los vehículos están fabricados para el consumo de estas fuentes. Sin embargo el gas natural y el gas licuado de petróleo (GLP) se emplean ampliamente en la generación de calor para procesos industriales y domésticos, mientras que combustibles como el diésel y el combustóleo continúan siendo esenciales para la generación de electricidad, o como combustibles alternos que permiten reducir las emisiones. (SENER, 2022).

Beneficios ambientales:

- Alta disponibilidad y cobertura logística nacional para el suministro de diésel y gasolina.
- Adaptabilidad inmediata: la mayoría del parque vehicular y maquinaria existente opera con estos combustibles.
- Potencial de mejora mediante tecnologías que reduzcan emisiones (como motores Euro VI o filtros catalíticos).
- Uso de gas natural como alternativa de menor impacto ambiental, especialmente en flotas de transporte y maquinaria vial.
- Reducción de emisiones al incorporar gas natural comprimido (GNC) o gas natural licuado (GNL), comparado con combustibles pesados.
- Mejora en calidad del aire al reducir partículas y contaminantes locales en zonas urbanas y periurbanas.

Además, el gas natural puede desempeñar un papel como puente hacia una economía más sostenible, debido a sus menores emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con otros hidrocarburos. En las carreteras, esto puede traducirse en la adopción de maquinaria pesada y flotas de transporte alimentadas por GNC o GNL, lo que reduciría las emisiones asociadas con el mantenimiento vial. Asimismo, la combustión más limpia de este recurso contribuye a mejorar la calidad del aire en áreas urbanas y periurbanas (IEA, 2020)

En el contexto de la Economía Circular, el uso de hidrocarburos plantea retos y oportunidades en la conservación de carreteras. Si bien los hidrocarburos están asociados con altos impactos ambientales, su reutilización en ciertos procesos puede alinearse con los principios de circularidad como son:

- Reaprovechamiento de subproductos derivados del petróleo en procesos como fabricación de asfalto reciclado o emulsiones estabilizadas.
- Optimización de maquinaria mediante mantenimiento predictivo que reduzca consumo de combustible.
- Conversión progresiva de flotas hacia vehículos que usen GNC/GNL como parte de una transición circular.

- Incorporación de residuos energéticos (aceites usados, combustóleo recuperado) como insumos industriales secundarios bajo control normativo.
- Medición y monitoreo del consumo energético para definir estrategias de eficiencia y trazabilidad.
- Sustitución progresiva de combustibles convencionales por biodiésel o combustibles alternos de menor impacto, sin alterar drásticamente la infraestructura existente.

4.3.2. Fuente Alternativa

La energía alternativa se refiere a la producción de energéticos secundarios obtenidos a partir de desperdicios o materias primas no convencionales, como aceites gastados, residuos orgánicos y plásticos. Estos combustibles alternativos ofrecen una oportunidad para reducir la dependencia de recursos fósiles y minimizar la generación de residuos, al reintegrarlos en sistemas productivos (European Commission, 2020).

En el marco de la Economía Circular, el uso de fuentes alternativas es especialmente viable y útil en el sector de conservación de carreteras. Por ejemplo, los aceites gastados de maquinaria pesada, como fresadoras y compactadoras, pueden ser recolectados y reprocesados para generar combustibles secundarios que alimenten generadores eléctricos o equipos auxiliares en obras viales, evitando su disposición inadecuada y reduciendo su impacto ambiental (González & Martínez, 2021).

Otro ejemplo notable es el uso de biodiésel derivado de aceites reciclados para abastecer flotas de vehículos de mantenimiento vial, reduciendo significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero frente al diésel convencional, y generando empleo local (SENER, 2022).

Beneficios ambientales:

- Reducción de emisiones contaminantes, especialmente GYCEI y partículas finas.
- Aprovechamiento de residuos orgánicos y peligrosos (como aceites usados o grasas animales).
- Compatibilidad con maquinaria existente, como equipos de conservación y construcción.
- Menor dependencia de combustibles fósiles importados.
- Impulso a las economías locales, mediante cadenas de reciclaje y producción de biodiésel. Contribución al cumplimiento de metas climáticas internacionales, como el Acuerdo de París.

Algunos ejemplos:

Brasil

Desde 2005, Brasil implementó el Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiésel (PNPB), incentivando la producción local de biodiésel a partir de soya, palma y grasas animales. Se mezcla con diésel convencional para uso en maquinaria pesada, incluyendo equipos para construcción de carreteras. Este modelo ha generado empleo,

impulsado la economía rural y reducido emisiones: se estima que cada kg de biodiésel sustituido reduce aproximadamente 3 kg de GYCEI (Macedo, 2007; FAPESP, 2010).

Aunque exitoso, el programa ha generado debates por su impacto ambiental en términos de cambio de uso de suelo, por lo que se enfatiza la necesidad de políticas que aseguren sostenibilidad y conservación.

Estados Unidos

En Carolina del Norte, EE.UU., durante la construcción de la autopista I-40, se utilizó biodiésel en maquinaria pesada, como asfaltadoras y retroexcavadoras. El biodiésel fue empleado como alternativa al diésel convencional, demostrando que es viable su aplicación en grandes proyectos de infraestructura con beneficios ambientales directos, especialmente en la reducción de GYCEI (Al-Alawi, 2005).

Su aplicación en la Economía Circular tiene varios beneficios como son:

- Reutilización de residuos orgánicos e industriales (aceites, grasas animales, plásticos no reciclables) para producir energía.
- Aprovechamiento de aceites gastados de maquinaria vial en lugar de desecharlos como residuos peligrosos.
- Uso de biodiésel en maquinaria pesada sin necesidad de modificar los equipos existentes.
- Reducción de emisiones de GyCEI en operaciones de conservación.
- Fomento a la Economía Circular regional, mediante cadenas de producción, recolección y procesamiento de biodiésel local.
- Integración de estrategias energéticas sostenibles en planes y programas de conservación vial.
- Innovación tecnológica y normativa, necesarias para adaptar el sector carretero a energías limpias y sostenibles.

4.3.3. Fuentes renovables

Las energías renovables son fuentes de energía primaria que están presentes en la naturaleza y, debido a sus características, no se agotan dentro del ciclo de vida humano. Estas fuentes se renuevan continuamente y pueden ser utilizadas de forma indefinida, haciendo de ellas una opción sostenible frente a los combustibles fósiles. Entre las energías renovables más conocidas se encuentran la solar, eólica, mareomotriz, hidráulica, geotérmica y la biomasa en todas sus manifestaciones. Sin embargo, algunas de estas energías no están disponibles de manera continua debido a su dependencia de factores climáticos y geográficos, como la energía solar y eólica, que están sujetas a variaciones estacionales o diarias.

En el marco de la Economía Circular, las fuentes renovables tienen un papel clave para reducir la huella ambiental del sector carretero. En la conservación de carreteras, estas energías pueden ser útiles y viables, ya que el país cuenta con una abundancia significativa de recursos renovables. Por ejemplo, el uso de paneles solares para alimentar sistemas de iluminación y señalización en carreteras, especialmente en regiones rurales y alejadas de la red eléctrica, reduce la dependencia de combustibles fósiles y las

emisiones asociadas. Asimismo, la energía eólica puede ser aprovechada en estaciones de servicio cercanas a carreteras para el suministro energético local, mientras que la biomasa, derivada de residuos orgánicos, podría ser transformada en biocombustibles para maquinaria empleada en la conservación.

Un ejemplo destacado de viabilidad en México es el uso de paneles solares en sistemas de iluminación vial en carreteras de Baja California Sur, una región con alto potencial solar, donde estas iniciativas han demostrado ser rentables y sostenibles a largo plazo. Además, en países como Suecia, la energía geotérmica se utiliza para mantener los pavimentos descongelados durante el invierno, una tecnología que podría adaptarse en las regiones montañosas de México para evitar el deterioro de carreteras por congelación (International Energy Agency (IEA, 2019).

La implementación de estas fuentes renovables en el sector carretero también está alineada con los principios de la Economía Circular, ya que fomenta un uso eficiente y sostenible de los recursos energéticos, minimiza los impactos ambientales y promueve la independencia energética. A continuación, se describen y muestran sus principales ventajas, además de se presentan ejemplos de países que han integrado cada tipo de energía renovable en el desarrollo de carreteras.:

Energía solar

La energía solar es la energía obtenida directamente del sol. La radiación solar incidente en la tierra puede ser aprovechada para calentar agua u otros líquidos o para generar electricidad (CONUEE, 2014).

El uso de la energía solar presenta las siguientes ventajas:

- Ahorros económicos significativos para usuarios, el recurso es gratuito.
- Tiempo de recuperación de la inversión relativamente corto.
- Creación de empleos locales.
- Permite sustituir fuentes de energía que se agotan o que contaminan, como combustibles fósiles o nucleares.
- Ayuda a diversificar el portafolio energético nacional.
- No genera emisiones de GYCEI durante su operación.
- Tecnología madura y confiable, fácil de instalar, incluso en grandes escalas.
- Operación silenciosa.

Un ejemplo de uso de a energía solar Estados Unidos de América en carreteras se encuentra en Idaho, se han instalado luminarias viales alimentadas por paneles solares en sectores alejados de la red eléctrica tradicional. Estos sistemas con **LED de bajo consumo**, paneles fotovoltaicos y baterías almacenan energía durante el día y la aprovechan en la noche. Se estima que eliminan costos asociados a cableado y electricidad, ofreciendo una solución eficiente y sostenible. Desde la perspectiva de la **Economía Circular**, esta práctica es transformadora:

- Promueve energía local renovable
- Reduce el uso de recursos
- Disminuye costos operativos, y
- Fortalece la infraestructura vial con mayor resiliencia y eficiencia ambiental.



Figura 4.28.
Iluminación alimentada con energía solar en Idaho.
Fuente: (https://solar-led-street-light.com/es/luz-solar-de-carretera/)

Energía eólica

Según la Subsecretaría de Gestión Ambiental que depende de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, define la energía eólica de la siguiente manera: "La energía eólica se obtiene a partir de la energía cinética del viento generada gracias al movimiento de las corrientes de aire ocasionadas por el calentamiento no uniforme de la Tierra (SEMARNAT, 2017).

Estas son algunas de las ventajas más destacadas de la energía eólica:

- Es renovable e inagotable, el viento es un recurso natural periódico y disponible mientras existan las condiciones atmosféricas adecuadas.
- No produce emisiones contaminantes durante su operación, no quema combustibles fósiles, por lo que no genera emisiones directas de dióxido de carbono u otros gases de efecto invernadero.
- Costos operativos bajos una vez instalado el sistema, aunque la inversión inicial puede ser elevada, el mantenimiento y operación tienden a tener menores costos comparados con plantas térmicas.
- Diversificación de la matriz energética, contribuye a que el país dependa menos de combustibles fósiles, mejorando la seguridad energética.

- Uso de terrenos múltiples, muchos parques eólicos pueden coexistir con otros usos del suelo, como ganadería o agricultura ligera, si el terreno lo permite.

Un ejemplo del uso de la energía solar se encuentra en España, la Universitat Politècnica de Catalunya, en colaboración con Eolgreen, desarrolló el primer sistema industrializado de alumbrado público autónomo alimentado por energía solar y eólica. El prototipo, de 10 m de altura, integra paneles fotovoltaicos, turbina eólica de baja velocidad, batería y sistema de control inteligente, y reduce un 20 % los costos operativos respecto a los sistemas convencionales. Está diseñado para usos en vías interurbanas, autopistas y parques urbanos, y puede operar hasta seis noches sin sol ni viento

Desde la perspectiva de la **Economía Circular**, este sistema destaca por su generación descentralizada de energía renovable, reducción de uso de materiales convencionales, mantenimiento eficiente y fortalecimiento de la resiliencia vial.



Figura 4.29.
Alumbrado público que combina energía solar y eólica.
Fuente: (https://www.residuosprofesional.com/primer-sistema-de-alumbrado-publico-que-combina-energia-solar-y-eolica/)

Energía mareomotriz

La energía mareomotriz es aquella que se obtiene a partir del aprovechamiento de los movimientos de las masas de aguas costeras ocasionadas por las mareas. Una de las principales ventajas de la energía mareomotriz es que se presenta de modo más constante y predecible que la energía eólica y la energía solar. Al no consumir elementos fósiles ni producir gases de efecto invernadero es considerada una de las energías más limpias y sustentables. Las plantas de energía mareomotriz no requieren combustible, no contaminan la atmósfera (SENER, 2016).

En Francia, la energía mareomotriz ha emergido como una fuente potencial de energía renovable que aprovecha el movimiento de las mareas para generar electricidad. En la última década, diversos estudios científicos han explorado su aplicación no solo para la producción de electricidad a gran escala, sino también para usos más específicos, como la integración en infraestructuras viales, particularmente en carreteras. La implementación de sistemas mareomotrices en zonas costeras podría permitir la generación de energía eléctrica a partir de la energía cinética de las mareas, la cual puede ser utilizada para alimentar sistemas de iluminación, señales de tráfico y otras necesidades energéticas de las vías.

En la región de Bretaña, se utiliza energía mareomotriz de la central de La Rance para alimentar sistemas de infraestructura vial cercanos. Aunque la aplicación directa en carreteras es limitada, esta tecnología se emplea para abastecer estaciones de carga eléctrica en autopistas costeras (EDF Group, 2019).

Varios autores han analizado los retos técnicos y económicos de integrar esta tecnología en la infraestructura vial. Según un estudio de Kumar et al. (2022), se han propuesto modelos híbridos que combinan energía mareomotriz con otros tipos de energía renovable, como la solar, para optimizar el suministro en áreas con fluctuaciones en la actividad de las mareas. Además, investigaciones de Hernández y Ruiz (2021) sugieren que la energía mareomotriz puede contribuir significativamente a la sostenibilidad de las carreteras, ofreciendo una solución autónoma y ecológica para la operación de sistemas viales en regiones costeras.

A pesar de su potencial, los costos iniciales de instalación y la necesidad de infraestructura especializada son desafíos importantes, como destacan los estudios de Zhang et al. (2023), quienes subrayan que la viabilidad de estos proyectos depende de un análisis exhaustivo de las condiciones marinas locales y la tecnología de conversión de energía disponible. Sin embargo, los avances en la eficiencia de los generadores mareomotrices y la mejora de las técnicas de almacenamiento energético podrían facilitar la expansión de esta tecnología hacia el uso en carreteras en un futuro.

Energía geotérmica

Se refiere a la energía térmica natural existente en el interior de la Tierra y que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior del planeta. En la práctica, es el estudio y utilización de la energía térmica que, transportada a través de la roca y/o fluidos, se desplaza desde el interior de la corteza terrestre hacia los niveles superficiales dando origen a los sistemas geotérmicos (SENER, 2016), la cual presenta las siguientes ventajas:

- La generación con geotermia no depende de condiciones climáticas variables, como sucede con la solar o eólica; es una fuente con actividad constante.
- Las plantas geotérmicas tienen impactos mínimos en cuanto a ruido y alteraciones al paisaje, especialmente comparadas con otras fuentes tradicionales.
- No todo el calor geotérmico se usa para producir electricidad; también puede aprovecharse para calefacción, usos industriales y otros, especialmente en recursos de baja o media temperatura.
- México tiene un gran potencial geotérmico, gracias a su ubicación volcánica, que puede usarse para incrementar la generación eléctrica con fuentes limpias.

En suiza, la energía geotérmica se aplica eficazmente en la calefacción de carreteras, mejorando la seguridad vial y ofreciendo soluciones sostenibles para el mantenimiento invernal de infraestructuras con ello reducir la dependencia de los combustibles fósiles y minimizar las emisiones de carbono.

El sistema pionero SERSO, instalado en 1994 en un puente en Suiza, es el primer sistema geotérmico activo para el control de hielo en una estructura vial. Su operación continúa ininterrumpidamente desde entonces. Opera almacenando el calor solar absorbido por la superficie del puente durante el verano en un gran volumen de roca subterránea (aproximadamente 55 000 m^3) mediante 91 sondas de 65 m de profundidad. En invierno, este calor se libera para mantener la superficie justo por encima de 0 °C, impidiendo la formación de hielo o nieve compactada



Figura 4.30.
Sistema de calefacción para carreteras en un puente.
Fuente: (pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/EGC/2007/147.pdf)

Energía Hidráulica

La energía hidráulica se obtiene a partir de la energía cinética y potencial del agua. El origen de la energía hidráulica ocurre principalmente por el ciclo del agua. Para conseguir aprovechar esa energía, se utilizan los recursos tal y como están presentes en la naturaleza, como puede ser una cascada o también por medio de la construcción de presas (SENER, 2016). La energía hidráulica tiene las siguientes ventajas:

- No requiere combustible. ya que utiliza la energía del agua en movimiento, no combustibles fósiles.
- No contamina el aire ni el agua durante su operación.
- Costos de mantenimiento y explotación bajos, una vez construida la infraestructura, los costos operativos suelen ser relativamente bajos.
- Larga vida útil de las obras de ingeniería, las plantas hidroeléctricas pueden operar por muchos años.
- Previsibilidad y constancia en la generación eléctrica, la capacidad de generar energía de forma relativamente estable frente a otras fuentes de energía.

En España, la energía hidráulica, también conocida como hidroeléctrica, aprovecha la fuerza del agua en movimiento para producir electricidad. Este tipo de energía es una de las fuentes renovables más utilizadas en el mundo, representando aproximadamente el 20% de la demanda global de electricidad (Junta de Castilla y León).

En el contexto de la infraestructura vial, la energía hidráulica se ha explorado como una fuente potencial para alimentar diversas aplicaciones en carreteras. Por ejemplo, se han propuesto sistemas que integran turbinas hidroeléctricas en infraestructuras viales, como túneles o puentes, para generar electricidad aprovechando el flujo de agua en áreas específicas. Estos sistemas podrían suministrar energía para iluminación, señales de tráfico y otros dispositivos electrónicos en las carreteras, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia energética de la infraestructura vial (Herrenknecht, en línea 2024).

4.3.4. Maquinaria hibrida

La maquinaria híbrida representa un avance significativo en las labores de construcción carreteras al combinar combustibles fósiles con tecnologías de electro-movilidad. Estas máquinas permiten ahorros sustanciales de combustible mediante estrategias como el apagado automático de motores en reposo, lo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Su implementación es viable en México, dado el crecimiento de la oferta de maquinaria híbrida por parte de fabricantes internacionales. Por ejemplo, la excavadora híbrida HB215LC-1 de Komatsu ha demostrado un ahorro de combustible del 25% en comparación con modelos convencionales (Komatsu, 2020). En el contexto de la Economía Circular, estas tecnologías no solo reducen el impacto ambiental, sino que optimizan recursos a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de conservación vial.



Figura 4.31.
Excavadora híbrida HB215LC-1 de Komatsu.
Fuente: (https://www.komatsu.eu/en/product-archive/hybrid-crawler-excavators/hb215lc-1-hybrid)

En actividades de mantenimiento vial, los generadores portátiles son esenciales para el funcionamiento de equipos y señalización. La generación híbrida, que combina energía solar, eólica y convencional, puede ofrecer una alternativa eficiente y menos contaminante.

4.3.5. Iluminación sostenible

El uso de tecnología LED para la iluminación de carreteras es una solución eficiente y sostenible. Las luminarias LED consumen hasta un 75% menos de energía que las lámparas tradicionales y tienen una vida útil más larga, lo que disminuye los costos de mantenimiento y reemplazo (DOE, 2021). La incorporación de sensores para regular la intensidad y el encendido/apagado según las condiciones de tránsito y luz solar puede maximizar la eficiencia energética. Además, las luminarias fotovoltaicas integradas ofrecen una alternativa autónoma para zonas rurales o remotas donde el acceso a la red eléctrica es limitado.

4.3.6. Generación híbrida

En muchas de las actividades de mantenimiento de carreteras se requieren generadores portátiles de energía eléctrica para el señalamiento o para el uso de diversas herramientas, en estos casos es recomendable explorar el uso de energía renovables, que pueden ser unidades generadoras de una sola fuente o unidades generadoras híbridas que combinen energía solar, eólica o generación convencional utilizando combustibles fósiles.

Una investigación de la Junta de Investigación en Transporte. (2011) analizó la aplicación de sistemas híbridos de energía solar y eólica para alimentar señales de tránsito y sistemas de iluminación en carreteras rurales aisladas. Los resultados mostraron que estos sistemas proporcionan una fuente de energía confiable y sostenible, mejorando la seguridad vial y reduciendo los costos operativos asociados con el tendido de líneas eléctricas en áreas remotas.

5. Estrategias de economía circular para minimizar el impacto ambiental en la conservación de las carreteras por tipo de activos carreteros

La transición hacia un modelo basado en la Economía Circular surge como una solución viable para minimizar los impactos ambientales generados del consumo de materiales, promoviendo así la reutilización de materiales, el reciclaje y la implementación de tecnologías limpias. Este enfoque no solo busca optimizar los recursos, sino también mitigar el cambio climático, conservar los ecosistemas y reducir los costos a largo plazo (GyCE Issdoerfer et al., 2017).

El análisis que se presenta en este apartado es un comparativo entre las prácticas tradicionales y las basadas en Economía Circular y permite visualizar la relevancia de adoptar estrategias sostenibles para reducir el impacto ambiental del sector carretero.

En un primer ejercicio, (mismo que puede ser consultado en el capítulo 3, modulo 3.5 Análisis del impacto Ambiental en la conservación de carreteras en México se ejemplificó y explicó de manera teórica, el impacto ambiental que es generado por llevar a cabo las actividades de conservación de carreteras sin incorporar principios de Economía Circular. Este segundo ejercicio, refleja una matriz donde se considera el impacto de estas actividades en diferentes aspectos ambientales (calidad de la atmósfera (aire y ruido), suelo, agua, paisaje, flora y fauna) y cómo las prácticas de Economía Circular pueden mitigar estos efectos. Al final se presenta una tabla comparativa que resume el ejercicio.

Tabla 5.1
Total de impactos ambientales por categoría.

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN								
Elemento	**Actividad**							
Pavimentos	Reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico	-0.377	-0.267	-0.462	-0.296	-0.344	-0.186	0
	Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	0	-0.267	0	0	0	0	0
	Demolición de lozas de concreto hidráulico	-0.377	-0.267	-0.442	-0.328	-0.116	-0.232	0
	Reposición parcial y total en losas de concreto hidráulico	-0.377	-0.267	-0.442	-0.221	-0.426	-0.232	0
	Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfáltico	-0.377	-0.267	-0.442	-0.174	-0.426	-0.232	0
	Construcción de subbases o bases hidráulicas	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Construcción de subbases o bases estabilizadoras	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Construcción de bases con mezcla de material pétreo recuperado y cemento asfaltico espumoso	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Estabilización de refuerzos de revestimiento con cloruro de calcio	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN								
Elemento	**Actividad**							
Pavimentos	Acciones en la estabilización de losas de concreto hidráulico	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Construcción de subases y bases de concreto compactado con rodillo	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Construcción de carpetas y carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Renivelaciones locales en pavimento asfaltico y pavimentos de concreto hidráulico	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Capas de rodadura de un riego	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Capas de rodadura de granulometría abierta	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Carpeta asfáltica de granulometría densa	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo sma y casaa	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Bacheo superficial	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Capas de rodadura de mortero asfáltico	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Recorte de carpetas asfálticas	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Recuperación en caliente de carpetas asfálticas	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN								
Elemento	**Actividad**							
Pavimentos	Recuperación en frio de pavimento asfáltico	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Recorte de pavimentos	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Bacheo profundo	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
Derecho de vía	Limpieza manual sobre laterales y camellón central	0	0	0	0	0	-0.345	0
	Reposición de cercado con postes de concreto y alambre de púas	0	0	0	0	0	-0.345	-0.443
	Reposición de cercado con alambre de púas	0	0	0	0	0	-0.345	-0.443
	Reposición de cercado con malla ciclónica	0	0	0	0	0	-0.345	-0.443
	Poda de árboles	0	0	0	0	-0.116	-0.345	0
	Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes	0	0	0	0	-0.426	-0.345	0
	Control mecánico de maleza en laterales y camellón central	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
Puentes y estructuras	Reposición del sello en juntas de dilatación	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reposición de juntas de dilatación	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Limpieza de drenes	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN								
Elemento	**Actividad**							
Puentes y estructuras	Acciones en limpieza de juntas de dilatación	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparación y resanes en elementos de concreto	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Limpieza de pilas, cunas, estribos y aleros	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Remoción de carpeta asfáltica en puentes	-0.377	-0.267	-0.442	-0.259	-0.116	-0.345	0
Túneles	Reposición de drenes y longitudinales	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparación del sistema de ventilación	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Limpieza de paredes y bóvedas	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Relleno de oquedades	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Acciones en la impermeabilización de revestimientos	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparación del sistema de iluminación	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
Obras de drenaje	Reparaciones mayores de colectores	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reposición de registros	0	-0.267	0	0	0	0	0

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN								
Elemento	**Actividad**							
Obras de drenaje	Reparación rutinaria de subdrenes y geodrenes	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reposición aislada de subdrenes y geodrenes							
	Reparaciones mayores de subdrenes y geodrenes	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reposición de subdrenes y geodrenes							
	Limpieza de subdrenes y geodrenes	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparaciones mayores de bordillos	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparaciones mayores de cunetas y contracunetas	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparaciones mayores de lavaderos	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparación de bordillos, guarniciones y vados	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparaciones mayores alcantarillas	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reparaciones mayores de canales	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
Taludes	Zampeado en cortes a poca altura	-0.377	-0.267	-0.442	-0.259	-0.426	-0.345	0
	Afine y retiro de material en cortes intemperizados	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Arrope de taludes	-0.377	-0.267	0.409	0.409	-0.426	-0.345	0

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN								
Elemento	**Actividad**							
Taludes	Construcción de muros gaviones o muros alcancía	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Relleno con material de banco en corte o terraplén	-0.377	-0.267	-0.442	0	-0.426	0	0
Señalización y dispositivos de seguridad	Reposición de barreras de protección	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Reposición total de barreras de protección	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Reposición de indicadores para alineamiento	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Reposición aislada de dispositivos reflejantes y botones	-0.377	0	0	0	0	0	0
	Reposición total de dispositivos reflejantes y botones	-0.377	0	0	0	0	0	0
	Acciones en la reposición de líneas y marcas en el pavimento	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Reposición de señales verticales	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0
	Reposición total de señalamiento vertical	-0.377	-0.267	0	0	-0.116	-0.345	0

COMPONENTES AMBIENTALES		ATMÓSFERA		SUELO	HIDROLOGÍA	PAISAJE	VEGETACION	FAUNA
FACTORES Y SUBFACTORES AMBIENTALES		Aire	Ruido	Componente edáfico	Escurrimientos Naturales y/o Cuerpos de Agua	Paisaje Actual	Diversidad y abundancia de la vegetación en el ecosistema	Diversidad y abundancia de la fauna silvestre en el ecosistema
ELEMENTOS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN								
Elemento	**Actividad**							
Señalización y dispositivos de seguridad	Limpieza de dispositivos reflejantesy botones	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Limpieza de señales verticales	-0.377	-0.267	0	0	0	0	0
	Limpieza de barreras y barreras centrales	-0.377	-0.267	0	-0.345	0	0	0
	Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico	-0.377	-0.267	0	-0.312	0	0	0
	Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera central	-0.377	-0.267	0	-0.259	0	0	0
	Reparación y reposición de dispositivos diversos	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera central	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Reparación y reposición de dispositivos diversos	-0.377	-0.267	0	0	-0.426	-0.345	0
	Promedio	**-0.338**	**-0.24**	**-0.035**	**-0.026**	**-0.121**	**-0.17**	**-0.017**

5.1. Valoración del impacto y aplicación de estrategias de economía circular por activo carretero, en la conservación de las carreteras

5.1.1. Pavimentos, cuerpo y derecho de vía

Prácticas aplicadas de Economía Circular en el derecho de vía

- Reutilizar residuos vegetales como abono o biomasa para proyectos locales.
- Uso de materiales reciclados para cercados como postes de polímeros reciclados.
- Cercas vivas que permiten el paso de fauna o establecer pasos de fauna.
- Usar maquinaria con baja emisión de ruido y contaminantes.

Valoración del impacto

- Vegetación (-0.345): Reducción en la pérdida de flora debido al manejo adecuado de residuos.
- Paisaje (-0.345): Menor impacto visual gracias a la reutilización de cercados.
- Fauna (-0.443): Menor alteración en hábitats por la implementación de cercas que contribuyen a disminuir los atropellos de fauna.

Estas prácticas reducen la extracción de nuevos recursos, ahorran costos de materiales y disminuyen las emisiones asociadas al transporte de residuos y materias primas.



Fotografía 5.1.
Sustitución de cercado de Derecho de Vía, con postes fabricados de polímeros reciclados en una carretera de Colombia.
Fuente: (https://www.agromundo.co/blog/tag/postes-plástico-reciclado/)

Practicas aplicadas de economía circular aplicadas en pavimentos

- Reciclaje de pavimentos asfálticos (RAP): Fresado y reprocesado para reutilizarlos en capas de rodadura. Esto reduce la necesidad de materiales vírgenes.
- Implementar técnicas de fresado en frío para reducir emisiones.
- Uso de concreto reciclado: En bases hidráulicas y subbases para nuevos proyectos.
- Recolección y clasificación de residuos: Se evita su acumulación en rellenos sanitarios y bancos de tiro, mitigando impactos negativos en el suelo y agua.



Fotografía 5.2.
Renivelación de acotamientos (tramo de prueba) con mezcla asfáltica en frío (RAP 100%), en una carretera en el Edo. de Sinaloa, México.

Valoración del impacto

- Suelo (-0.442): El uso de materiales reciclados minimiza la extracción de recursos.
- Paisaje (-0.232): El fresado en frío y reciclaje de materiales reducen residuos.

5.1.2. Puentes y estructuras

Practicas aplicadas de Economía Circular

- Reutilización del 50% de los materiales metálicos y de concreto en nuevas estructuras.
- Mantenimiento predictivo y uso de sistemas modulares para reducir los costos ambientales asociados al reemplazo frecuente de componentes.
- Monitoreo estructural mediante sensores inteligentes para extender la vida útil de puentes hasta en un 30%.
- La optimización en el transporte y tratamiento de residuos para disminuir las emisiones asociadas al manejo convencional de desechos. Implementación de rutas logísticas más eficientes y vehículos eléctricos en el transporte de materiales.
- Uso de selladores ecológicos.

Valoración del impacto

- Ruido (-0.267): Mantenimiento correcto a maquinaria y vehículos.
- Paisaje (-0.27): El impacto se reduce, gracias a los diseños de bioingeniería de taludes aplicados.
- Suelo (-0.28): Compactación del suelo y la disposición incorrecta de sedimentos se disminuye gracias al diseño de estrategias de recuperación del suelo y gestión sostenible de sedimentos. La generación de residuos sólidos, como concreto y componentes metálicos se reduce significativamente gracias a la implementación de plantas de reciclaje específicas para residuos de construcción y demolición.

La integración de prácticas de Economía Circular en puentes y estructuras podría reducir hasta un 60% los residuos sólidos generados, y disminuir en un 40% el consumo de recursos vírgenes. Esto se lograría mediante la reutilización de materiales metálicos, la optimización de procesos de reparación mediante tecnologías avanzadas como el reciclaje in situ y la implementación de programas de mantenimiento predictivo que prolonguen la vida útil de los componentes.

5.1.3. Túneles

Practicas aplicadas de economía circular

- Monitoreo ambiental continuo.
- Uso de membranas recicladas: Para impermeabilización, reduciendo el consumo de polímeros vírgenes.
- Reciclaje de sistemas de iluminación LED: Aprovechando materiales metálicos y plásticos en nuevos dispositivos.
- Ventiladores de alta eficiencia energética: Disminuyen el consumo eléctrico y prolongan la vida útil del sistema.

Valoración del impacto

- Ruido (-0.267): Limitado al interior del túnel.
- Impacto bajo general para los demás componentes.

Estas soluciones minimizan los residuos y el consumo energético, alineándose con la sostenibilidad ambiental.

5.1.4. Obras de drenaje

Prácticas aplicadas de economía circular

- Filtros fabricados con geotextiles reciclados: Mayor durabilidad y reducción de desechos.
- Reutilización de escombros para relleno: Los materiales reciclados mejoran la estabilidad del sistema de drenaje.

- Drenajes sostenibles (bioswales): Integración de sistemas naturales para filtrar agua y reducir el impacto ambiental.
- Tratar sedimentos para minimizar su impacto en cuerpos de agua.
- Usar tecnologías de reparación menos invasivas.
- Sistemas de manejo sostenible para residuos de drenaje.





Fotografía 5.3.
Reconstrucción de bordillos de concreto y con caucho Actividades realizadas en trabajos de conservación de una carretera en México

Valoración del impacto

- Hidrología (-0.026): La reutilización de materiales y sistemas de captación reducen la afectación de cuerpos de agua.
- Suelo (-0.267): Compactación controlada con maquinaria sostenible.

Estas medidas prolongan la vida útil de los sistemas de drenaje y optimizan el uso de recursos mediante la recuperación de materiales.

5.1.5. Taludes

Practicas aplicadas de economía circular

- Uso de muros de gaviones reciclados: Mallas y rocas reutilizadas para reducir desechos.
- Reutilizar material de corte para estabilización en la modernización.
- Revegetación con biofertilizantes: Composta producida a partir de biorresiduos vegetales generados en las obras.
- Estabilización con vegetación nativa.
- Construcción de terrazas: Previenen el deslizamiento de tierra y disminuyen la erosión en la modernización.





Fotografía 5.4.
Construcción de muro de mampostería de protección con material producto de derrumbe de talud. Actividades realizadas en trabajos de conservación de una carretera en México.

Valoración del impacto

- Suelo (-0.442): El uso de materiales locales reduce la compactación.
- Vegetación (-0.426): Acciones de restauración con flora nativa.

Estas prácticas maximizan la reutilización de materiales y mejoran la estabilidad del terreno, reduciendo la necesidad de intervenciones futuras.

5.1.6. Señalización y dispositivos de seguridad

Prácticas aplicadas de Economía Circular

- Diseñar dispositivos de señalización reutilizables o biodegradables en general.
- Restaurar áreas verdes tras la instalación de dispositivos.
- Uso de plásticos reciclados: En botones.
- Reutilización de láminas metálicas: Para la fabricación de nuevos señalamientos verticales.
- Sistemas modulares: Facilitan el reemplazo de componentes dañados sin desechar estructuras completas.





Fotografía 5.5.
Reposición e instalación de señalamiento horizontal (dispositivos reflejantes con materiales reciclados en una carretera en México

Valoración del impacto

- Paisaje (-0.426): Disminución en el impacto visual al emplear materiales duraderos y reciclados.
- Fauna (-0.345): Uso de barreras metálicas para direccionar a la fauna para evitar atropellos en las carreteras.

Estas medidas disminuyen los costos operativos y contribuyen a la reducción de residuos metálicos y plásticos, así como la restauración del ecosistema.

5.2. Evaluación comparativa de matrices de impacto ambiental: escenarios con y sin aplicación de prácticas de economía circular

La tabla presentada a continuación compara los impactos ambientales en diversos componentes bajo dos enfoques: sin prácticas de Economía Circular y con la implementación de un enfoque de Economía Circular. Los componentes evaluados incluyen atmósfera, suelo, hidrología, paisaje, vegetación y fauna, y cada uno es calificado según su nivel de impacto (muy bajo, bajo, moderado, alto, muy alto), acompañado por valores numéricos que reflejan la intensidad del impacto de acuerdo con la Tabla 3.4 Categorías de valoración del índice de Impacto de acuerdo con metodología Bojórquez – Tapia.

Tabla 5.2
Comparación de impactos ambientales en la conservación de las carreteras con y sin enfoque de economía circular

Componente Ambiental	Impacto sin enfoque de Economía Circular	Impacto con enfoque de Economía Circular
Atmósfera	Moderado (-0.539)	Bajo (-0.377)
Suelo	Moderado (-0.524)	Bajo (-0.267)
Hidrología	Bajo (-0.429)	Muy Bajo (-0.026)
Paisaje	Alto (-0.77)	Moderado (-0.121)
Vegetación	Alto (-0.612)	Moderado (-0.345)
Fauna	Moderado (-0.561)	Bajo (-0.17)

La comparación entre ambos enfoques revela que la implementación de prácticas de Economía Circular reduce significativamente los impactos adversos en todos los componentes ambientales evaluados. Mientras que bajo el enfoque tradicional los impactos se clasifican como moderados o altos, el enfoque circular permite disminuirlos a niveles bajos o muy bajos en la mayoría de los casos. En este sentido, la Economía Circular no solo promueve una gestión más sostenible de los recursos, sino que también contribuye a la preservación ambiental a largo plazo, demostrando su viabilidad como modelo de gestión en la conservación de carreteras.

A continuación, se presenta una tabla a modo de conclusión y resumen de la comparativa entre ambos escenarios

Tabla5.3
Comparación del impacto ambiental entre prácticas convencionales y enfoque de economía circular en la conservación de las carreteras

Aspecto Evaluado	Matriz con Prácticas Convencionales	Matriz con Economía Circular	Comentarios Comparativos
Atmósfera (aire)	Altos impactos debido al uso de maquinaria y procesos industriales que generan emisiones significativas.	Reducción considerable de emisiones al incorporar tecnologías limpias y reutilización de materiales.	La Economía Circular disminuye la huella de carbono gracias a tecnologías menos contaminantes y a la minimización de procesos redundantes.

Aspecto Evaluado	Matriz con Prácticas Convencionales	Matriz con Economía Circular	Comentarios Comparativos
Atmósfera (ruido)	No se observan mejoras específicas; los niveles de ruido son altos debido al uso de maquinaria pesada y operaciones continuas.	Disminución del ruido mediante tecnologías silenciosas y procesos optimizados, como maquinaria moderna y uso reducido de materiales vírgenes.	La Economía Circular tiene un efecto positivo al incorporar maquinaria moderna y tecnologías que minimizan ruido.
Suelo	Contaminación significativa debido al vertido de materiales de desecho, acumulación de residuos y poca planificación para la disposición final.	Mejor preservación del suelo mediante prácticas de reciclaje, reutilización de biorresiduos y manejo adecuado de desechos.	La Economía Circular promueve la regeneración del suelo mediante el manejo sostenible de residuos y la reducción de desechos peligrosos.
Agua	Alto riesgo de contaminación por infiltración de materiales no tratados, mala gestión de drenajes y desechos.	Impacto menor al implementar drenajes sostenibles, filtros naturales y reducción de materiales tóxicos.	La Economía Circular emplea tecnologías de drenaje sostenible y reduce la posibilidad de contaminantes en el agua.
Paisaje	Deterioro visual significativo debido a la acumulación de residuos y poca atención al diseño estético.	Mejora del paisaje al reutilizar materiales y restaurar áreas afectadas por las actividades.	La Economía Circular mejora el aspecto visual gracias a la restauración de áreas afectadas y al uso creativo de materiales reciclados.
Vegetación	Alta pérdida de vegetación por falta de medidas de mitigación durante las actividades.	Conservación y restauración mediante prácticas de revegetación y reutilización de biorresiduos para enriquecer el suelo.	Las estrategias de Economía Circular integran medidas para minimizar la deforestación y fomentar la regeneración de áreas afectadas.
Fauna	Desplazamiento y pérdida de hábitats debido a la alteración no controlada de los ecosistemas.	Reducción de impactos mediante técnicas que minimizan la intrusión en hábitats y mejoran su restauración tras las actividades.	Las prácticas de Economía Circular reducen los impactos al integrar diseños que respetan los hábitats y promueven su recuperación.

Aspecto Evaluado	Matriz con Prácticas Convencionales	Matriz con Economía Circular	Comentarios Comparativos
Residuos generados	Altos volúmenes de residuos no gestionados adecuadamente; mayor presión sobre rellenos sanitarios y bancos de tiro.	Reducción drástica mediante reciclaje, reutilización y prácticas que minimizan la generación de residuos desde su origen.	La Economía Circular cambia radicalmente el enfoque al considerar los residuos como recursos valiosos en lugar de desechos.
Consumo energético	Alto consumo energético asociado a procesos tradicionales y uso de maquinaria ineficiente.	Reducción significativa gracias a la implementación de fuentes renovables y tecnologías de alta eficiencia.	La transición hacia la Economía Circular optimiza el consumo energético mediante el uso de fuentes renovables y sistemas más eficientes.
Costos de mantenimiento	Elevados, debido a la frecuencia de reparaciones, el uso de materiales vírgenes y la poca planificación para el reciclaje.	Reducción de costos a largo plazo gracias al uso de materiales reciclables y la prolongación de la vida útil de los componentes.	Aunque las inversiones iniciales para la Economía Circular pueden ser mayores, los costos operativos disminuyen debido al mejor manejo de recursos y a una menor frecuencia de mantenimiento.
Impactos a largo plazo	Incremento de problemas ambientales debido al agotamiento de recursos, acumulación de desechos y pérdida de biodiversidad.	Mejora ambiental significativa al adoptar prácticas que mitigan el cambio climático, conservan recursos y minimizan la contaminación.	La Economía Circular representa una estrategia a largo plazo para reducir el impacto ambiental, conservar recursos y garantizar un enfoque más sostenible en las actividades conservación de carreteras.

5.3. Resumen de estrategias de economía circular para la conservación de las carreteras

Derivado del análisis de actividades de conservación de carreteras y bajo el enfoque de Economía Circular se desarrollaron estrategias generales para mejorar el desempeño ambiental en la conservación. Estas estrategias obedecen a los principios antes enunciados, así como a lo observado en las prácticas actuales.

Tabla 5.4.

Estrategias de economía circular identificadas en las actividades de conservación. Resumen de las estrategias (alternativas de buenas prácticas ambientales en la conservación de las carreteras.

Elaboración propia.

Actividad	Descripción	Estrategia de Economía Circular	Mitigación de Impacto Ambiental
Uso de pavimento reciclado (RAP)	Recuperación de pavimento desgastado para producir nuevas mezclas asfálticas.	Reciclaje en frío para minimizar el uso de materiales vírgenes.	Reducción de emisiones de GyCEI por la reutilizar materiales y reducir residuos en rellenos sanitarios y bancos de tiro; mezcla en frio durante la pavimentación; por reducción del transporte; disminución de desechos plásticos y mejora en el desempeño del pavimento y menor necesidad de extracción de recursos vírgenes
Control de emisiones en pavimentos	Uso de mezclas asfálticas tibias (WMA) para reducir el consumo de energía en su producción.	Incorporación de aditivos que permitan procesos más sostenibles.	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero durante la pavimentación.
Diseño de juntas de calzada reciclables	Uso de materiales como polímeros reciclados para juntas en pavimentos rígidos.	Promoción de soluciones modulares y reciclables.	Incremento en la durabilidad y reducción de desechos de mantenimiento.
Aprovechamiento de subproductos industriales	Uso de cenizas volantes y escoria en mezclas de concreto y pavimento.	Reducción en el uso de cemento mediante el reciclaje de subproductos industriales.	Menor huella de carbono asociada con la producción de cemento.
Producción de bioasfaltos	Uso de resinas naturales en bioasfaltos para reemplazar productos fósiles.	Sustituir gradualmente asfalto de origen fósil por bioasfaltos.	Reducción de emisiones de GyCEI asociadas a la producción de asfaltos tradicionales.

Actividad	Descripción	Estrategia de Economía Circular	Mitigación de Impacto Ambiental
Asfaltos modificados con plásticos reciclados	Adición de polímeros reciclados en mezclas asfálticas para mejorar la durabilidad.	Incorporación de residuos plásticos en infraestructuras viales.	Mejora en la durabilidad y reducción de residuos plásticos.
Uso de asfalto con caucho reciclado	Incorporación de polvo de llantas en mezclas asfálticas.	Reutilización de llantas desechadas, disminuyendo su acumulación en rellenos sanitarios y bancos de tiro.	Mejora en el desempeño del pavimento y reducción del ruido de rodadura.
Reutilización de concreto triturado	Trituración y clasificación de concreto para su reutilización en bases y subbases viales.	Sustitución parcial o total de agregados vírgenes en la construcción.	Menor necesidad de extracción de piedra y reducción de la huella de carbono asociada.
Uso de pavimentos reflectantes	Implementación de pavimentos con alta reflectancia solar para reducir temperaturas superficiales.	Mejora de la durabilidad del pavimento y disminución del efecto isla de calor.	Mitigación del impacto del calor en áreas urbanas.
Reutilización de residuos metálicos	Recuperación de chatarra metálica para su procesamiento y reutilización en otras industrias.	Incorporación de metal reciclado en nuevos procesos de construcción o mantenimiento.	Reducción de la demanda de extracción de nuevos metales.
Uso de maquinaria híbrida	Incorporación de equipos con tecnologías híbridas para conservación vial.	Optimización del consumo de combustibles y reducción de emisiones.	Disminución de huella de carbono en las actividades de mantenimiento.
Gestión de residuos urbanos	Colocación de islas de reciclaje en puntos estratégicos del derecho de vía.	Incentivar la separación y reciclaje de residuos sólidos urbanos.	Reducir la acumulación de basura y promover la educación ambiental.

Actividad	Descripción	Estrategia de Economía Circular	Mitigación de Impacto Ambiental
Clasificación de materiales	Clasificación de materiales por tamaño para su reutilización o donación.	Reutilización de materiales para restauración de bancos o construcción de subbases.	Reducir la extracción de recursos nuevos y promover el reciclaje.
Geotextiles fabricados con PET reciclado	Uso de polímeros reciclados para estabilización de taludes y control de erosión.	Disminución de la contaminación plástica al incorporar residuos postconsumo.	Reducción de pérdida de suelo y promoción de la vegetación.
Uso de impermeabilizantes reciclados	Incorporación de materiales reciclados como llantas y unicel en impermeabilizantes.	Sustitución de materiales vírgenes con reciclados.	Reducir residuos sólidos y fomentar el uso de reciclados.
Compostaje de biorresiduos	Transformación de residuos orgánicos generados en el derecho de vía en composta.	Creación de fertilizantes naturales para la vegetación de taludes y áreas verdes.	Disminución de residuos enviados a rellenos sanitarios y mejora de la calidad del suelo.
Filtros de composta	Uso de materiales orgánicos reciclados para filtrar escurrimientos pluviales.	Transformación de residuos orgánicos en recursos útiles.	Reducción de contaminantes en escurrimientos pluviales y mejora de la biodiversidad.
Estabilización de taludes	Aplicación de bioingeniería de taludes y vegetación para estabilización de taludes.	Uso de plantas y estructuras naturales para reforzar taludes.	Prevención de erosión y mejora de la estabilidad estructural.
Reforestación en derechos de vía	Plantación de árboles y vegetación en áreas impactadas por las actividades viales o el derecho de vía (polinizadoras).	Captura de carbono, contribución con la biodiversidad y mejora de la calidad del aire.	Protección de la biodiversidad y mejora del paisaje.

Actividad	Descripción	Estrategia de Economía Circular	Mitigación de Impacto Ambiental
Implementación de drenajes verdes	Uso de soluciones naturales como vegetación para la gestión del agua en zonas viales.	Mejora del ciclo hidrológico y reducción de la erosión.	Mitigación de riesgos de inundación y mejora de la biodiversidad.
Bioswales y Bioingeniería de taludes	Infraestructura verde en sistemas de drenaje.	Integración de bioswales y soluciones basadas en la naturaleza.	Mejora en la calidad del agua y mitigación de erosión.
Gestión de sedimentos	Separación y reutilización de sedimentos para restauración y nivelación topográfica.	Utilización de sedimentos en revestimientos de humedales o estanques.	Reducir acumulaciones no controladas de sedimentos y fomentar su aprovechamiento.
Pinturas sostenibles	Uso de pinturas con bajo contenido de COV.	Mejora de las condiciones ambientales durante su aplicación.	Reducción de emisiones de gases contaminantes.
Producción de biodiésel con aceites reciclados	Generación de combustibles alternativos para maquinaria a partir de residuos orgánicos.	Economía Circular en el uso de residuos orgánicos como aceites vegetales.	Reducción de emisiones de GYCEI y mejora en la gestión de residuos peligrosos.
Reutilización de reflejantes	Recuperación de reflejantes de reflejantes para elaboración de nuevos productos.	Fomentar la responsabilidad extendida del productor y promover el reciclaje.	Reducir residuos plásticos y fomentar prácticas de sostenibilidad.
Instalación de señalética sostenible	Uso de materiales reciclados y tecnologías LED en señalización vial.	Menor consumo de energía y reducción de residuos asociados a la señalización tradicional.	Disminución de emisiones de GyCEI durante el ciclo de vida del producto.
Rediseño de señalización con materiales sostenibles	Uso de películas reflectivas reciclables y estructuras modulares.	Promoción de la Economía Circular en la producción de señalización.	Mejora en la durabilidad y reducción de desechos.

Actividad	Descripción	Estrategia de Economía Circular	Mitigación de Impacto Ambiental
Energías renovables para iluminación vial	Uso de paneles solares y sistemas híbridos para iluminación de carreteras.	Reducción del consumo energético proveniente de fuentes fósiles.	Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.
Incorporación de sistemas de iluminación LED	Instalación de luminarias eficientes en túneles y zonas urbanas.	Uso de tecnologías de bajo consumo energético y reciclaje de componentes al final de su vida útil.	Reducción en el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero.
Monitoreo ambiental en túneles	Implementación de sensores para evaluar la calidad del aire y condiciones de iluminación.	Uso de sistemas inteligentes para optimizar la operación y mantenimiento.	Mejora en la seguridad de los usuarios y reducción en el consumo energético.
Mantenimiento predictivo	Instalación de sensores para monitorear condiciones estructurales.	Extensión de la vida útil de los elementos viales mediante monitoreo continuo.	Menor necesidad de reparaciones extensivas y consumo de recursos.
Gestión de agua pluvial	Construcción de estanques para captación y uso compartido de agua pluvial.	Uso de agua pluvial para actividades de riego y recarga de acuíferos.	Reducir el consumo de agua subterránea y minimizar el impacto en los recursos hídricos.
Gestión de residuos peligrosos	Manejo adecuado de aceites, pinturas y otros materiales peligrosos generados durante el mantenimiento.	Establecimiento de procesos de reciclaje y disposición segura.	Reducción del riesgo de contaminación del suelo y agua.

6. Gestión para la implementación de las practicas de economía circular

La implementación efectiva de la Economía Circular en la conservación de carreteras en México requiere un enfoque integral que abarque aspectos normativos, tecnológicos, logísticos, sociales y financieros, adaptados al contexto nacional. Este modelo busca transformar las prácticas tradicionales intensivas en recursos en estrategias más sostenibles, optimizando el uso de materiales, reduciendo la generación de residuos y minimizando los impactos ambientales.

6.1. Aspecto normativo

La regulación de las prácticas de Economía Circular es fundamental para asegurar una adecuada conservación de las carreteras. Establecer un marco normativo sólido debe ser el primer paso en su gestión, ya que sin lineamientos claros y disposiciones específicas que guíen estas acciones, no contarían con el sustento legal ni técnico necesario para garantizar su eficacia y cumplimiento.

En México, el marco regulatorio relacionado con la gestión de residuos y materiales reciclados en infraestructura aún es limitado y necesita fortalecerse. Es fundamental establecer estándares normativos y técnicos que definan criterios claros para el uso de materiales reciclados, como pavimentos asfálticos reutilizados o concreto triturado, asegurando así la calidad y seguridad de las obras. Países como Alemania, que exigen un porcentaje mínimo de RAP en la construcción de carreteras, han demostrado que esta medida puede reducir significativamente la dependencia de materiales vírgenes. Una propuesta viable podría ser el incluirse en los términos de referencia para los contratos de conservación de carreteras, estas medidas, para incentivar el uso de materiales secundarios y contribuir a los objetivos de sostenibilidad del país. México ha avanzado con iniciativas como la *Ley General de Economía Circular*, que busca reducir la generación de residuos y promover la reutilización de recursos en diversos sectores, incluido el vial. Sin embargo, es necesario que este marco se complemente con normativa específicos para proyectos viales, definiendo criterios claros.

Por otro lado, la SEMARNAT ha publicado el documento "*Bases para la Elaboración de un Diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México, 2024*", que actúa como un marco político estratégico para impulsar la transición hacia un modelo económico sostenible en el país. Aunque no tiene carácter obligatorio, esta guía identifica

áreas críticas, establece prioridades y propone lineamientos para fomentar prácticas como la optimización de materiales, el reciclaje y la reutilización en sectores clave, incluido el de la construcción. En el ámbito vial, su adopción anticipa un cambio hacia una gestión más eficiente de recursos y residuos, posicionando al sector de conservación de carreteras en línea con los objetivos de sostenibilidad. Incorporar estas prácticas desde ahora no solo reduce los riesgos y costos de una implementación tardía, sino que también abre oportunidades para acceder a incentivos fiscales y programas de apoyo.

6.2. Gestión de financiamiento

El financiamiento juega un papel crucial en la transición hacia un modelo de mantenimiento y conservación de carreteras más sustentable, especialmente bajo los principios de la Economía Circular. La implementación de prácticas circulares en este sector, como el reciclaje de pavimentos, la reutilización de materiales y el uso de tecnologías limpias, requiere inversiones iniciales significativas que muchas veces representan una barrera. Para superarla, es fundamental establecer estrategias de financiamiento que combinen recursos públicos, privados y de cooperación internacional, alineadas con una visión a largo plazo (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Por lo que una vez definido el marco normativo, es esencial asegurar los recursos económicos necesarios para ejecutar las acciones. Esto puede incluir la creación de fondos, incentivos fiscales y/o acceso a financiamiento internacional.

A continuación, algunos ejemplos que podrían ser considerados para fortalecer y contribuir a destinar financiamiento para la puesta en marcha de proyectos sustentables en la conservación de carreteras

6.2.1. Creación de fondos públicos y privados

México tiene experiencia con esquemas de alianzas público-privadas (APP), especialmente en infraestructura vial. Se pueden establecer fondos públicos a nivel federal y estatal, administrados por entidades como la *Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes* (SICT), enfocados en prácticas circulares en conservación de carreteras. Asimismo, las APP pueden ser utilizadas para implementar proyectos piloto en regiones estratégicas, promoviendo la adopción gradual de tecnologías limpias y procesos de reciclaje en la infraestructura vial (*Banco Interamericano de Desarrollo, 2020*). Sin embargo, para aplicar específicamente a la Economía Circular en el mantenimiento y conservación de carreteras, puede ser necesario crear fondos dedicados que prioricen proyectos con objetivos sostenibles. Por ejemplo:

- La SICT podría establecer lineamientos para que los fondos existentes incluyan criterios de sostenibilidad y Economía Circular.
- Crear un fondo nacional para la infraestructura circular administrado por algún organismo especializado, enfocado en financiar proyectos de Economía Circular
- Establecer reglas claras para las APP, como introducir cláusulas que fomenten el uso de materiales reciclados y tecnologías limpias en contratos de obra pública.

6.2.2. Financiamiento internacional

México tiene la oportunidad de acceder a fondos internacionales para proyectos de infraestructura sustentable a través de organismos como el *Banco Mundial* (BM), el *Banco Interamericano de Desarrollo* (BID) y otros programas internacionales de financiamiento verde. Estas instituciones han promovido la implementación de proyectos sostenibles en países en desarrollo, proporcionando recursos financieros y técnicos para la construcción de infraestructura resiliente y sostenible.

Para ello algunos de los pasos que podría considerar para acceder a estos recursos pueden ser:

- **Generar propuestas robustas:** La SICT y SEMARNAT podrían colaborar para diseñar proyectos que cumplan con los criterios de sostenibilidad requeridos por estas instituciones.
- **Capacitación en acceso a fondos:** Entrenar a funcionarios en la elaboración de solicitudes y gestión de fondos internacionales.
- **Coordinación interinstitucional:** Asegurar que los proyectos propuestos sean parte de un plan integral de infraestructura vial sostenible.
- Los proyectos piloto son una práctica conveniente para probar la viabilidad de estos mecanismos en regiones específicas. Estos proyectos pueden ser financiados por fondos internacionales o APP y servir como modelos para futuras políticas.
- Una vez validados los mecanismos en proyectos piloto, se podrían expandir a nivel nacional mediante incentivos fiscales, **la creación de un fondo nacional** y la estandarización de prácticas.

Por otro lado, en el contexto particular de la modernización de carreteras (construcción de nuevas obras o mejora en diseños), el enfoque de infraestructura verde y Economía Circular también abre la puerta a esquemas de financiamiento como los créditos de carbono y los pagos por servicios ambientales (PSA). Estos esquemas podrían aprovecharse si se logra una reducción verificable en las emisiones de gases de efecto invernadero o se mejora la calidad de los servicios ambientales en áreas adyacentes.

En México, la *Ley General de Cambio Climático* (LGCC) y la *Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (LGEEPA) establecen un marco normativo que apoya la mitigación de emisiones y la conservación ambiental en sectores tanto públicos como privados (DOF, 2012, 2018). Estas leyes permiten que las prácticas de infraestructura, que antes tenían impactos negativos directos, ahora se alineen con un compromiso nacional hacia la sostenibilidad.

6.2.2.1. Pago por servicios ambientales o del ecosistema

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) surge en el ámbito internacional como un instrumento de política pública diseñado para frenar el deterioro y proteger los ecosistemas naturales al asignarles un valor económico. Estos mecanismos residen en la creación de un vínculo directo entre los productores de los servicios ambientales y sus usuarios, brindando una compensación económica para que los propietarios de los ecosistemas

nativos renuncien a otros usos de suelo que pudieran resultar más rentables en ausencia de estos incentivos. Es un instrumento económico para conservar y mantener los servicios ambientales ecosistémicos de un área. Se compone de un prestador de servicios ambientales, una superficie con servicios ambientales, y un usuario. Aunque pueden existir más actores, son estos tres es posible establecer un mecanismo de este tipo.

A nivel mundial se han implementado diversos esquemas de PSA los cuales son clasificados y categorizados tanto en términos económicos, de acuerdo con el origen de los fondos, y biológicamente, de acuerdo con el tipo de servicio ecosistémico al cual están orientados. La combinación de mecanismos de financiamiento con la heterogeneidad en la oferta de servicios ambientales hace del PSA una herramienta altamente flexible, pero esto varía sustancialmente dentro de la adaptación a los contextos ecológicos, económicos, sociales e institucionales específicos de cada entorno.

Existen diversas modalidades de PSA, las cuales se estructuran en función del tipo de servicio ecosistémico que ofrecen. Algunos de estos servicios incluyen:

1. PSA hidrológicos:

Su objetivo es proteger y restaurar las cuencas hidrográficas para asegurar la captación de agua, la regulación del ciclo hídrico y la disminución del riesgo de deslaves e inundaciones. Están orientados a áreas estratégicas en las partes altas de las cuencas o zonas de recarga de acuíferos,

Ejemplo de aplicación en carreteras: instalación de sistemas de drenaje sostenible, la restauración de zonas de recarga hídrica aledañas a la infraestructura vial y la implementación de terrazas de retención o bioingeniería de taludes.

Otro ejemplo podría ser en proyectos carreteros que atraviesan cuencas críticas, como las que alimentan sistemas de agua potable, los PSA podrían pagar a comunidades para mantener la vegetación en áreas de recarga hídrica, reduciendo la erosión y los riesgos de deslaves que afectan la infraestructura vial.

2. PSA para la conservación de la biodiversidad:

Su objetivo es preservar ecosistemas con alta riqueza biológica o proteger áreas prioritarias, como zonas de amortiguamiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) o corredores biológicos. El pago aplica para evitar actividades que afecten la biodiversidad, como la tala, caza o actividades agrícolas no sostenibles.

Un ejemplo de su aplicación en carreteras puede ser para las carreteras que atraviesan áreas con alta biodiversidad pueden beneficiarse de PSA diseñados para proteger corredores biológicos. Esto incluye la construcción de pasos de fauna y la conservación de hábitats aledaños a la carretera, evitando fragmentación y pérdida de especies.

O bien puede complementarse con pagos a comunidades locales para mantener corredores biológicos a lo largo de la carretera, fomentando la conectividad entre ecosistemas y reduciendo el impacto de la fragmentación.

3. PSA de servicios culturales y paisajísticos:

Su objetivo es Promover la conservación de paisajes naturales y recursos culturales vinculados al ecoturismo, recreación o patrimonio natural.

Por ejemplo, en carreteras de alto valor turístico y cultural, la conservación de paisajes puede ser incentivada mediante PSA a comunidades que protegen áreas de alto valor escénico, histórico o recreativo. Esto promueve actividades de ecoturismo, reduciendo la presión sobre los recursos locales.

4. PSA de regulación de suelos:

Su objetivo es Fomentar prácticas que eviten la erosión, promuevan la fertilidad y mejoren la calidad del suelo.

Aplicación: Pago por implementar prácticas sostenibles, como agricultura de conservación o reforestación de áreas degradadas.

Un ejemplo puede ser la implementación de prácticas de control de erosión y estabilización de suelos en taludes y derechos de vía podría integrarse en los proyectos de conservación y modernización (construcción de nuevas obras por mantenimiento o mejora en diseños). Esto incluye la instalación de barreras vivas, sistemas de bioingeniería de taludes y revegetación. Así como incentivos para comunidades locales encargadas de mantener barreras vivas y terrazas de retención en áreas propensas a deslaves, como en la Sierra Madre Oriental.

5. PSA para la polinización

Su objetivo es proteger hábitats clave para especies polinizadoras (abejas, murciélagos, aves, etc.) que son esenciales para la agricultura y la biodiversidad.

Aplica en el derecho de vía y áreas adyacentes a carreteras que pueden convertirse en hábitats amigables para polinizadores, plantando especies vegetales que favorezcan a las abejas y otras especies clave para la agricultura y biodiversidad.

6. Mecanismos locales de PSA en zonas forestales y cuencas hidrológicas.

La integración de la infraestructura al medio ambiente es uno de los grandes retos para resolver la sostenibilidad a largo plazo de la infraestructura carretera. El impacto ambiental generado por la construcción de carreteras puede tener mecanismos de captura a largo plazo si consolida una estrategia de pagos por servicios ambientales a partir de las cuotas de los usuarios conservando áreas forestales con alto potencial de captura de carbono. En este sentido, los esquemas voluntarios por captura de carbono forestal podrían ser candidatos idóneos además de regenerar la naturaleza.

Implementación de estrategias para acceder a PSA directamente al sector carretero

Actualmente es posible implementar PSA en el contexto vial, aunque en términos del marco Normativo requerirá iniciativas normativas y la creación de programas específicos. En México los PSA para el tema forestal, se encuentran regulados principalmente por la **Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable** y operan a través de programas de la **CONAFOR** enfocados en áreas forestales y cuencas hidrológicas (CONAFOR, 2020), pero no existe una aplicación directa en el sector de infraestructura vial.

La aplicación de esquemas de PSA en el sector carretero mexicano representa una oportunidad para integrar la conservación ambiental en las prácticas de modernización

(construcción de nuevas obras por mantenimiento o mejora en diseños), mantenimiento y conservación de carreteras. Si bien requiere de ciertos ajustes y coordinación, los pasos necesarios son alcanzables si se abordan de manera estratégica y gradual.

A continuación, se describen las acciones clave para facilitar su implementación, presentadas de forma práctica y orientada a resultados:

1. Adecuación Normativa:

Es fundamental ajustar las reglas de operación de los programas de PSA existentes para incluir proyectos que promuevan la conservación de ecosistemas en áreas adyacentes a las carreteras. Estos ajustes deben enfocarse en garantizar que las actividades de mantenimiento vial, como la estabilización de taludes o la restauración de derechos de vía, puedan ser consideradas elegibles dentro del esquema de PSA. Este paso no requiere crear nuevas normativas desde cero, sino modificar las existentes, lo cual reduce su complejidad.

2. Colaboración Interinstitucional:

La implementación de PSA en el sector carretero requiere la coordinación entre instituciones clave como la SICT, la SEMARNAT y la CONAFOR. Este trabajo conjunto puede centrarse en definir las acciones elegibles, como la conservación de corredores biológicos o la restauración de vegetación en zonas críticas, asegurando que las acciones sean viables tanto desde el punto de vista técnico como financiero.

3. Ejecución de Proyectos Piloto:

Antes de una implementación a gran escala, es recomendable iniciar con proyectos piloto en regiones prioritarias. Estas iniciativas permitirán evaluar la viabilidad técnica, los costos y los beneficios del esquema de PSA en el contexto vial, reduciendo riesgos y ajustando procesos conforme sea necesario. Por ejemplo, se podrían implementar pilotos en regiones con alta deforestación o deslaves recurrentes, donde los beneficios ambientales sean evidentes.

4. Acceso a Fondos Internacionales:

Una estrategia inicial clave es presentar propuestas ante organismos internacionales, como el *Banco Mundial o el Banco Interamericano de Desarrollo*, para obtener financiamiento inicial. Estos fondos pueden destinarse a proyectos piloto, estudios técnicos o campañas de sensibilización, lo que permitirá construir una base sólida para la expansión del esquema de PSA en el sector carretero.

5. Fondos concurrentes

Los usuarios de las carreteras podrían reducir su impacto ambiental aportando cuotas fijas a un fondo concurrente que se utilice para la conservación de las carreteras que atraviesan áreas naturales protegidas y/o grandes extensiones forestales. Las aportaciones de los usuarios de las carreteras se destinarían a actividades de conservación de uno o más servicios ambientales tanto en las áreas forestales vecinas a la carretera de poseedores y propietarios como en el derecho de vía de la carretera y sus obras relacionadas. De esta forma las actividades no solo incluirían la conservación y mejora de los

servicios ambientales como: captura de dióxido de carbono, mejora del paisaje, conservación de la biodiversidad, asegurar la recarga hidrológica, etc. Sino que podrían incluir obras asociadas como la construcción de drenajes, pasos de fauna, limpieza y del derecho de vía, entre otros, dentro de la misma cuenca. Existen antecedentes de que es posible desarrollar alianzas público-privadas para generar este tipo de mecanismos locales de pagos por servicios ambientales entre actores públicos y privados (CONAFOR, 2012).

6. Beneficios Tangibles y Gradualidad:

Es importante destacar que la implementación de PSA en el sector carretero **no debe percibirse como una tarea monumental o compleja**, sino como un proceso escalable. Al priorizar acciones concretas y de alto impacto, como la conservación de cuencas hidrográficas o la captura de carbono en derechos de vía, es posible mostrar resultados inmediatos que generen confianza en el esquema y fomenten su expansión progresiva.

Este enfoque equilibrado y estratégico asegura que los PSA puedan integrarse de manera efectiva en el sector carretero, contribuyendo no solo a la conservación del medio ambiente, sino también a la sostenibilidad a largo plazo de la infraestructura vial en México.

6.2.2.2. PSA de captura de carbono y créditos de carbono

El esquema de créditos de carbono funciona bajo mecanismos como el Mercado Voluntario de Carbono. El mercado de carbono, a través del *Sistema de Comercio de Emisiones* (SCE), establecido bajo la LGCC en 2019, representa una herramienta fundamental para incentivar prácticas sostenibles en la infraestructura vial. Proyectos que implementen bioingeniería de taludes, pavimentos reciclados, eficiencia energética, reutilización de materiales y control de erosión, pueden generar créditos de carbono y entrar al mercado nacional, beneficiándose económicamente mientras contribuyen a la reducción de emisiones. Puede incluir prácticas que pueden vincularse a créditos de carbono en la conservación y la modernización (construcción de nuevas obras por mantenimiento o mejora en diseños) de carreteras ya que no están vinculadas a tener que generar una compensación o mitigación ambiental, sino como una contribución adicional para disminuir las emisiones de GyCEI.

El objetivo de este crédito es conservar los ecosistemas para que actúen como sumideros de carbono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Ejemplo de esto son los proyectos *REDD+* (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal) que integran compensación de emisiones.

Las siguientes prácticas sustentables aplicadas en la modernización de carreteras (construcción de nuevas obras por mantenimiento o mejora en diseños) tienen potencial para obtener créditos de carbono:

1. Pavimentos Reciclados y Reutilización de Materiales:

La incorporación de RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), concreto triturado y otros materiales reciclados disminuye la necesidad de materiales vírgenes y reduce las emisiones de carbono en la cadena de producción.

2. Bioingeniería en taludes para el Control de Erosión:

El uso de técnicas basadas en materiales naturales y vegetación en lugar de concreto o soluciones tradicionales reduce las emisiones durante la construcción y mejora la captura de carbono a través de la cobertura vegetal.

3. Eficiencia Energética en el Proceso Constructivo:

La implementación de maquinaria eficiente, generación híbrida de energía (solar y eólica) en sitios de obra, y el uso de iluminación LED en la infraestructura vial reducen las emisiones de carbono asociadas al consumo energético.

4. Alternativas de Transporte y Reducción de Emisiones Operativas:

Carreteras modernizadas con sistemas de transporte integrados y estrategias de movilidad eléctrica y mecánica (ciclovías), también contribuyen a la reducción de emisiones durante la operación.

Los beneficios de estos esquemas incluyen acceso a financiamiento, un mayor alineamiento con los objetivos de sostenibilidad nacionales y una imagen de responsabilidad ambiental para el sector de infraestructura vial.

Implementación de Estrategias para Acceder a créditos de Carbono en el Sector carretero

El acceso a créditos de carbono en el sector carretero mexicano representa una oportunidad clave para financiar proyectos de modernización (construcción de nuevas obras por mantenimiento o mejora en diseños), mantenimiento y conservación de carreteras mientras se promueven estrategias limpias y sustentables que minimicen las emisiones GyCEI. Aunque existen requisitos técnicos y normativos que deben abordarse, la implementación de este mecanismo es factible mediante un enfoque estratégico y progresivo.

Actualmente, México ya participa en mercados de carbono a través de programas como la *Iniciativa Mexicana de Carbono* (MEXICO2) y compromisos en el marco del Acuerdo de París. Sin embargo, para que proyectos viales accedan a estos créditos se necesita dar algunos pasos, principalmente desarrollar y ajustar metodologías específicas para medir, reportar y verificar (MRV) reducciones de emisiones en infraestructura vial ya que México carece de un marco técnico específico para este sector.

1. Revisión técnica y Normativa

Las metodologías deben alinearse con estándares internacionales como el *Verified Carbon Standard* (VCS) o el *Gold Standard*, lo que implica trabajar en:

- La creación de protocolos para cuantificar reducciones de emisiones derivadas del uso de materiales reciclados, la implementación de pavimentos con menor huella de carbono o el uso de maquinaria eficiente.
- La incorporación de lineamientos dentro de programas existentes, como los del *Registro Nacional de Emisiones* (RENE), para incluir proyectos de infraestructura vial.

2. Diseño de Metodologías de Cálculo de Emisiones:

Es esencial desarrollar metodologías técnicas que permitan medir de manera precisa las emisiones evitadas o reducidas gracias a estrategias sostenibles en la construcción y mantenimiento de carreteras. Estas metodologías deben considerar:

- El uso de pavimentos reciclados o materiales de bajo impacto ambiental.
- La reducción de emisiones por eficiencia energética en maquinaria vial.
- Beneficios indirectos, como la menor compactación de suelos o erosión debido a prácticas de bioingeniería de taludes. Estas metodologías pueden ser diseñadas en colaboración con organismos internacionales y adaptadas al contexto mexicano para facilitar su implementación.

3. Identificación y Diseño de Proyectos Piloto:

Antes de integrar el sector carretero en mercados de carbono, es crucial implementar proyectos piloto que demuestren la viabilidad técnica y financiera del esquema. Algunos ejemplos incluyen:

- Modernización (construcción de nuevas obras por mantenimiento o mejora en diseños) de carreteras utilizando pavimentos reciclados y sistemas de iluminación LED.
- Conservación de derechos de vía mediante reforestación para la captura de carbono.
- Mantenimiento predictivo utilizando tecnologías IoT que optimicen el consumo energético. Estos proyectos pueden ser evaluados para medir su impacto real en la reducción de emisiones, generar aprendizajes y desarrollar casos de éxito replicables.

4. Certificación bajo Estándares Internacionales:

Para acceder a mercados de carbono, los proyectos deben certificar sus reducciones de emisiones bajo estándares reconocidos, como el Gold Standard, VCS o iniciativas vinculadas a programas REDD+. Esto implica:

- Documentar los beneficios ambientales y sociales del proyecto.
- Garantizar la transparencia y trazabilidad de los resultados mediante auditorías independientes.
- Generar créditos verificables que puedan comercializarse en mercados nacionales o internacionales.

5. Colaboración Interinstitucional:

La integración del sector carretero en mercados de carbono requiere la coordinación entre varias instituciones, como la SICT, la SEMARNAT y organismos financieros para facilitar su incorporación. Este esfuerzo conjunto debe enfocarse en:

- Identificar las áreas de mayor potencial para la reducción de emisiones.
- Crear sinergias con iniciativas existentes, como los programas de eficiencia energética o reducción de emisiones del sector transporte.

6. Acceso a Fondos Internacionales y Programas de Asistencia Técnica:

Los organismos internacionales, como el *Banco Mundial* o el *Banco Interamericano de Desarrollo*, ofrecen fondos y asistencia técnica para proyectos de reducción de emisiones. México puede presentar propuestas para:

- Financiar el diseño de metodologías de medición y certificación.
- Implementar proyectos piloto que integren soluciones sostenibles en la infraestructura vial.
- Ampliar las capacidades técnicas y operativas de las instituciones responsables.

7. Participación de Actores Privados:

Es esencial fomentar la participación del sector privado, tanto en la implementación de estrategias sustentables como en la comercialización de los créditos de carbono generados. Esto puede incluir:

- Incentivos fiscales para constructoras que adopten prácticas de baja emisión.
- Convenios con empresas que requieran compensar sus emisiones mediante la compra de créditos.

8. Sensibilización y Capacitación:

Finalmente, es necesario desarrollar capacidades técnicas entre los actores involucrados, incluyendo empresas constructoras, autoridades locales y comunidades. Esto incluye:

- Capacitación en metodologías de cálculo y certificación de emisiones.
- Sensibilización sobre los beneficios ambientales y económicos de los créditos de carbono.
- Formación de equipos técnicos especializados en MRV.

El acceso a créditos de carbono en el sector carretero no solo es una herramienta para financiar proyectos de modernización (construcción de nuevas obras por mantenimiento o mejora en diseños) y conservación, sino que también representa un compromiso con la sostenibilidad y el cumplimiento de las metas climáticas de México. Aunque el camino requiere ajustes normativos y técnicos, las experiencias internacionales demuestran que es un modelo viable y replicable. Con estrategias claras, proyectos piloto bien diseñados y el respaldo de organismos internacionales, México puede posicionarse como un líder en la integración de infraestructura vial sustentable en los mercados de carbono.

6.3. Infraestructura logística y operativa

La infraestructura logística y operativa es un componente esencial para la implementación exitosa de las prácticas de Economía Circular en el sector carretero. Una vez asegurado el financiamiento necesario, el siguiente paso es diseñar y desarrollar la infraestructura que permita la gestión eficiente de los recursos, residuos y materiales reciclados. Este esfuerzo no solo optimiza los procesos, sino que también contribuye a la reducción de costos y emisiones asociadas con el transporte y manejo de residuos. A continuación, se mencionan algunos puntos:

La conservación de las carreteras: Es fundamental, ya que el descuido solo conduce a un mayor deterioro y, en última instancia, a la necesidad de una reconstrucción total, lo cual resulta mucho más costoso. Es fundamental entender que el dinero invertido en el mantenimiento vial es una inversión a largo plazo. Al mejorar la conservación

de las carreteras, no solo se promueve una mejor movilidad y seguridad, sino también un compromiso activo con el medio ambiente.

Centros Regionales de Reciclaje y Procesamiento: Un punto central en la infraestructura logística es la identificación y creación de centros de reciclaje distribuidos estratégicamente a nivel regional o local, que puedan procesar materiales como asfalto, concreto, metales, plásticos y otros residuos generados en las actividades de conservación y obras viales.

Centros de Acopio y Almacenamiento: Además de los centros de reciclaje, es fundamental desarrollar centros de acopio que funcionen como puntos intermedios entre la recolección de residuos en las carreteras y su procesamiento final. Estos centros permitirían clasificar, almacenar y preparar los materiales para su transporte eficiente hacia las plantas de reciclaje.

Diseño de Rutas de Transporte Eficientes: El diseño de rutas logísticas eficientes es otro elemento crítico. La optimización de las rutas para el transporte de residuos y materiales reciclados no solo minimiza los costos operativos, sino que también reduce las emisiones de carbono asociadas al transporte. Tecnologías de optimización logística, como sistemas de monitoreo en tiempo real y aplicaciones basadas en inteligencia artificial, pueden ayudar a planificar rutas que consuman menos combustible y maximicen la capacidad de carga. En México, implementar estas tecnologías sería particularmente valioso en zonas urbanas densas y regiones rurales con carreteras extensas.

Capacitación y Colaboración Intersectorial: El desarrollo de la infraestructura logística también requiere la colaboración entre distintos actores, como autoridades locales, empresas privadas y comunidades. Además, es crucial capacitar a los operadores y administradores de estos sistemas para garantizar su funcionamiento óptimo.

6.4. Fomento de la innovación tecnológica

La innovación tecnológica es otro pilar esencial, por lo que paralelamente, o inmediatamente después de generar la logística operativa, se debe promover la investigación y adopción de tecnologías que permitan optimizar procesos y mejorar la eficiencia en la gestión de recursos y residuos. Tecnologías como sensores inteligentes para el mantenimiento predictivo de carreteras han demostrado reducir costos y aumentar la eficiencia operativa. Algunas opciones son las siguientes:

Desarrollo de Tecnologías de Reciclaje: La Economía Circular en carreteras depende en gran medida de tecnologías que permitan el reciclaje eficiente de materiales como asfalto, concreto, plásticos y metales. Por ejemplo, el reciclaje *in situ* de pavimentos mediante maquinaria móvil reduce significativamente los costos de transporte y las emisiones de carbono asociadas.

Sistemas de Monitoreo y Diagnóstico: La implementación de sensores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real puede transformar la manera en que se gestionan las carreteras. Estas tecnologías permiten identificar problemas estructurales, como fisuras o desgaste, antes de que se conviertan en fallos mayores, facilitando la conservación predictiva.

Materiales Innovadores y Sostenibles: La investigación en nuevos materiales es clave para reducir la dependencia de recursos vírgenes y prolongar la durabilidad de las carreteras. Entre las innovaciones destacadas se encuentran los polímeros modificados para mezclas asfálticas, el uso de residuos industriales como cenizas volantes en concreto y los aditivos que aumentan la resistencia al desgaste y todas las practicas que se han mencionado en este manual. México, con su capacidad de producción industrial, tiene el potencial de desarrollar estos materiales a escala, reduciendo costos y promoviendo una economía más circular en el sector carretero.

Fomento a la Investigación y Desarrollo (I+D): Incentivar la investigación y desarrollo es esencial para crear soluciones tecnológicas adaptadas al contexto local. Esto incluye apoyar a universidades, centros de investigación y empresas privadas en el desarrollo de tecnologías que optimicen el uso de recursos y residuos. Capacitación y Transferencia de Conocimiento

La capacitación y transferencia de conocimiento son esenciales para garantizar que los equipos de trabajo adopten estas prácticas, por lo que una vez que la infraestructura y las tecnologías están en marcha, es crucial capacitar a los equipos técnicos y operativos para asegurar que las nuevas prácticas y herramientas se utilicen de manera efectiva.

En México, se requiere un fortalecimiento de las capacidades técnicas en tecnologías como el fresado en frío, el reciclaje in situ de pavimentos y el compostaje de residuos orgánicos. Colaboraciones con instituciones como el *I*IMT podrían facilitar el desarrollo de programas especializados. Además, establecer alianzas internacionales con países líderes en Economía Circular, como Japón y los Países Bajos, permitiría transferir tecnologías y adaptarlas al contexto mexicano (SEMARNAT, 2024).

Así mismo desde el punto de vista de la administración, en los modelos de contrato, se puede sugerir que contengan anexos elaborados por especialistas en materia de sustentabilidad que apoyen en la definición de nuevas estrategias y tecnologías aplicables a las actividades de conservación de carreteras con el enfoque sustentable.

Así mismo, los interesados (contratistas) deben de manifestar y comprobar conocimiento e implementación de algunas estrategias que hayan puesto en práctica para priorizar la sostenibilidad ambiental. Dentro de estas estrategias se describen las siguientes:

Compromiso con energías renovables de la sostenibilidad ambiental: Las empresas pueden reducir significativamente su huella de carbono al cambiar a fuentes de energía renovable, como la solar o la eólica, para abastecer sus operaciones. Este cambio no solo disminuye la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también puede conducir a ahorros a largo plazo en costos de energía.

Eficiencia energética: La implementación de prácticas y tecnologías que mejoren la eficiencia energética en equipos e instalaciones que faciliten reducir el consumo de energía y, por lo tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto puede incluir desde la actualización de equipos obsoletos hasta la optimización de los procesos de producción.

Reducción de residuos: Las empresas pueden implementar programas de reducción de residuos que incluyan la reutilización, el reciclaje y la minimización de envases. Además de beneficiar al medio ambiente, esto puede conducir a ahorros significativos en costos de materias primas y eliminación de desechos.

Desarrollo de productos sostenibles: La creación de productos y servicios que sean ecológicos y sostenibles puede marcar una gran diferencia. Esto implica el uso de materiales reciclados o biodegradables, así como el diseño de productos que sean duraderos y fáciles de reparar o reciclar al final de su vida útil.

Transparencia y divulgación: Es fundamental que las empresas sean transparentes en cuanto a sus prácticas ambientales y divulguen regularmente información sobre su desempeño ambiental. Esto no solo fomenta la confianza del consumidor, sino que también puede motivar a otras empresas a seguir su ejemplo.

Colaboración con partes interesadas: Trabajar en colaboración con otras empresas, organizaciones sin fines de lucro y gobiernos puede amplificar el impacto de las iniciativas de sostenibilidad. A través de alianzas estratégicas, las empresas pueden compartir conocimientos y recursos para abordar desafíos ambientales de manera más efectiva.

Educación y sensibilización: Promover la educación y la sensibilización sobre la importancia de la sostenibilidad ambiental, tanto dentro de la empresa como en la comunidad en general, es esencial. Esto puede incluir programas de capacitación para empleados, campañas de concientización pública y actividades de responsabilidad social corporativa.

6.5. Capacitación y transferencia de conocimiento

La capacitación y transferencia de conocimiento son esenciales para garantizar que los equipos de trabajo adopten estas prácticas, por lo que una vez que la infraestructura y las tecnologías están en marcha, es crucial capacitar a los equipos técnicos y operativos para asegurar que las nuevas prácticas y herramientas se utilicen de manera efectiva.

En México, se requiere un fortalecimiento de las capacidades técnicas en tecnologías como el fresado en frío, el reciclaje in situ de pavimentos y el compostaje de residuos orgánicos. Colaboraciones con instituciones podrían facilitar el desarrollo de programas especializados. Además, establecer alianzas internacionales con países líderes en Economía Circular, como Japón y los Países Bajos, permitiría transferir tecnologías y adaptarlas al contexto mexicano (SEMARNAT, 2024).

Así mismo desde el punto de vista de la administración, en los modelos de contrato, se puede sugerir que contengan anexos elaborados por especialistas en materia de sustentabilidad que apoyen en la definición de nuevas estrategias y tecnologías aplicables a las actividades de conservación carreteras con el enfoque sustentable.

Así mismo, los interesados (contratistas) deben de manifestar y comprobar conocimiento e implementación de algunas estrategias que hayan puesto en práctica para priorizar la sostenibilidad ambiental. Dentro de estas estrategias se describen las siguientes:

Compromiso con energías renovables de la sostenibilidad ambiental: Las empresas pueden reducir significativamente su huella de carbono al cambiar a fuentes de energía renovable, como la solar o la eólica, para abastecer sus operaciones. Este cambio no solo disminuye la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también puede conducir a ahorros a largo plazo en costos de energía.

Eficiencia energética: La implementación de prácticas y tecnologías que mejoren la eficiencia energética en equipos e instalaciones que faciliten reducir el consumo de energía y, por lo tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto puede incluir desde la actualización de equipos obsoletos hasta la optimización de los procesos de producción.

Reducción de residuos: Las empresas pueden implementar programas de reducción de residuos que incluyan la reutilización, el reciclaje y la minimización de envases. Además de beneficiar al medio ambiente, esto puede conducir a ahorros significativos en costos de materias primas y eliminación de desechos.

Desarrollo de productos sostenibles: La creación de productos y servicios que sean ecológicos y sostenibles puede marcar una gran diferencia. Esto implica el uso de materiales reciclados o biodegradables, así como el diseño de productos que sean duraderos y fáciles de reparar o reciclar al final de su vida útil.

Transparencia y divulgación: Es fundamental que las empresas sean transparentes en cuanto a sus prácticas ambientales y divulguen regularmente información sobre su desempeño ambiental. Esto no solo fomenta la confianza del consumidor, sino que también puede motivar a otras empresas a seguir su ejemplo.

Colaboración con partes interesadas: Trabajar en colaboración con otras empresas, organizaciones sin fines de lucro y gobiernos puede amplificar el impacto de las iniciativas de sostenibilidad. A través de alianzas estratégicas, las empresas pueden compartir conocimientos y recursos para abordar desafíos ambientales de manera más efectiva.

Educación y sensibilización: Promover la educación y la sensibilización sobre la importancia de la sostenibilidad ambiental, tanto dentro de la empresa como en la comunidad en general, es esencial. Esto puede incluir programas de capacitación para empleados, campañas de concientización pública y actividades de responsabilidad social corporativa

6.6. Participación ciudadana y educación comunitaria

Finalmente, se debe involucrar a las comunidades locales y a la sociedad en general para garantizar el éxito a largo plazo. Esto incluye la sensibilización sobre los beneficios de la Economía Circular y la creación de oportunidades para la participación activa en actividades sostenibles. Estas campañas pueden ser lideradas por los propietarios y poseedores de las zonas forestales y microcuencas, organizaciones civiles en colaboración con la SICT.

En este sentido, las campañas de sensibilización ambiental pueden aumentar el compromiso social con estas prácticas, mientras que la inclusión de comunidades en actividades como la reforestación de taludes o el compostaje de residuos fomenta empleos verdes y fortalece la relación entre sociedad e infraestructura (Ellen MacArthur Foundation, 2021). En este sentido, se puede generar el fomento a empleos verdes y/o el involucramiento en un proyecto integral donde los propietarios de tierras pueden acceder a esquemas de financiamiento por PSA que beneficien a la carretera.

La implementación de la Economía Circular en carreteras requiere un enfoque integral y específico para México, combinando regulación adecuada, formación técnica, innovación tecnológica, financiamiento accesible, infraestructura logística eficiente y compromiso social. Al adoptar estas medidas, México puede posicionarse como un líder en prácticas sostenibles en infraestructura vial, mejorando la eficiencia de recursos, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo un desarrollo sostenible.

7. Conclusiones generales

La transición hacia una Economía Circular en la conservación de carreteras en México representa una oportunidad crucial para reducir la dependencia de materiales vírgenes, minimizar los impactos ambientales y optimizar los recursos económicos. Este enfoque permite extender la vida útil de las infraestructuras y generar resiliencia frente a los desafíos climáticos.

El análisis del estado actual muestra una gestión de residuos limitada, con gran parte de los materiales desechados en rellenos sanitarios y bancos de tiro o zonas no apropiadas sin separación ni valorización. El manual propone prácticas concretas para cerrar los ciclos de materiales, maximizando su aprovechamiento y reduciendo los impactos ambientales.

La falta de sistemas especializados para la recolección, procesamiento y reutilización de residuos derivados de actividades de conservación vial (como concreto, metales y plásticos) limita significativamente su valorización. Implementar estrategias de Economía Circular, como el reciclaje de residuos de construcción y demolición, podría transformar estos materiales en insumos valiosos para nuevas obras.

La implementación de prácticas sostenibles permite reducir significativamente la huella de carbono del sector carretero, disminuir la generación de residuos peligrosos y reutilizar materiales como el concreto, asfalto y metales. Estas acciones contribuyen a la conservación de recursos naturales y a la protección de ecosistemas sensibles.

La implementación de prácticas circulares no solo mitiga las emisiones de GyCEI y reduce la generación de residuos, sino que también fomenta la creación de empleos en sectores como el reciclaje y la tecnología verde. Además, disminuye los riesgos de contaminación de suelos y cuerpos de agua, mejorando la calidad de vida de las comunidades cercanas a las carreteras.

La infraestructura vial desempeña un papel crucial en la resiliencia frente al cambio climático. Incorporar soluciones basadas en la naturaleza, como la estabilización de taludes con vegetación y sistemas de drenaje sostenible (SUDS), no solo protege las carreteras, sino también los ecosistemas circundantes al evitar modificaciones o alteraciones en los escurrimientos naturales y la degradación del suelo debido a la erosión. Adicionalmente se puede aprovechar la infraestructura vial para la captación de agua pluvial, ya sea para su aprovechamiento, principalmente en zonas donde el recurso es escaso o bien para su infiltración, ayudando así a cerrar el ciclo hidrológico.

Aunque existen avances como la iniciativa de la *Ley General de Economía Circular*, su implementación efectiva requiere ajustes normativos específicos para el sector carretero. Esto incluye la creación de estándares técnicos que faciliten la integración de materiales reciclados y promuevan incentivos fiscales para proyectos sustentables.

La limitada inversión destinada al mantenimiento de carreteras dificulta la implementación de prácticas innovadoras. La creación de fondos regionales y programas piloto en estados clave podría ser una solución para impulsar la transición hacia infraestructuras más sostenibles.

La implementación de prácticas de Economía Circular no solo reduce costos a largo plazo, al disminuir la dependencia de materiales vírgenes, sino que también genera empleos en sectores emergentes como el reciclaje y el desarrollo de tecnologías limpias.

La adopción de tecnologías avanzadas, como el reciclaje *in situ* y sistemas de monitoreo inteligente, representa un pilar clave para optimizar la conservación vial. Sin embargo, esto debe ir acompañado de capacitación técnica para garantizar la correcta implementación y maximización de los beneficios.

La participación de comunidades en actividades como el manejo de residuos orgánicos y la conservación de áreas verdes puede generar ingresos y fomentar la responsabilidad ambiental en el ámbito local, fortaleciendo el impacto social de las infraestructuras viales sostenibles.

La incorporación temprana de estas prácticas permitirá al sector de conservación de carreteras anticiparse y contribuir a los cambios legislativos en materia de sostenibilidad, buscando así el acceso a financiamientos internacionales e incentivos fiscales.

La creación de fondos públicos y privados para financiar proyectos sostenibles, el establecimiento de redes regionales de gestión de residuos, y el fortalecimiento de la colaboración intersectorial son algunos de los pasos clave para materializar las estrategias propuestas.

8. Bibliografía

Aceves-Gutiérrez, H., López-Chávez, O., Mercado-Ibarra, S. M., & Arevalo-Razo, J. L. (2020). Huella de carbono de una pavimentación con la metodología del ACV y SIMAPRO. *Journal of Renewable Energy,* 12(4), 8-20. DOI:10.35429/JRE.2020.12.4.8.20

Asociación Mexicana del Asfalto (2003) QUIP.124. Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente (HMA) con Alto Contenido de Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) – Guía práctica. Recuperado de: https://www.amaac.org.mx/shop/quip-124-diseno-de-mezclas-asfalticas-en-caliente-hma-con-alto-contenido-de-pavimento-asfaltico-reciclado-rap-guia-practica-quip-124-diseno-de-mezclas-asfalticas-en-caliente-hma-con-alto-contenido-de-pavimento-asfaltico-reciclado-rap-guia-practica-170?category=12

Asociación Mundial de la Carretera, & Comité Técnico AIPCR Gestión del Patrimonio Vial. (2016). *Conservar las carreteras de su país para fomentar el desarrollo*. PIARC.

Cámara de Senadores. (2021). *Proyecto de decreto por el que se expide la ley general de Economía Circular. Oficio No. DGPL-1P1A.-2934.* Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/senclave/65/CS-LXV-I-1P-038/01_minuta_038_17nov21.pdf [Consultado el 21 de noviembre de 2024].

Bjørn, A., & Hauschild, M. Z. (2013). Absolute versus relative environmental sustainability: What can the cradle-to-cradle and eco-efficiency concepts learn from each other? *Journal of Industrial Ecology, 17*(3), 321–332. https://doi.org/10.1111/jiec.12011

Bouwer, H. (2002). Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal, 10*(1), 121–142. https://doi.org/10.1007/s10040-001-0182-4

Brabec, E., Schulte, S., & Richards, P. L. (2002). Impervious surfaces and water quality: A review of current literature and its implications for watershed planning. *Journal of Planning Literature, 16*(4), 499–514. https://doi.org/10.1177/088541202400903563

California Energy Commission. (2021). Biomass energy in road construction projects. Recuperado de https://www.energy.ca.gov

Castanheira, É. G., Grisoli, R., Freire, F., Pecora, V., & Coelho, S. T. (2014). Environmental sustainability of bioDiésel in Brazil. *Energy Policy, 65*, 680–691.

Certicalia. (2023). Plan de gestión de residuos para una construcción eficiente. Recuperado de https://www.certicalia.com/blog/plan-de-gestion-de-residuos-para-una-construccion-eficiente

Comunidad de Madrid. (s.f.). Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Recuperado de https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/residuos-construccion-demolicion-rcd

CONAGUA. (2021). Informe de gestión de recursos hídricos en infraestructura vial. Comisión Nacional del Agua.

Cruz García, J. A., & Velázquez, Y. R. (2004). Concreto reciclado. Ciudad de México.

Cruz-Cárdenas, C., et al. (2020). Energías renovables en México: Perspectivas y retos. Universidad Nacional Autónoma de México.

De la Peña, E., Díaz, J., Rodrigo, M., Miralles, E., Díaz, L., Valdéz, S., & Canalda, L. (2018). *Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima*.

DOF. (2018). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación.*

Domínguez, M. L., Salazar, A. P., Anguas, P. G., & Granell, E. (2016). Reaprovechamiento de residuos de demolición y construcción en la infraestructura de caminos. *Entretextos, 8*(24), 1–13.

EDF Group. (2019). La Rance tidal power plant. Recuperado de https://www.edf.fr and https://www.edf.fr/sites/groupe/files/2023-08/memoguide%20La%20Rance%20GB_c_1.pdf

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition.* Ellen MacArthur Foundation.

Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista de la Construcción*, 29(3). http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002

European Asphalt Pavement Association (EAPA). (2016). Asphalt in figures 2016. Recuperado de www.eapa.org.

European Asphalt Pavement Association (EAPA). (2016). *The Use of Recycled Materials in Asphalt Pavements.* Recuperado de https://eapa.org

European BioDiésel Board. (2019). BioDiésel in Construction Projects. Recuperado de https://ebb-eu.org/wp-content/uploads/2021/11/21_1116_sGU-for-EBB_Roadmap.pdf

European Commission. (2015). *Nature-Based Solutions: State of the Art in EU-Funded Projects.* Recuperado de https://op.europa.eu

European Commission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe.* Recuperado de https://ec.europa.eu

European Environment Agency. (2019). Sustainability transitions: Policy and practice. European Environment Agency.

Fang, X., Zech, W. C., & Logan, C. P. (2015). Stormwater field evaluation and its challenges of a sediment basin with skimmer and baffles at a highway construction site. *Water (Switzerland)*, *7*(7), 3407–3430. https://doi.org/10.3390/w7073407

FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. www.rlc.fao.org

Faucette, L. B., Cardoso-Gendreau, F., Codling, E. E., Sadeghi, A. M., Pachepsky, Y. A., & Shelton, D. R. (2009). Storm water pollutant removal performance of composta

filter socks. *Journal of Environmental Quality, 38*(3), 1233–1239. https://doi.org/10.2134/jeq2008.0262

Federal Highway Administration (FHWA). (2020). Recycled materials in pavement construction: A success story. U.S. Department of Transportation.

Federal Highway Administration (FHWA). (2020). Sustainable Pavements Program. U.S. Department of Transportation.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R. M., Butler, D., Arthur, S., & Trowsdale, S. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal, 12*(7), 525–542. https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314

Gerdau AZA. (2004). [Referencia incompleta, se necesita más información para citar correctamente].

González, J., & Martínez, P. (2021). Uso de aceites reciclados en la industria de la construcción: Una visión sostenible. *Revista de Energías Renovables, 15*(3), 45–58.

Hatt, B. E., Fletcher, T. D., & Deletic, A. (2007). Treatment performance of gravel filter media: Implications for design and application of stormwater infiltration systems. *Water Research, 41*(12), 2513–2523. https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.014

Hoppe, M., Oman, M., & Gebhard, J. (2013). *Use of Tire Derived Products (TDP) in Roadway Construction* (No. MN/RC 2013-20).

Hu, H., Hengwu, et al. (2021). Solar pavements: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 152*, 111712. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111712

Hu, W., Shu, X., & Huang, B. (2019). Sustainability innovations in transportation infrastructure: An overview of the special volume on sustainable road paving. *Journal of Cleaner Production, 235.* https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.025

Huamaní Arone, J., Rimayhuaman Taipe, O. E., & Tito Catalán, X. S. (2022). Influencia del mantenimiento vial y satisfacción del usuario. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *6*(5), 1876–1896. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3202

IMT. (2022). Impactos ambientales del sector vial en México. *Instituto Mexicano del Transporte.*

Instituto Mexicano del Transporte (2025) Red Nacional de Caminos. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado el 15 de septiembre del 2025, de: www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos.

INEGI. (2023). Red Nacional de Caminos: Estadísticas 2023. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía.*

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (n.d.). *Un mundo de soluciones en concreto. Pavimentos de concreto hidráulico.* Recuperado de https://www.imcyc.com/50/pdfs/50a_PavimentosChih.pdf

International Energy Agency (IEA). (2019). Renewable energy for road infrastructure: Trends and technologies. Recuperado de https://www.iea.org/reports/renewables-2019

International Energy Agency (IEA). (2020). The Role of Gas in Today's Energy Transitions. Recuperado de https://www.iea.org/reports/the-role-of-gas-in-todays-energy-transitions

International Energy Agency (IEA). (2022). *Energy Efficiency 2022.* Recuperado de https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022

Jääskeläinen, S. (2017). Alternative transport fuels infrastructure: Finland's national plan. [Referencia en línea, título de revista o editorial no especificado].

Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands.* CRC Press.

LeFevre, G. H., Hozalski, R. M., & Novak, P. J. (2015). The role of biodegradation in limiting the accumulation of hydrocarbons in stormwater biofilters. *Water Research, 81,* 144–151. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.053

Li, H., & Sharkey, J. (2018). Advances in bioengineering of stormwater management systems. *Journal of Environmental Engineering, 144*(9), 04018062. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001442

López, A., García, F., & Martínez, J. (2021). Aplicaciones sostenibles en drenaje vial: Una revisión desde la Economía Circular. *Revista de Ingeniería Civil, 29*(3), 102–115. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.03.005

Mantilla, C. (2015). [Referencia incompleta, se necesita más información para citar correctamente].

Mercado Gutiérrez, J. R. (n.d.). Reutilización de residuos de concreto, producto de la construcción y demolición, para la creación de agregados, en el Área Metropolitana de Monterrey.

Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, & Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). (2007). *Actualización del catálogo de residuos utilizables en construcción.* España.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2017). *ANEJO Nº 22. Estudio de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición.* Recuperado de https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-transportes/ministerio/participacion-publica/no-normativo/carreteras/AL-3650/A31%20GESTION_RESIDUOS.pdf

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2019). *ANEJO Nº 23. Gestión de Residuos.* Recuperado de https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/pdf/A5DA65C1-A297-4F81-B33F-E103F63DB40C/142469/39H3880_ANEJO22ESTUDIODEGESTIONDERESIDUOS.pdf

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands.* John Wiley & Sons.

Naciones Unidas. (2015). Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015 (A/RES/70/1). Recuperado de https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf [Consultado el 1 de noviembre de 2024].

National BioDiésel Board. (2020). BioDiésel Success Stories in Transportation. Recuperado de https://www.bioDiésel.org

Norwegian Public Roads Administration. (2021). Hydropower and road heating solutions in Norway. Recuperado de https://www.vegvesen.no

Ocampo Valderrama, S. (2017). *Impacto Ambiental en el proceso de construcción de carreteras y sus respectivas medidas de mitigación*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.* Naciones Unidas. https://sdgs.un.org/

Ortiz-Carrillo, A., Mora-Ortiz, R., Alvarado, S., & Hernández, F. (2019). Revisión de las tendencias innovadoras en la estructuración de pavimentos como parte del desarrollo sustentable. *Revista de Ingeniería y Energía*, 2(1). DOI:10.19136/jeeos.a2n1.2695

Perales-Momparler, S., & Andrés-Doménech, I. (2008). *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. https://www.researchgate.net/publication/237213737

Piñones, P., Derpich, I., & Venegas, R. (2023). Modelo de evaluación de la Economía Circular 4.0 para proyectos de infraestructura vial urbana, CIROAD. *Sustainability, 15*(4), 3205. https://doi.org/10.3390/su15043205

Quintero, J. D. (2016). *Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables.* Consejo de Conservación para América Latina, LACC.

Schussler, J. C., Perez, M. A., Whitman, J. B., & Cetin, B. (2022). Field-monitoring sediment basin performance during highway construction. *Water (Switzerland)*, *14*(23). https://doi.org/10.3390/w14233858

Secretaría de Energía (SENER). (2022). Informe anual sobre el estado del sector energético en México. Recuperado de https://www.gob.mx/sener

Secretaría de Energía (SENER). (2024). *Informe sobre el desarrollo de energías renovables en México.* Recuperado de https://www.gob.mx/sener/documentos/informe-sobre-el-desarrollo-de-energias-renovables-en-mexico

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). Ley General de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación.* https://www.dof.gob.mx/

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). Bases para la Estrategia Nacional de Economía Circular. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2024). Bases para la Elaboración de un Diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México.

Solar LED Street Light. (n.d.). *Luz solar de carretera*. Recuperado de https://solar-led-street-light.com/es/luz-solar-de-carretera/

Tecnocarreteras. (2011). ¿Cómo reducir el impacto medioambiental en las labores de conservación de carreteras? Recuperado de https://www.tecnocarreteras.es/2011/12/17/como-reducir-el-impacto-medioambiental-en-las-labores-de-conservacion-de-carreteras/

TNO. (2020). *Solaroad: The road of the future.* Recuperado de https://www.tno.nl

USDA. (2011). *Utilization of composta filter socks*.

Van Steenbergen, F., Arroyo-Arroyo, F., Rao, K., Hulluka, A., Woldearegay, K., & Deligianni, A. (2021). *Green roads for water: Guidelines for road infrastructure in support of water management and climate resilience*.

Worrell, E., Laitner, J. A., Ruth, M., & Finman, H. (2010). Productivity benefits of industrial energy efficiency measures. *Energy, 28*(11–12), 1081–1098.

Yulaikhah, Pramumijoyo, S., & Widjajanti, N. (2019). The effect of baseline component correlation on the design of GNSS network configuration for sermo reservoir deformation monitoring. *Indonesian Journal of Geography*, *51*(2), 199–206. https://doi.org/10.22146/ijg.44914

9. Anexos

9.1. Anexo 1. Residuos y prácticas identificadas en el mantenimiento y conservación de las carreteras por estructura y actividad (identificación de alternativas de valorización de residuos).

9.1.1. Derecho de vía

9.1.1.1. Residuos sólidos de pet

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Plástico	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza manual sobre laterales y camellón central		Rutinaria*	Barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Bolsa negra para basura.	**plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación**	**plásticos (PET), pedacería de llantas, cepillo de barredora**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.1.2. Residuos Sólidos De Metal Y Chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza manual sobre laterales y camellón central		Rutinaria*	Barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Bolsa negra para basura.	**plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación**	**Latas de aluminio**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.1.3. Residuos Sólidos De Vidrio

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Vidrio	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza manual sobre laterales y camellón central		Rutinaria*	Barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Bolsa negra para basura.	**plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, residuos orgánicos animales vegetación**	**Botellas de vidrio**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

Residuos Sólidos De Papel Cartón

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Papel y cartón	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza manual sobre laterales y camellón central		Rutinaria*	Barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Bolsa negra para basura.	**plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos-restos de animales muertos, vegetación**	**Cartón**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.1.5. Residuos de construcción de concretos y /o agregados

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustibe	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición de cercado con postes de concreto y alambre de púas		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2,	Diésel, gasolina	Pinzas, cizallas, barretas, cava-hoyos	Alambre de púas de acero, poste de concreto, concreto(cemento, grava, are-na, agua)	**Postes de concreto**	**Postes de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su de-secho en tiro autorizado**
Sustitución de postes de derecho de vía	**N-CTR-CAR-1-07-015/00**	Periódica**	Camioneta 3 1/2,	Diésel, gasolina	Barretas, cava-hoyos	Alambre de púas de acero, poste de concreto, concreto(cemento, grava, are-na, agua)	**Postes de concreto, alambre de púas**	**Postes de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1..1.6. Residuos De Construcción De Metal Y Chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Sustitución de postes de derecho de vía	**N-CTR-CAR-1-07-015/00**	Periódica**	Camioneta 3 1/2,	Diésel, gasolina	Barretas, cava-hoyos	Alambre de púas de acero, poste de con-creto, concreto(cemento, grava, arena, agua)	**Postes de concreto, alambre de púas**	**Alambre de púas**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su de-secho en tiro autorizado

9.1.1.7. Biorresiduos vegetal

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos Vegetal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, desbrozadora,	Diésel, gasolina	Carretillas, machetes, tijeras de jardinería, guadañas	Bolsa negra para basura. Puede haber uso de herbicidas	**Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)**	**Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Control mecánico de maleza en laterales y camellón central		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, tractor podador, zanjadoras	Diésel, gasolina	Carretillas, machetes, tijeras de jardinería, guadañas	Bolsa negra para basura. Puede haber uso de herbicidas	**Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)**	**Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Poda de árboles		Rutinaria*	Motosierras, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Machete, hacha		**Troncos, ramas**	**Troncos, ramas**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.1.8. Biorresiduos animal

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos Animal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza manual sobre laterales y camellón central		Rutinaria*	Barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Bolsa negra para basura.	**plásti-cos (PET), pedacería de llantas, papel, car-tón, restos de animales muertos, vegetación**	**Residuos orgánicos animaless (animales producto de atropella-mientos)**	Se recolecta con los demas residuos sólidos para su posterior dese-cho en relleno sanitario

9.1.1.9. Residuos de manejo especial (pintura y aceites)

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de manejo especial	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, desbrozadora,	Diésel, gasolina	Carretillas, machetes, tijeras de jardinería, guadañas	Bolsa negra para basura. Puede haber uso de herbicidas	**Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Control mecánico de maleza en laterales y camellón central		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, tractor podador, zanjadoras	Diésel, gasolina	Carretillas, machetes, tijeras de jardinería, guadañas	Bolsa negra para basura. Puede haber uso de herbicidas	**Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza manual sobre laterales y camellón central		Rutinaria*	Barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Bolsa negra para basura.	**plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Poda de árboles		Rutinaria*	Motosierras, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Machete, hacha		**Troncos, ramas**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reposición de cercado con alambre de púas	**N-CTR-CAR-1-07-015/00**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2,	Diésel, gasolina	Pinzas, cizallas	Alambre de púas de acero		**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reposición de cercado con malla ciclónica	**N-CTR-CAR-1-07-015/00**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2,	Diésel, gasolina	Pinzas, cizallas	Alambre de púas de acero		**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación

9.1.2. Pavimentos

9.1.2.1. Residuos sólidos de pet

Concepto / Actividad	Norma de Referencia	Frecuencia de Conservación	Maquinaria y/o Equipo	Combustible	Herramientas	Entrada Insumos	Salida Residuos	Residuos Sólidos de Plástico	Prácticas Comunes Actuales de Manejo de Residuos
Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	N-CSV-CAR-2-02-001/10	Rutinaria	Barredora autopropulsada, Camioneta 3 1/2	Diésel	Escobas, palas	Bolsa negra para basura	**Plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación, cepillo de barredora (una vez termine su vida útil)**	**Plásticos (PET), cepillo de barredora, envolturas**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Sellado de grietas y juntas en losas de concreto hidráulico	**N-CSV-CAR-2-02-005/02**	Periódica	Cortadora, esmeril, generador, Camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Cordón de espuma de poliuretano o polietileno, químicos selladores	**Cordón de poliuretano o polietileno**	**Cordón de poliuretano o polietileno**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico	**N-CSV-CAR-3-02-011/03**	Periódica	Revolvedoras de concreto, rompedoras de concreto, generador, cortadoras, Camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Mezcla de concreto hidráulico (cemento, agregados pétreos, arena, agua), mezclas de resinas epóxicas	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, cordón de poliuretano o polietileno**	**Cordón de poliuretano o polietileno**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.2.2. Residuos sólidos de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	N-CSV-CAR-2-02-001/10	Rutinaria*	Barredora autopropulsada, Camioneta 3 1/2,	Diésel	Escobas, palas	Bolsa negra para basura	**Plásticos (PET), padecería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación, cepillo de barredora (una vez termine su vida útil)**	**Latas de aluminio**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.2.3. Residuos sólidos de vidrio

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Vidrio	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	N-CSV-CAR-2-02-001/10	Rutinaria*	Barredora autopropulsada, Camioneta 3 1/2,	Diésel	Escobas, palas	Bolsa negra para basura	**Plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación, cepillo de barredora (una vez termine su vida útil)**	**Botellas de vidrio**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.2.4. Residuos sólidos de papel cartón

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Vidrio	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	N-CSV-CAR-2-02-001/10	Rutinaria*	Barredora autopropulsa-da, Camioneta 3 1/2,	Diésel	Escobas, palas	Bolsa negra para basura	**Plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vege-tación, cepillo de barredora (una vez termi-ne su vida útil)**	**Cartón**	**Almacenamien-to en cam-pamento de conservación para su dese-cho en relleno sanitario**

9.1.2.5. Residuos de construcción de pavimentos asfálticos de materias primas

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de pavimentos asfálticos de materias primas	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Sellado de grietas	**N-CSV-CAR-2-02-002/00**	Periódica**	Equipo sellador de juntas y fisuras, Camioneta 3 ½		Asfalto modificado	**Asfalto modificado**	**Asfalto modificado**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Bacheo superficial	**N-CSV-CAR-2-02-003/00**	Rutinaria*	Cortadora, minicompactador, Camioneta 3 1/2	Escobas, palas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica	**Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica**	**Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Bacheo profundo	**N-CTR-CAR-2-02-004/00, N-CTR-CAR-2-02-004/03**	Periódica**	Retroexcavadora, compactador, cortadora, Camioneta 3 1/2	Escobas, palas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica, agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos arcillas o limos)	**Pedacería de carpeta asfáltica, agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos arcillas o limos)**	**Pedacería de carpeta asfáltica, agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos)**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de pavimentos asfálticos de materias primas	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Renivelaciones locales en pavimento asfaltico y pavimentos de concreto hidráulico	**N-CVS-CAR-3-02-001/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Mezcla asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Capas de rodadura de un riego	**N·CSV·CAR·3·02·002/22, N·CSV·CAR·3·02·002/15, N·CSV·CAR·3·02·002/13, N·CSV·CAR·3·02·002/09, N·CSV·CAR·3·02·002/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Mezcla asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Capas de rodadura de granulometría abierta	**N·CSV·CAR·3·02·003/15, N·CSV·CAR·3·02·003/10, N·CSV·CAR·3·02·003/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Mezcla asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Capas de rodadura de mortero asfaltico	**N·CSV·CAR·3·02·004/15, N·CSV·CAR·3·02·004/13, N·CSV·CAR·3·02·004/10, N·CSV·CAR·3·02·004/09, N·CSV·CAR·3·02·004/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada	Escobas, palas, rastrillos	Mortero asfáltico (arena graduada), emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mortero asfáltico, arena graduada**	**Mortero asfáltico**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de pavimentos asfálticos de materias primas	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Carpeta asfáltica de granulometría densa	**N·CSV·CAR·3·02·005/20, N·CSV·CAR·3·02·005/14 N·CSV·CAR·3·02·005/10 N·CSV·CAR·3·02·005/06 N·CSV·CAR·3·02·005/04 N·CSV·CAR·3·02·005/02**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Mezcla asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfaltico	**N·CSV·CAR·3·02·006/20, N·CSV·CAR·3·02·006/10V, N·CSV·CAR·3·02·006/06, N·CSV·CAR·3·02·006/04, N·CSV·CAR·3·02·006/03**	Periódica**	Fresadora, cortadora, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos		Carpeta asfaltica ganulada	Carpeta asfaltica ganulada	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Recorte de carpetas asfálticas	N·CSV·CAR·3·02·007/10, N·CSV·CAR·3·02·007/03	Periódica**	Cortadora, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos		**Pedacería de carpeta asfáltica**	**Pedacería de carpeta asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Recuperación en caliente de carpetas asfálticas	**N·CSV·CAR·3·02·008/03**	Periódica**	Recuperadora de asfalto, compactadora, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos	Asfalto modificado,	**Pedacería de carpeta asfáltica**	**Pedacería de carpeta asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de pavimentos asfálticos de materias primas	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo sma y casaa	**N·CSV·CAR·3·02·014/15, N·CSV·CAR·3·02·014/10, N·CSV·CAR·3·02·015/15, N·CSV·CAR·3·02·015/10**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Mezcla asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Recuperación en frio de pavimento asfaltico	**N·CSV·CAR·4·02·001/03**	Periódica**	Recuperadora de asfalto, compactadora, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas, rastrillos	Asfalto modificado, aditivos para mezclas asfálticas	**Pedacería de carpeta asfáltica**	**Pedacería de carpeta asfáltica**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Recorte de pavimentos	**N·CSV·CAR·4·02·003/03**		Cortadoras, generadores, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Escobas, palas,		Pedacería de carpeta asfáltica	Pedacería de carpeta asfáltica	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.2.6. Residuos de construcción de concretos y /o agregados

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Bacheo profundo	**N-CTR-CAR-2-02-004/00, N-CTR-CAR-2-02-004/03**	Periódica**	Retroexcavadora, compactador, cortadora, Camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Escobas, palas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica, agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos arcillas o limos)	**Pedacería de carpeta asfáltica, agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos arcillas o limos)**	**Agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos)**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Sellado de grietas y juntas en lozas de concreto hidráulico	**N-CSV-CAR-2-02-005/02**	Periódica**	Cortadora, esmeril, generador, Camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Escobas, palas	Cordón de espuma de poliuretano o polietileno, químicos selladores	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, cordón de poliuretano o polietileno**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Capas de rodadura de mortero asfaltico	**N·CSV·CAR·3·02·004/15, N·CSV·CAR·3·02·004/13, N·CSV·CAR·3·02·004/10, N·CSV·CAR·3·02·004/09, N·CSV·CAR·3·02·004/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Escobas, palas, rastrillos	Mortero asfáltico (arena graduada), emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mortero asfáltico, arena graduada**	**Arena graduada**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición parcial y total en lozas de concreto hidráulico	**N-CSV-CAR-3-02-010/03**	Periódica**	Revolvedoras de concreto, vibradores de concreto, rompedoras de concreto, generador, cortadoras, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Escobas, palas,	Mezcla de Concreto hidráulico (cemento, agregados pétreos, arena, agua) varillas de acero, barras de acero, sujetadores de plástico, alambre recocido	**Bloques y pedacerìa de concreto, recorte de varilla de acero y alambre, mezcla de concreto.**	**Bloques y pedacerìa de concreto, mezcla de concreto.**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación de desconchaduras en lozas de concreto hidráulico	**N·CSV·CAR·3·02·011/03**	Periódica**	Revolvedoras de concreto, rompedoras de concreto, generador, cortadoras, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Escobas, palas,	Mezcla de Concreto hidráulico (cemento, agregados pétreos, arena, agua), mezclas de resinas epóxicas	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, cordón de poliuretano o polietileno**	**Polvo de concreto, pedacería de concreto,**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la estabilización de lozas de concreto hidráulico	**N·CSV·CAR·3·02·012/01**	Periódica**	Taladros, bombas de inyección de concreto, generador, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Escobas, palas,	Concreto diluido, Espumas epóxicas (productos químicos)	**Concreto diluido**	**Concreto diluido**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Demolición de lozas de concreto hidráulico	**N·CSV·CAR·4·02·002/03**	Periódica**	Rompedoras de concreto, generador, cortadoras	Diésel, gasolina	Escobas, palas,		Bloques y pedacería de concreto hidráulico, barras y varillas de acero	Bloques y pedacería de concreto hidráulico, barras y varillas de acero	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.2.7. Residuos de construcción de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición parcial y total en lozas de concreto hidráulico	**N-CSV-CAR-3-02-010/03**	Periódica**	Revolvedoras de concreto, vibradores de concreto, rompedoras de concreto, generador, cortadoras, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Escobas, palas,	Mezcla de Concreto hidráulico (cemento, agregados pétreos, arena, agua) varillas de acero, barras de acero, sujetadores de plástico, alambre recocido	**Varilla de acero, recorte de varilla, alambre**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

9.1.2.8. Biorresiduos vegetales

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos vegetal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	**N-CSV-CAR-2-02-001/10**	Rutinaria*	Barredora autopropulsada, Camioneta 3 1/2,	Diésel	Escobas, palas	Bolsa negra para basura	**Plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación, cepillo de barredora (una vez termine su vida útil)**	**Vegetación (pastizales, matas)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**

9.1.2.9. Biorresiduos animal

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos animal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	**N-CSV-CAR-2-02-001/10**	Rutinaria*	Barredora autopropulsada, Camioneta 3 1/2,	Diésel	Escobas, palas	Bolsa negra para basura	**Plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación, cepillo de barredora (una vez termine su vida útil)**	**Residuos orgánicos animaless (animales producto de atropellamientos)**	**Se recolecta con los demás residuos sólidos para su posterior desecho en relleno sanitario**

9.1.2.10. Residuos de manejo especial (pintura y aceites)

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de manejo especial (pintura y aceites)	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	**N-CSV-CAR-2-02-001/10**	Rutinaria*	Barredora autopropulsada, Camioneta 3 1/2,	Diésel	Bolsa negra para basura	**Plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación, cepillo de barredora (una vez termine su vida útil)**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Sellado de grietas	**N-CSV-CAR-2-02-002/00**	Periódica**	Equipo sellador de juntas y fisuras, Camioneta 3 1/2	Gasolina	Asfalto modificado	**Asfalto modificado**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Bacheo superficial	**N-CSV-CAR-2-02-003/00**	Rutinaria*	Cortadora, minicompactador, Camioneta 3 1/2	Gasolina	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica	**Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Bacheo profundo	**N-CTR-CAR-2-02-004/00, N-CTR-CAR-2-02-004/03**	Periódica**	Retroexcavadora, compactador, cortadora, Camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica, agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos arcillas o limos)	**Pedacería de carpeta asfáltica, agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos arcillas o limos)**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de manejo especial (pintura y aceites)	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Sellado de grietas y juntas en lozas de concreto hidráulico	**N-CSV-CAR-2-02-005/02**	Periódica**	Cortadora, esmeril, generador, Camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Cordón de espuma de poliuretano o polietileno, químicos selladores	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, cordón de poliuretano o polietileno**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Renivelaciones locales en pavimento asfaltico y pavimentos de concreto hidráulico	**N-CVS-CAR-3-02-001/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Capas de rodadura de un riego	**N·CSV·CAR·3·02·002/22, N·CSV·CAR·3·02·002/15, N·CSV·CAR·3·02·002/13, N·CSV·CAR·3·02·002/09, N·CSV·CAR·3·02·002/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Capas de rodadura de granulometría abierta	**N·CSV·CAR·3·02·003/15, N·CSV·CAR·3·02·003/10, N·CSV·CAR·3·02·003/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Capas de rodadura de mortero asfaltico	**N·CSV·CAR·3·02·004/15, N·CSV·CAR·3·02·004/13, N·CSV·CAR·3·02·004/10, N·CSV·CAR·3·02·004/09, N·CSV·CAR·3·02·004/00**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Mortero asfáltico (arena graduada), emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mortero asfáltico, arena graduada**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de manejo especial (pintura y aceites)	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Carpeta asfáltica de granulometría densa	**N·CSV·CAR·3·02·005/20, N·CSV·CAR·3·02·005/14 N·CSV·CAR·3·02·005/10 N·CSV·CAR·3·02·005/06 N·CSV·CAR·3·02·005/04 N·CSV·CAR·3·02·005/02**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfaltico	**N·CSV·CAR·3·02·006/20, N·CSV·CAR·3·02·006/10V, N·CSV·CAR·3·02·006/06, N·CSV·CAR·3·02·006/04, N·CSV·CAR·3·02·006/03**	Periódica**	Fresadora, cortadora, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina		**Carpeta asfáltica granulada**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Recorte de carpetas asfálticas	**N·CSV·CAR·3·02·007/10, N·CSV·CAR·3·02·007/03**	Periódica**	Cortadora, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina		Pedacería de carpeta asfáltica	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Recuperación en caliente de carpetas asfálticas	N·CSV·CAR·3·02·008/03	Periódica**	Recuperadora de asfalto, compactadora, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Asfalto modificado,	**Pedacería de carpeta asfáltica**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reposición parcial y total en lozas de concreto hidráulico	**N-CSV-CAR-3-02-010/03**	Periódica**	Revolvedoras de concreto, vibradores de concreto, rompedoras de concreto, generador, cortadoras, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Mezcla de Concreto hidráulico (cemento, agregados pétreos, arena, agua) varillas de acero, barras de acero, sujetadores de plástico, alambre recocido	**Bloques y pedacería de concreto, recorte de varilla de acero y alambre, mezcla de concreto.**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de manejo especial (pintura y aceites)	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de desconchaduras en lozas de concreto hidráulico	**N·CSV·CAR·3·02·011/03**	Periódica**	Revolvedoras de concreto, rompedoras de concreto, generador, cortadoras, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Mezcla de Concreto hidráulico (cemento, agregados pétreos, arena, agua), mezclas de resinas epóxicas	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, cordón de poliuretano o polietileno**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Acciones en la estabilización de lozas de concreto hidráulico	**N·CSV·CAR·3·02·012/01**	Periódica**	Taladros, bombas de inyección de concreto, generador, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Concreto diluido, Espumas epóxicas (productos químicos)	**Concreto diluido**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Estabilización de refuerzos de revestimiento con cloruro de calcio	**N·CSV·CAR·3·02·013/03**	Periódica**	Equipo para dosificación de materiales líquidos, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Cloruro de calcio		**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo sma y casaa	**N·CSV·CAR·3·02·014/15, N·CSV·CAR·3·02·014/10, N·CSV·CAR·3·02·015/15, N·CSV·CAR·3·02·015/10**	Periódica**	Extendedora de asfalto, compactador, barredora autopropulsada, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica (riego de liga)	**Mezcla asfáltica**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de manejo especial (pintura y aceites)	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Recuperación en frio de pavimento asfaltico	**N·CSV·CAR·4·02·001/03**	Periódica**	Recuperadora de asfalto, compactadora, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	Asfalto modificado, aditivos para mezclas asfálticas	**Pedacería de carpeta asfáltica**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Demolición de lozas de concreto hidráulico	**N·CSV·CAR·4·02·002/03**	Periódica**	Rompedoras de concreto, generador, cortadoras	Diésel, gasolina		Bloques y pedacería de concreto hidráulico, barras y varillas de acero	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Recorte de pavimentos	N·CSV·CAR·4·02·003/03		Cortadoras, generadores, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina		Pedacería de carpeta asfáltica	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Construcción de bases de con mezcla de material pétreo recuperado y cemento asfaltico espumoso	**N·CMT·4·05·008/23**	Periódica**	Equipos especiales para reciclado de pavimento asfáltico, compactadores, camioneta 3 1/2, camión de volteo	Diésel, gasolina	En este proceso se recicla en su totalidad el material existente de la carpeta de concreto asfaltico, base y subbase, en el mismo proceso de recuperación. Asfalto modificado, agregados pétreos,	**En este proceso, prácticamente no existen residuos.**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación

9.1.3. Puentes y estructuras

9.1.3.1. Residuos sólidos de pet

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Plástico	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de drenes	N·CSV·CAR·2·03·003/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, detergentes, agua	**Azolve, plásticos**	**Plásticos (PET), envolturas**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reposición del sello en juntas de dilatación	N·CSV·CAR·3·03·004/02	Periódica**	Camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, generador, mamparas, tapiales, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresor de aire,	Diésel, gasolina	Junta de neopreno, tornillería, acero, inhibidoras de corrosión	**Junta de neopreno, pedacería de concreto**	**Junta de neopreno**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reposición de juntas de dilatación		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, junta metálica y junta de neopreno	**Junta metálica y junta de neopreno, pedacería de concreto**	**Junta de neopreno**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.3.2. Residuos sólidos de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de drenes	N·CSV·CAR·2·03·003/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, detergentes, agua	**Azolve, plásticos**	Latas de aluminio	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.3.3. Residuos sólidos de vidrio

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Vidrio	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de drenes	N·CSV·CAR·2·03·003/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, detergentes, agua	**Azolve, plásticos**	**Botellas de vidrio**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**

9.1.3.4. Residuos sólidos de papel y cartón

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Papel y cartón	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones	N·CSV·CAR·2·03·002/01	Rutinaria*	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, cepillo mecánico, unidades de agua a presión, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, detergentes, agua	**Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra, fragmentos de rocas, madera**	**Saco de papel para cemento**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparación y resanes en elementos de concreto	N·CSV·CAR·3·03·003/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, andamios, pasarelas, canastillas simples o montadas en camión, mamparas, tapiales unidades de agua a presión, compresores de aire, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, equipo de corte, equipo de pulido, mezcladoras	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, cemento Pórtland, inhibidores de corrosión	**Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.3.5. Residuos de construcción de concreto de pavimentos asfálticos

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de pavimentos	Prácticas recomendadas para el manejo de residuos
Remoción de carpeta asfáltica en puentes		Periódica**	Fresadora, camión volteo, extedeor a de asfalto, petrolizadoras, rodillos compactadores, barredora autopropulsada	Diésel, gasolina	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica, agua	**Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica**	**Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.3.6. Residuos de construcción de concretos y /o agregados

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en limpieza de juntas de dilatación	N·CSV·CAR·2·03·001/01	Rutinaria*	Camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, generador, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, detergentes, agua	Azolve, rocas pequeñas	Azolve, rocas pequeñas	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones	N·CSV·CAR·2·03·002/01	Rutinaria*	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, cepillo mecánico, unidades de agua a presión, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, detergentes, agua	**Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra, fragmentos de rocas, madera**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de drenes	N·CSV·CAR·2·03·003/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, detergentes, agua	**Azolve, plásticos**	**Azolve**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Calafateo de fisuras	N·CSV·CAR·3·03·001/02	Periódica**	Cortadora, esmeril, generador, andamios, pasarelas, canastillas simples o montadas en camión, unidades de agua a presión, compresores de aire, mezcladoras	Diésel, gasolina	Cordón de espuma de poliuretano o polietileno, selladores epóxicos, cemento Pórtland, expansor, adhesivo integral y platificante,	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico**	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación de grietas	N·CSV·CAR·3·03·002/02	Periódica**	Cortadora, esmeril, generador, generador, andamios, pasarelas, canastillas simples o montadas en camión, mamparas, tapiales unidades de agua a presión, compresores de aire, mezcladoras, equipo para inyección	Diésel, gasolina	Cordón de espuma de poliuretano o polietileno, selladores epóxicos, cemento Pórtland, expansor, adhesivo integral y plastificante,	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico**	**Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación y resanes en elementos de concreto	N·CSV·CAR·3·03·003/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, andamios, pasarelas, canastillas simples o montadas en camión, mamparas, tapiales unidades de agua a presión, compresores de aire, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, equipo de corte, equipo de pulido, mezcladoras	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, cemento Pórtland, inhibidores de corrosión	**Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reposición del sello en juntas de dilatación	N·CSV·CAR·3·03·004/02	Periódica**	Camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, generador, mamparas, tapiales, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresor de aire,	Diésel, gasolina	Junta de neopreno, tornillería, acero, inhibidores de corrosión	**Junta de neopreno, pedacería de concreto**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reposición de juntas de dilatación		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, junta metálica y junta de neopreno	**Junta metálica y junta de neopreno, pedacería de concreto**	**Pedacería de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.3.7. Residuos de construcción de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones	N·CSV·CAR·2·03·002/01	Rutinaria*	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, cepillos de alambre	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, detergentes, agua	**Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra, fragmentos de rocas, madera**	**Varilla, malla electrosoldada**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación y resanes en elementos de concreto	N·CSV·CAR·3·03·003/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, llana metálica, cascos anteojos, mascarillas contra polvo, protección de ruido, ropa protectora, guantes, arneses, cinturones de seguridad,	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, cemento Pórtland, inhibidores de corrosión	**Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra**	**Varilla, malla electrosoldada**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reposición de juntas de dilatación		Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, junta metálica y junta de neopreno	**Junta metálica y junta de neopreno, pedacería de concreto**	Junta metálica	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.3.8. Biorresiduos vegetal

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos Vegetal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones	N·CSV·CAR·2·03·002/01	Rutinaria*	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, cepillos de alambre	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, detergentes, agua	Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra, fragmentos de rocas, madera	Cimbra de madera	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparación y resanes en elementos de concreto	N·CSV·CAR·3·03·003/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, llana metálica, cascos anteojos, mascarillas contra polvo, protección de ruido, ropa protectora, guantes, arneses, cinturones de seguridad,	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, cemento Pórtland, inhibidores de corrosión	**Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra**	**Cimbra de madera**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.3.9. Residuos de manejo especial (pintura y aceites)

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos peligrosos	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en limpieza de juntas de dilatación	N·CSV·CAR·2·03·001/01	Rutinaria*	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, cepillo de alambre, rodillos	Bolsa negra para basura, detergentes, agua	Azolve, rocas pequeñas	Aceites, lubricantes para motores, solventes, combustibles	Almacenamiento en campamento de conservación
Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones	N·CSV·CAR·2·03·002/01	Rutinaria*	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, cepillos de alambre	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, detergentes, agua	Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra, fragmentos de rocas, madera	Aceites, lubricantes para motores, solventes, combustibles	Almacenamiento en campamento de conservación
Limpieza de drenes	N·CSV·CAR·2·03·003/01	Rutinaria*	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, cepillo de alambre	Bolsa negra para basura, detergentes, agua	Azolve, plásticos	Aceites, lubricantes para motores, solventes, combustibles	Almacenamiento en campamento de conservación
Limpieza de pilas, cunas, estribos y aleros	N·CSV·CAR·2·03·004/01	Rutinaria*	Diésel, gasolina	Escobas, cepillos	Detergentes, agua, grasa para pernos	Agua	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Calafateo de fisuras	N·CSV·CAR·3·03·001/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, pistolas de inyección, cepillo de alambre, cascos anteojos, mascarillas contra polvo, protección de ruido, ropa protectora, guantes, arneses, cinturones de seguridad	Cordón de espuma de poliuretano o polietileno, selladores epóxicos, cemento Pórtland, expansor, adhesivo integral y platificante,	Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos peligrosos	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de grietas	N·CSV·CAR·3·03·002/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, pistolas de inyección, espátula, cepillo de alambre, cascos anteojos, mascarillas contra polvo, protección de ruido, ropa protectora, guantes, arneses, cinturones de seguridad, taladro	Corddón de espuma de poliuretano o polietileno, selladores epóxicos, cemento Pórtland, expansor, adhesivo integral y platificante,	Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Reparación y resanes en elementos de concreto	N·CSV·CAR·3·03·003/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, llana metálica, cascos anteojos, mascarillas contra polvo, protección de ruido, ropa protectora, guantes, arneses, cinturones de seguridad,	Cemento, arena grava, agua, varilla, moldes para cimbra de madera, cemento Pórtland, inhibidores de corrosión	Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición del sello en juntas de dilatación	N·CSV·CAR·3·03·004/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, llaves, espátulas, cepillo de alambre	Junta de neopreno, tornillería, acero, inhibidoras de corrosión	Junta de neopreno, pedacería de concreto	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Remoción de carpeta asfáltica en puentes		Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, rastrillos	Mezcla asfáltica, emulsión asfáltica, agua	Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición de juntas de dilatación		Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, junta metálica y junta de neopreno	Junta metálica y junta de neopreno, pedacería de concreto	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación

9.1.4. Túneles

9.1.4.1. Residuos sólidos de pet

CONCEPT O / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Plástico	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición de drenes y longitudinales	**N·CSV·CAR·3·04·002/02**	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena, grava, agua) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Tubo de PVC**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparación del sistema de ventilación	**N·CSV·CAR·4·04·002/02**	Rutinaria*	Camioneta redilas 3 1/2, grúa con canastilla, generador	Diésel, gasolina	Aire comprimido, material eléctrico, refacciones de equipo de ventilación	**Refacciones de equipo de ventilación, envases de aire comprimido**	**Refacciones de equipo de ventilación**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.4.2. Residuos sólidos de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación del sistema de ventilación	**N·CSV·-CAR·4·04·002/02**	Rutinaria*	Camioneta redilas 3 1/2, grúa con canastilla, generador	Diésel, gasolina	Equipo de seguridad para alturas	Aire comprimido, material eléctrico, refacciones de equipo de ventilación	**Refacciones de equipo de ventilación, envases de aire comprimido**	**Envases de aire comprimido**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.4.3. Residuos de construcción de pavimentos asfálticos

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de pavimentos	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la impermeabilización de revestimientos	**N·CSV·CAR·2·04·001/01**	Periódica**	Diésel, gasolina	Impermeabilizantes para asfaltos, Riego de sello (gravilla y asfalto modificado)	**Riego de sello**	**Riego de sello**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.4.4. Residuos de construcción de concretos y /o agregados

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Relleno de oquedades	**N·CSV·CAR·3·04·001/02**	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, moldes, cuchara, llana	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, agua	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reposición de drenes y longitudinales	**N·CSV·CAR·3·04·002/02**	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena, grava, agua) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.4.5. Residuos de construcción de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Relleno de oquedades	**N·CSV·CAR·3·04·001/02**	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel, moldes, cuchara, llana	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, agua	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Varilla, malla electrosoldada**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reposición de drenes y longitudinales	**N·CSV·CAR·3·04·002/02**	Periódica**	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena, grava, agua) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Malla electrosoldada**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.4.6. Residuos de manejo especial (pintura y aceites)

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Aceites, lubricantes para motores	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la impermeabilización de revestimientos	**N·CSV·CAR·2·04·001/01**	Periódica**	Barredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, equipos aspersor de aditivos impermeabilizantes, equipo para colocación de riegos de sello.	Diésel, gasolina	Impermeabilizantes para asfaltos, Riego de sello (gravilla y asfalto modificado)	**Riego de sello**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza de paredes y bóvedas	**N·CSV·CAR·2·04·002/01**	Rutinaria*	Hidrolavadoras, generadores, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Detergentes, agua	**Agua**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Relleno de oquedades	**N·CSV·CAR·3·04·001/02**	Periódica**	Lanzadora de concreto, generador, rompedora de concreto	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, agua	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reposición de drenes y longitudinales	**N·CSV·CAR·3·04·002/02**	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena, grava, agua) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparación del sistema de iluminación	**N·CSV·CAR·4·04·001/02**	Rutinaria*	Camioneta redilas 3 1/2, grúa con canastilla, generador	Diésel, gasolina	Lámparas, focos de diferentes capacidades, material eléctrico	**Lámparas, focos**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparación del sistema de ventilación	**N·CSV·CAR·4·04·002/02**	Rutinaria*	Camioneta redilas 3 1/2, grúa con canastilla, generador	Diésel, gasolina	Aire comprimido, material eléctrico, refacciones de equipo de ventilación	**Refacciones de equipo de ventilación, envases de aire comprimido**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación

9.1.5. Obras de drenaje y complementarias

9.1.5.1. Residuos sólidos de plástico

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Plástico	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de Cunetas y contracunetas	N-CSV-CAR-2-01-001-01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, motoconformadora, unidades de agua a presión, compresores de aire.	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, costalería	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación, fragmentos de roca**	**Plásticos (PET), envolturas, pedacería de llantas**	**Disposición en bancos de desperdicio aprobados.**
Limpieza de Alcantarillas	N·CSV·-CAR·2·01·003/01	Rutinaria*	Hidrolavadoras, camioneta redilas 3 1/2, generador	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Plásticos (PET), envolturas, pedacería de llantas**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Canales	N·CSV·-CAR·2·01·002/01	Rutinaria*	Hidrolavadoras, camioneta redilas 3 1/2, generador, compresoras de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación roca, pedazos de madera, ramas de árboles**	**Plásticos (PET), envolturas, pedacería de llantas**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Colectores	N·CSV·-CAR·2·01·004/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos, roca, pedazos de madera, ramas de árboles, vegetación**	**Plásticos (PET)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparación de Colectores	N·CSV·-CAR·3·01·004/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Tubo de PVC**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Plástico	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparaciones mayores de Colectores		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Tubo de PVC**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Lavaderos	N·CSV·-CAR·2·01·005/01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Plásticos (PET), envolturas, pedacería de llantas**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Registros	N·CSV·-CAR·2·01·006/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos**	**Plásticos (PET)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparación de Registros	N·CSV·-CAR·3·01·007/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador, acero	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Tubo de PVC**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reposición Registros	N·CSV·-CAR·4·01·004/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, tabique	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Tubo de PVC**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Plástico	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de Subdrenes y geodrenes	N·CSV·-CAR·2·01·007/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos**	**Plásticos (PET)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparación de Subdrenes y geodrenes Reposición Aislada de subrenes y geodrenes	N·CSV·-CAR·3·01·008/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo zanjador, martillo neumático, equipo de alumbrado, escarificadores	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, geotextil	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Tubo de PVC**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparaciones mayores de Subdrenes y geodrenes Reposición de Subdrenes y geodrenes	N·CSV·-CAR·4·01·005/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, geotextil	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Tubo de PVC**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**

9.1.5.2. Residuos sólidos de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de Cunetas y contracunetas	N-CSV-CAR-2-01-001-01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, motoconformadora, unidades de agua a presión, compresores de aire.	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, costalería	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación, fragmentos de roca**	**Latas de aluminio**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparaciones mayores de Cunetas y contracunetas	N·CSV·-CAR·4·01·001/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, mortero asfáltico, mortero con cemento Pórtland,	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Alcantarillas	N·CSV·-CAR·2·01·003/01	Rutinaria*	Hidrolavadoras, camioneta redilas 3 1/2, generador	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Latas de aluminio**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Lavaderos	N·CSV·-CAR·2·01·005/01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Latas de aluminio**	**Disposición en bancos de desperdicio aprobados.**
Reparación de Lavaderos	N·CSV·-CAR·3·01·005/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, lámina corrugada de acero, anclas (varillas), pijas	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Disposición en bancos de desperdicio aprobados.**
Reparaciones mayores de Lavaderos		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	

9.1.5.3. Residuos sólidos de vidrio

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Vidrio	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de Cunetas y contracunetas	N-CSV-CAR-2-01-001-01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, motoconformadora, unidades de agua a presión, compresores de aire.	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, cepillos de alambre, de fibra o de raíz	Bolsa negra para basura, costalería	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación, fragmentos de roca**	**Botellas de vidrio**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Alcantarillas	N·CSV·-CAR·2·01·003/01	Rutinaria*	Hidrolavadoras, camioneta redilas 3 1/2, generador	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Botellas de vidrio**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Lavaderos	N·CSV·-CAR·2·01·005/01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, posteadoras	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Botellas de vidrio**	Disposición en bancos de desperdicio aprobados.

9.1.5.4. Residuos sólidos de papel cartón

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Papel y cartón	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Cunetas y contracunetas	N·CSV·-CAR·3·01·001/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, mortero asfáltico, mortero con cemento Pórtland, cemento asfáltico, sellador	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparaciones mayores de Cunetas y contracunetas	N·CSV·-CAR·4·01·001/02	Trabajos de reconstrucción	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, mortero asfáltico, mortero con cemento Pórtland,	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparación Alcantarillas	N·CSV·-CAR·3·01·003/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, mastique asfáltico, tubería, lámina	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparaciones mayores Alcantarillas	N·CSV·-CAR·4·01·003/02	Trabajos de reconstrucción	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, alcantarilla de lámina corrugada de acero, alcantarilla de tubulares de cocnreto	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparación de Canales	N·CSV·-CAR·3·01·002/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Pórtland, cemento asfáltico	Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero	Saco de papel para cemento	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Papel y cartón	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparaciones mayores de Canales	N·CSV·-CAR·4·01·002/02	Trabajos de reconstrucción	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparación de Colectores	N·CSV·-CAR·3·01·004/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparaciones mayores de Colectores		Periódica**	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Limpieza de Lavaderos	N·CSV·-CAR·2·01·005/01	Rutinaria*	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Cartón**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparación de Lavaderos	N·CSV·-CAR·3·01·005/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, lámina corrugada de acero, anclas (varillas), pijas	Pedacería de concreto, malla electrosoldada	Saco de papel para cemento	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparaciones mayores de Lavaderos		Periódica**	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Papel y cartón	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Registros	N·CSV·-CAR·3·01·007/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador, acero	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reposición Registros	N·CSV·-CAR·4·01·004/02	Trabajos de reconstrucción	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, tabique	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparación de Subdrenes y geodrenes	N·CSV·-CAR·3·01·008/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, geotextil	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reposición Aislada de subrenes y geodrenes							
Reparaciones mayores de Subdrenes y geodrenes	N·CSV·-CAR·4·01·005/02	Trabajos de reconstrucción	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, geotextil	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reposición de Subdrenes y geodrenes							
Reparación de Bordillos, Guarniciones y vados	N·CSV·-CAR·3·01·006/02, N·CSV·-CAR·3·01·009/02	Periódica**	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparaciones mayores de Bordillos		Periódica**	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada Bordillos prefabricados de concreto o de hule de llanta, pegamento para bordillo prefabricado de caucho de llanta	**Pedacería de concreto, varilla (armex)**	Saco de papel para cemento	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.5.5. Residuos de construcción de concretos y /o agregados

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Cunetas y contracunetas	N·CSV·CAR·3·01·001/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2m, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresor de aire, martillo neumático, escarificador	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, mortero asfáltico, mortero con cemento Pórtland, cemento asfáltico, sellador	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación Alcantarillas	N·CSV·CAR·3·01·003/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, mastique asfáltico, tubería, lámina	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores Alcantarillas	N·CSV·CAR·4·01·003/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, alcantarilla de lámina corrugada de acero, alcantarilla de tubulares de concreto	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Canales	N·CSV·CAR·3·01·002/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Pórtland, cemento asfáltico	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores de Canales	N·CSV·CAR·4·01·002/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Pedacería de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Limpieza de Colectores	N·CSV·CAR·2·01·004/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos, roca, pedazos de madera, ramas de árboles, vegetación**	**Azolve**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación de Colectores	N·CSV·CAR·3·01·004/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparaciones mayores de Colectores		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Limpieza de Lavaderos	N·CSV·CAR·2·01·005/01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Azolve**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación de Lavaderos	N·CSV·CAR·3·01·005/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, lámina corrugada de acero, anclas (varillas), pijas	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores de Lavaderos		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Registros	N·CSV·CAR·3·01·007/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador, acero	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reposición Registros	N·CSV·CAR·4·01·004/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, tabique	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Limpieza de Subdrenes y geodrenes	N·CSV·CAR·2·01·007/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos**	**Azolve**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación de Subdrenes y geodrenes Reposición Aislada de subrenes y geodrenes	N·CSV·CAR·3·01·008/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo zanjador, martillo neumático, equipo de alumbrado, escarificadores	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, geotextil	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparaciones mayores de Subdrenes y geodrenes Reposición de Sub-drenes y geodrenes	N·CSV·CAR·4·01·005/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, geotextil	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Pedacería de concreto, tubo de concreto**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación de Bordillos, Guarniciones y vados	N·CSV·CAR·3·01·006/02, N·CSV·CAR·3·01·009/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Pedacería de concreto,**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores de Bordillos		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolved rora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada Bordillos prefabricados de concreto o de hule de llanta, pegamento para bordillo prefabricado de caucho de llanta	**Pedacería de concreto, varilla (armex)**	**Pedacería de concreto,**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.5.6. Residuos de construcción de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Cunetas y contracunetas	N·CSV·CAR·3·01·001/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2m, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresor de aire, martillo neumático, escarificador	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, mortero asfáltico, mortero con cemento Pórtland, cemento asfáltico, sellador	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Malla electrosoldada**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación Alcantarillas	N·CSV·CAR·3·01·003/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, mastique asfáltico, tubería, lámina	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Malla electrosoldada, recorte de varilla de acero**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores Alcantarillas	N·CSV·CAR·4·01·003/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, alcantarilla de lámina corrugada de acero, alcantarilla de tubulares de concreto	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Malla electrosoldada, recorte de varilla de acero**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Canales	N·CSV·CAR·3·01·002/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Pórtland, cemento asfáltico	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Malla electrosoldada, recorte de varilla de acero**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores de Canales	N·CSV·CAR·4·01·002/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Malla electrosoldada, recorte de varilla de acero**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación de Colectores	N·CSV·CAR·3·01·004/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Malla electrosoldada, recorte de varilla de acero**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores de Colectores		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Malla electrosoldada, recorte de varilla de acero**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Lavaderos	N·CSV·CAR·3·01·005/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, lámina corrugada de acero, anclas (varillas), pijas	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Malla electrosoldada, recorte de varilla de acero**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores de Lavaderos		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Malla electrosoldada, recorte de varilla de acero**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparación de Bordillos, Guarniciones y vados	N·CSV·CAR·3·01·006/02, N·CSV·CAR·3·01·009/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Varilla (armex)**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Reparaciones mayores de Bordillos		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 ½	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada Bordillos prefabricados de concreto o de hule de llanta, pegamento para bordillo prefabricado de caucho de llanta	**Pedacería de concreto, varilla (armex)**	**Varilla (armex)**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1..5.7. Biorresiduos vegetal

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos Vegetal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de Cunetas y contracunetas	N-CSV-CAR-2-01-001-01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, motoconformadora, unidades de agua a presión, compresores de aire.	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, costalería	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación, fragmentos de roca**	**Vegetación (matas)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Alcantarillas	N·CSV·CAR·2·01·003/01	Rutinaria*	Hidrolavadoras, camioneta redilas 3 1/2, generador	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Vegetación (matas)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reparaciones mayores Alcantarillas	N·CSV·CAR·4·01·003/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, alcantarilla de lámina corrugada de acero, alcantarilla de tubulares de concreto	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Raíces**	**Disposición en bancos de desperdicio aprobados.**
Limpieza de Canales	N·CSV·CAR·2·01·002/01	Rutinaria*	Hidrolavadoras, camioneta redilas 3 1/2, generador, compresoras de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación roca, pedazos de madera, ramas de árboles**	**Vegetación (matas)**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos Vegetal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de Lavaderos	N·CSV·CAR·2·01·005/01	Rutinaria*	Minibarredora auto-propulsada, camio-neta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compreso-res de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedace-ría de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Vegetación (matas)**	**Almacenamien-to en campa-mento de con-servación para su desecho en relleno sanitario**
Limpieza de Bordillos Limpieza de vados, obras especiales de control y protección	N·CSV·CAR·2·01·008/01, N·CSV·CAR·2·01·009/01	Rutinaria*	Minibarredora auto-propulsada, camio-neta redilas 3 ½	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Vegetación (matas)**	**Vegetación (matas)**	**Almacenamien-to en campa-mento de con-servación para su desecho en relleno sanitario**

9.1.5.8. Biorresiduos animal

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos Animal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de Cunetas y contracune-tas	N-CSV-CAR-2-01-001-01	Rutinaria*	Minibarredora auto-propulsada, camio-neta redilas 3 1/2, motoconformadora, unidades de agua a presión, compresores de aire.	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, cepillos de alambre, de fibra o de raíz	Bolsa ne-gra para basura, costalería	**Azolve, plás-ticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación, fragmentos de roca**	**Residuos orgá-nicos anima-less (animales producto de atropellamien-tos)**	Se recolecta con los demás residuos sólidos para su posterior desecho en relleno sanitario

9.1.5.9. Residuos de manejo especial (pintura y aceites)

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Aceites, lubricantes para motores	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de Cunetas y contracunetas	N-CSV-CAR-2-01-001-01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, motoconformadora, unidades de agua a presión, compresores de aire.	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura, costalería	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación, fragmentos de roca**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparación de Cunetas y contracunetas	N·CSV·CAR·3·01·001/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2m, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresor de aire, martillo neumático, escarificador	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, mortero asfáltico, mortero con cemento Pórtland, cemento asfáltico, sellador	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparaciones mayores de Cunetas y contracunetas	N·CSV·CAR·4·01·001/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, mortero asfáltico, mortero con cemento Pórtland,	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza de Alcantarillas	N·CSV·CAR·2·01·003/01	Rutinaria*	Hidrolavadoras, camioneta redilas 3 1/2, generador	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Aceites, lubricantes para motores	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación Alcantarillas	N·CSV·CAR·3·01·003/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, mastique asfáltico, tubería, lámina	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparaciones mayores Alcantarillas	N·CSV·CAR·4·01·003/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, alcantarilla de lámina corrugada de acero, alcantarilla de tubulares de concreto	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza de Canales	N·CSV·CAR·2·01·002/01	Rutinaria*	Hidrolavadoras, camioneta redilas 3 1/2, generador, compresoras de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación roca, pedazos de madera, ramas de árboles**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Aceites, lubricantes para motores	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Canales	N·CSV·CAR·3·01·002/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Pórtland, cemento asfáltico	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparaciones mayores de Canales	N·CSV·CAR·4·01·002/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza de Colectores	N·CSV·CAR·2·01·004/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos, roca, pedazos de madera, ramas de árboles, vegetación**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparación de Colectores	N·CSV·CAR·3·01·004/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Aceites, lubricantes para motores	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparaciones mayores de Colectores		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza de Lavaderos	N·CSV·CAR·2·01·005/01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos (PET), pedacería de llantas, papel, cartón, vegetación**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparación de Lavaderos	N·CSV·CAR·3·01·005/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado, martillo neumático, escarificadores	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada, cemento Pórtland, sellador, lámina corrugada de acero, anclas (varillas), pijas	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparaciones mayores de Lavaderos		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza de Registros	N·CSV·CAR·2·01·006/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Aceites, lubricantes para motores	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación de Registros	N·CSV·CAR·3·01·007/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, unidades de agua a presión, unidades de arena a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, cemento Portland, sellador, acero	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reposición Registros	N·CSV·CAR·4·01·004/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, tabique	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza de Subdrenes y geodrenes	N·CSV·CAR·2·01·007/01	Rutinaria*	Camión vector para desazolve, unidades de agua a presión, compresores de aire, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Azolve, plásticos**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparación de Subdrenes y geodrenes Reposición Aislada de subrenes y geodrenes	N·CSV·CAR·3·01·008/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo zanjador, martillo neumático, equipo de alumbrado, escarificadores	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, geotextil	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Aceites, lubricantes para motores	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparaciones mayores de Subdrenes y geodrenes Reposición de Subdrenes y geodrenes	N·CSV·CAR·4·01·005/02	Trabajos de reconstrucción	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Tubo de concreto o de PVC para drenaje, concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada, geotextil	**Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Limpieza de Bordillos Limpieza de vados, obras especiales de control y protección	N·CSV·CAR·2·01·008/01, N·CSV·CAR·2·01·009/01	Rutinaria*	Minibarredora autopropulsada, camioneta redilas 3 1/2	Diésel, gasolina	Bolsa negra para basura	**Vegetación (matas)**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparación de Bordillos, Guarniciones y vados	N·CSV·CAR·3·01·006/02, N·CSV·CAR·3·01·009/02	Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2, equipo de alumbrado	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada	**Pedacería de concreto, malla electrosoldada**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Reparaciones mayores de Bordillos		Periódica**	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedora de concreto, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Cemento, arena grava, malla electrosoldada Bordillos prefabricados de concreto o de hule de llanta, pegamento para bordillo prefabricado de caucho de llanta	**Pedacería de concreto, varilla (armex)**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación

9.1.6. Taludes

9.1.6.1. Residuos de construcción de concretos y /o agregados

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Afine y retiro de material en cortes intemperizados	**N-CTR-CAR-1-01-014/00**	Rutinaria*	Camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, mini-rompedores, generador, camión volteo, retroexcava-dora	Diésel, gasolina	Piolet, martillo, ganchos, cuer-das de seguri-dad, andamios móviles.	Puede requerir agua	**Boleos, rocas pequeñas, algunas raíces y plantas**	**Boleos y rocas**	**Almacenamien-to en campa-mento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Estabilización de taludes por medio de con-creto lanzado	**N-CTR-CAR-1-01-017/00**	Periódica**	Lanzadora de concreto, perforadora, camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, mini-rompedores, generador, camión volteo, retroexcava-dora	Diésel, gasolina	Piolet, martillo, ganchos, cuer-das de seguri-dad, andamios móviles.	Agua, ce-mento, adi-tivos para cemento	**Macizos rocosos, boleos, algunas raíces y plantas**	**Macizos roco-sos, boleos**	**Almacenamien-to en campa-mento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Arrope de taludes	**N-CTR-CAR-1-01-012/00**	Periódica**	Camioneta redilas 3 1/2, zanjadora	Diésel, gasolina	Carretillas, picos, palas	Rollos de pasto (te-pes), semi-llas, agua, fibras natu-rales (coco, cortezas de árbol)	**Boleos, rocas pequeñas, algunas raíces y plantas**	**Macizos roco-sos, boleos**	**Almacenamien-to en campa-mento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Construcción de muros gaviones o muros alcancía	**N-CTR-PUE-1-02-004/06**	Periódica**	Camioneta de redilas 3 1/2, mini-rompedores, generador, camión volteo, retroexcavadora	Diésel, gasolina	Carretillas, picos, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, pizas, cizallas	Roca, boleos graduados, malla ciclónica, alambrón	**Boleos, rocas pequeñas, malla ciclónica, alambrón**	**Boleos y rocas**	**Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado**
Zampeado en cortes a poca altura	**N-CTR-CAR-1-02-002/20**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, retroexcavadora, camión volteo, generador, esmeril, generador	Diésel, gasolina	Piolet, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, andamios móviles.	Roca, boleos graduados, mortero (cemento, arena, agua)	**Boleos, rocas pequeñas**	**Boleos y rocas**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.6.2. Residuos de construcción de metal y chatarra

ID	CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
97	**Construcción de muros gaviones o muros alcancía**	**N-CTR-PUE-1-02-004/06**	Periódica**	Camioneta de redilas 3 1/2, mini-rompedores, generador, camión volteo, retroexcavadora	Diésel, gasolina	Carretillas, picos, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, pizas, cizallas	Roca, boleos graduados, malla ciclónica, alambrón	**Boleos, rocas pequeñas, malla ciclónica, alambrón**	**Boleos y rocas**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.6.3. Biorresiduos vegetal

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos Vegetal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Afine y retiro de material en cortes intemperizados	**N-CTR-CAR-1-01-014/00**	Rutinaria*	Camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, minirompedores, generador, camión volteo, retroexcavadora	Diésel, gasolina	Piolet, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, andamios móviles.	Puede requerir agua	**Boleos, rocas pequeñas, algunas raíces y plantas**	**Raíces y plantas**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado	**N-CTR-CAR-1-01-017/00**	Periódica**	Lanzadora de concreto, perforadora, camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, minirompedores, generador, camión volteo, retroexcavadora	Diésel, gasolina	Piolet, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, andamios móviles.	Agua, cemento, aditivos para cemento	**Macizos rocosos, boleos, algunas raíces y plantas**	**Raíces y plantas**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Arrope de taludes	**N-CTR-CAR-1-01-012/00**	Periódica**	Camioneta redilas 3 1/2, zanjadora	Diésel, gasolina	Carretillas, picos, palas	Rollos de pasto (tepes), semillas, agua, fibras naturales (coco, cortezas de árbol)	**Boleos, rocas pequeñas, algunas raíces y plantas**	**Raíces y plantas**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Relleno con material de banco en corte o terraplén	**N-CTR-CAR-1-01-011/11**	Periódica**	Camioneta 3 1/2, retroexcavadora, camión volteo, compactador, generador	Diésel, gasolina	Carretillas, picos, palas	Tepetate, boleos graduados	**Algunas raíces y plantas**	**Raíces y plantas**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.6.4. Residuos de manejo especial (pintura y aceites)

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos especiales	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Afine y retiro de material en cortes intemperizados	**N-CTR-CAR-1-01-014/00**	Rutinaria*	Camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, mini-rompedores, generador, camión volteo, retroexcavadora	Diésel, gasolina	Piolet, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, andamios móviles.	Puede requerir agua	**Boleos, rocas pequeñas, algunas raíces y plantas**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado	**N-CTR-CAR-1-01-017/00**	Periódica**	Lanzadora de concreto, perforadora, camioneta redilas 3 1/2, sopladora de aire, mini-rompedores, generador, camión volteo, retroexcavadora	Diésel, gasolina	Piolet, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, andamios móviles.	Agua, cemento, aditivos para cemento	**Macizos rocosos, boleos, algunas raíces y plantas**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Arrope de taludes	**N-CTR-CAR-1-01-012/00**	Periódica**	Camioneta redilas 3 1/2, zanjadora	Diésel, gasolina	Carretillas, picos, palas	Rollos de pasto (tepes), semillas, agua, fibras naturales (coco, cortezas de árbol)	**Boleos, rocas pequeñas, algunas raíces y plantas**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos especiales	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Relleno con material de banco en corte o terraplén	**N-CTR-CAR-1-01-011/11**	Periódica**	Camioneta 3 1/2, retroexcavadora, camión volteo, compactador, generador	Diésel, gasolina	Carretillas, picos, palas	Tepetate, boleos graduados	**Algunas raíces y plantas**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Construcción de muros gaviones o muros alcancía	**N-CTR-PUE-1-02-004/06**	Periódica**	Camioneta de redilas 3 1/2, minirompedores, generador, camión volteo, retroexcavadora	Diésel, gasolina	Carretillas, picos, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, pizas, cizallas	Roca, boleos graduados, malla ciclónica, alambrón	**Boleos, rocas pequeñas, malla ciclónica, alambrón**	**Aceites, lubricantes para motores**	**Almacenamiento en campamento de conservación**
Zampeado en cortes a poca altura	**N-CTR-CAR-1-02-002/20**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, retroexcavadora, camión volteo, generador, esmeril, generador	Diésel, gasolina	Piolet, martillo, ganchos, cuerdas de seguridad, andamios móviles.	Roca, boleos graduados, mortero (cemento, arena, agua)	**Boleos, rocas pequeñas**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación

9.1.7. Señalamiento y dispositivos de seguridad

9.1.7.1. Residuos sólidos de pet

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Plástico	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la reposición de líneas y marcas en el pavimento	**N-CSV-CAR-2-05-001/01**	Rutinaria*	Pintarayas automatizado, barredora autopropulsada, generador	Diésel, gasolina	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Botes de plástico, saco de plástico para microesfera**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Acciones en la reposición de marcas en guarniciones	**N-CSV-CAR-2-05-002/01**	Rutinaria*	Pintarayas automatizado, barredora autopropulsada, generador	Diésel, gasolina	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, pintura alquídica, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Botes de plástico, saco de plástico para microesfera**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Acciones en la reposición de marcas estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura	**N·CSV·CAR·2·05·003/01**	Rutinaria*	Generador, aspersores para pintura	Diésel, gasolina	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, primer, pintura alquídica, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Botes de plástico, saco de plástico para microesfera**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Plástico	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición aislada de dispositivos reflejantesy botones	**N-CSV-CAR-3-05-003/02**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, caldera para pegamento	Diésel, gasolina	Dispositivos reflejantesde plástico, dispositivos reflejantesmetálicos, pegamento bituminoso, pegamento epóxico	**Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico**	Botones	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reposición de indicadores para alineamiento		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Concreto (cemento, grava, arena, agua), indicadores de camino (dispositivos reflejantess)	**Pedacería de concreto, indicadores de camino (dispositivos reflejantess)**	**Indicador de camino**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reposición total de dispositivos reflejantesy botones		Periódica**	Camioneta 3 1/2, caldera para pegamento bituminoso	Diésel, gasolina	Dispositivos reflejantesde plástico, dispositivos reflejantesmetálicos, pegamento bituminoso, pegamento epóxico	**Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico**	**Botones**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.7.2. Residuos sólidos de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la reposición de lineas y marcas en el pavimento	**N-CSV-CAR-2-05-001/01**	Rutinaria*	Pintarayas automatizado, barredora autopropulsada, generador	Diésel, gasolina	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Tambos metálicos**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Acciones en la reposición de marcas en guarniciones	**N-CSV-CAR-2-05-002/01**	Rutinaria*	Pintarayas automatizado, barredora autopropulsada, generador	Diésel, gasolina	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, pintura alquídica, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Tambos metálicos**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Acciones en la reposición de marcas estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura	**N·CSV·CAR·2·05·003/01**	Rutinaria*	Generador, aspersores para pintura	Diésel, gasolina	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, primer, pintura alquídica, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Cosatales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Tambos metálicos**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reposición aislada de dispositivos reflejantesy botones	**N-CSV-CAR-3-05-003/02**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, caldera para pegamento	Diésel, gasolina	Dispositivos reflejantesde plástico, dispositivos reflejantesmetálicos, pegamento bituminoso, pegamento epóxico	**Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico**	**Botones**	**Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario**
Reposición total de dispositivos reflejantesy botones		Periódica**	Camioneta 3 1/2, caldera para pegamento bituminoso	Diésel, gasolina	Dispositivos reflejantesde plástico, dispositivos reflejantesmetálicos, pegamento bituminoso, pegamento epóxico	**Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico**	**Botones**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.7.3. Residuos sólidos de papel cartón

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Papel y cartón	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la reposición de lineas y marcas en el pavimento	**N-CSV-CAR-2-05-001/01**	Rutinaria*	Pintarayas automatizado, barredora autopropulsada, generador	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Moldes de papel o cartón**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Acciones en la reposición de marcas estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura	**N·CSV·CAR·2·05·003/01**	Rutinaria*	Generador, aspersores para pintura	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, primer, pintura alquídica, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Cosatales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Moldes de papel o cartón**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico		Rutinaria*	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedrora de concreto	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reposición aislada de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	**N-CSV-CAR-3-05-003/02**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, caldera para pegamento	Dispositivos reflejantesde plástico, dispositivos reflejantesmetálicos, pegamento bituminoso, pegamento epóxico	**Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico**	**Caja de cartón para dispositivos reflejanteso botones**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos sólidos de Papel y cartón	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición de señales verticales	**N-CSV-CAR-3-05-004/02**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton - 0.5 Ton	Concreto (cemento, grava, arena, agua), postes de fierro galvanizado de diferentes calibres y medidas, tornillería, placas de acero	**Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero**	Saco de papel para cemento	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reposición de indicadores para alineamiento		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2	Concreto (cemento, grava, arena, agua), indicadores de camino (dispositivos reflejantess)	**Pedacería de concreto, indicadores de camino (dispositivos reflejantess)**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reposición total de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes		Periódica**	Camioneta 3 1/2, caldera para pegamento bituminoso	Dispositivos reflejantesde plástico, dispositivos reflejantesmetálicos, pegamento bituminoso, pegamento epóxico	**Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico**	**Caja de cartón para dispositivos reflejanteso botones**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario
Reposición total de señalamiento vertical		Periódica**	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton - 0.5 Ton	Concreto (cemento, grava, arena, agua), postes de fierro galvanizado de diferentes calibres y medidas, tornillería, placas de acero	**Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero**	**Saco de papel para cemento**	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.7.4. Residuos de construcción de concretos y /o agregados

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición de barreras y barreras centrales		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton	Diésel, gasolina	Barretas de acero ganchos de acero, cadenas de acero	Barrera de concreto	**Barrera de concreto, ganchos de sujeción de acero**	**Barrera de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico		Rutinaria*	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedrora de concreto	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel	Concreto (Cemento, arena grava) malla electrosoldada	**Pedacería de concreto**	**Pedacería de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reposición de señales verticales	**N-CSV-CAR-3-05-004/02**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton - 0.5 Ton	Diésel, gasolina	Barretas, picos, palas, cava-hoyos	Concreto (cemento, grava, arena, agua), postes de fierro galvanizado de diferentes calibres y medidas, tornillería, placas de acero	**Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero**	**Pedacería de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición de indicadores para alineamiento		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Barretas, picos, palas, cava-hoyos	Concreto (cemento, grava, arena, agua), indicadores de camino (dispositivos reflejantess)	**Pedacería de concreto, indicadores de camino (dispositivos reflejantess)**	**Pedacería de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reposición total de señalamiento vertical		Periódica**	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton - 0.5 Ton	Diésel, gasolina	Barretas, picos, palas, cava-hoyos	Concreto (cemento, grava, arena, agua), postes de fierro galvanizado de diferentes calibres y medidas, tornillería, placas de acero	**Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero**	**Pedacería de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reposición total de barreras centrales de concreto hidráulico		Periódica**	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton	Diésel, gasolina	Barretas de acero ganchos de acero, cadenas de acero	Barrera de concreto	**Barrera de concreto, ganchos de sujeción de acero**	**Barrera de concreto**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.7.5. Residuos de construcción de metal y chatarra

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición de barreras y barreras centrales		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton	Diésel, gasolina	Barretas de acero ganchos de acero, cadenas de acero	Barrera de concreto	**Barrera de concreto, ganchos de sujeción de acero**	**Ganchos de sujeción de acero**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reposición de señales verticales	**N-CSV-CAR-3-05-004/02**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton - 0.5 Ton	Diésel, gasolina	Barretas, picos, palas, cava-hoyos	Concreto (cemento, grava, arena, agua), postes de fierro galvanizado de diferentes calibres y medidas, tornillería, placas de acero	**Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero**	**Poste de fierro, tornillería, placas de acero**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera central		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, generador, cortadora, taladro	Diésel, gasolina	Pinza, cizalla,	Malla antideslumbrante (malla de acero, forrada de algún polímero), alambre galvanizado, tubular de acero	**Malla antideslumbrante, alambre galvanizado, tubular de acero**	Malla anti deslumbrante de acero, alambre, tubulares de acero	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reparación y reposición de dispositivos diversos	**N·CSV·CAR·2·05·007/01**	Periódica**	Camione-ta 3 1/2, generador	Diésel, gasolina	Pistola o remachadora	Refle-jantes, remaches	**Reflejantes**	Reflejantes	Almacenamien-to en campa-mento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reposición de barrreras de protección		Periódica**	Camioneta 3 1/2, hin-cadora de postes	Diésel, gasolina	Barretas, llaves	Barrera metálica de acero galvaniza-do, postes de acero galva-nizado tornillería de acero	**Barrera metá-lica de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tor-nillería de acero, reflejantes**	**Barrera metálica de acero galva-nizado, pos-tes de acero galvanizado tornillería de acero, reflejantes**	Almacenamien-to en campa-mento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reposición total de señalamiento vertical		Periódica**	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton - 0.5 Ton	Diésel, gasolina	Barretas, picos, palas, cava-hoyos	Concreto (cemento, grava, are-na, agua), postes de fierro galvani-zado de diferentes calibres y medidas, tornillería, placas de acero	**Pedacería de concreto, postes de fierro galva-nizado de, torni-llería, placas de acero**	**Poste de fie-rro, tornille-ría, placas de acero**	Almacenamien-to en campa-mento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición total de barrreras de protección		Periódica**	Camioneta 3 1/2, hincadora de postes	Diésel, gasolina	Barretas, llaves	Barrera metálica de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tornillería de acero	**Barrera metálica de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tornillería de acero, reflejantes**	**Barrera metálica de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tornillería de acero, reflejantes**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado
Reposición total de barreras centrales de concreto hidráulico		Periódica**	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton	Diésel, gasolina	Barretas de acero ganchos de acero, cadenas de acero	Barrera de concreto	**Barrera de concreto, ganchos de sujeción de acero**	**Ganchos de sujeción de acero**	Almacenamiento en campamento o zona indicada por el operador de la autopista para su desecho en tiro autorizado

9.1.7.6. Biorresiduos vegetal

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	ENTRADA Insumos	SALIDA Residuos	Biorresiduos Vegetal	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la reposición de líneas y marcas en el pavimento	**N-CSV-CAR-2-05-001/01**	Rutinaria*	Pintarayas automatizado, barredora autopropulsada, generador	Microesfera, pintura de tránsito base solvente o base agua, moldes de papel cartón de madera para marcas	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	Moldes de madera	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario

9.1.7.7. Residuos de manejo especial (pintura y aceites)

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	Salida Residuos	Residuos De Manejo Especial (Pintura Y Aceites)	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Acciones en la reposición de lineas y marcas en el pavimento	**N-CSV-CAR-2-05-001/01**	Rutinaria*	Pintarayas automatizado, barredora autopropulsada, generador	Diésel, gasolina	Escobas, palas,	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Aceites, lubricantes para motores, pinturas y solventes**	Almacenamiento en campamento de conservación
Acciones en la reposición de marcas en guarniciones	**N-CSV-CAR-2-05-002/01**	Rutinaria*	Pintarayas automatizado, barredora autopropulsada, generador	Diésel, gasolina	Escobas, palas,	**Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Aceites, lubricantes para motores, pinturas y solventes**	Almacenamiento en campamento de conservación
Acciones en la reposición de marcas estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura	**N·CSV·CAR·2·05·003/01**	Rutinaria*	Generador, aspersores para pintura	Diésel, gasolina	Escobas, brochas, rodillos	**Cosatales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plástico, moldes de papel cartón o de madera**	**Aceites, lubricantes para motores, pinturas y solventes**	Almacenamiento en campamento de conservación
Limpieza de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	N·CSV·CAR·2·05·004/01	Rutinaria*	Generador, hidrolavadoras, camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Escobas, cepillos de plástico	**Agua**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Limpieza de señales verticales	**N-CSV-CAR-2-05-005/01**	Rutinaria*	Generador, hidrolavadoras, camioneta 3 1/3	Diésel, gasolina	Escobas, cepillos de plástico	**Agua**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	Salida Residuos	Residuos De Manejo Especial (Pintura Y Aceites)	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Limpieza de barreras y barreras centrales	**N·CSV·CAR·2·05·006/01**	Rutinaria*	Generador, hidrolavadoras, camioneta 3 1/4	Diésel, gasolina	Escobas, cepillos de plástico y de metal	**Agua**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición de barreras y barreras centrales		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton	Diésel, gasolina	Barretas de acero ganchos de acero, cadenas de acero	**Barrera de concreto, ganchos de sujeción de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico		Rutinaria*	Cortadora de concreto, generador, rompedora de concreto, revolvedrora de concreto	Diésel, gasolina	Escobas, palas, carretillas, martillo, cincel	Pedacería de concreto	Aceites, lubricantes para motores	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición aislada de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	**N-CSV-CAR-3-05-003/02**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, caldera para pegamento	Diésel, gasolina	Escobas, bastones sujetadores	**Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico**	**Pegamento epóxico, pegamento bituminoso, aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición de señales verticales	**N-CSV-CAR-3-05-004/02**	Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton - 0.5 Ton	Diésel, gasolina	Barretas, picos, palas, cava-hoyos	**Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera central		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2, generador, cortadora, taladro	Diésel, gasolina	Pinza, cizalla,	**Malla antideslumbrante, alambre galvanizado, tubular de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación

CONCEPTO / ACTIVIDAD	NORMA DE REFERENCIA	Frecuencia de Conservación	Maquinaría y/o equipo	Combustible	Herramientas	Salida Residuos	Residuos De Manejo Especial (Pintura Y Aceites)	Prácticas comunes actuales de manejo de residuos
Reposición de indicadores para alineamiento		Rutinaria*	Camioneta 3 1/2	Diésel, gasolina	Barretas, picos, palas, cava-hoyos	**Pedacería de concreto, indicadores de camino (dispositivos reflejantess)**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reparación y reposición de dispositivos diversos	**N·CSV·CAR·2·05·007/01**	Periódica**	Camioneta 3 1/2, generador	Diésel, gasolina	Pistola o remachadora	**Reflejantes**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición de barrreras de protección		Periódica**	Camioneta 3 1/2, hincadora de postes	Diésel, gasolina	Barretas, llaves	**Barrera metálica de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tornillería de acero, reflejantes**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición total de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes		Periódica**	Camioneta 3 1/2, caldera para pegamento bituminoso	Diésel, gasolina	Escobas, bastones sujetadores	**Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico**	**Pegamento epóxico, pegamento bituminoso, aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición total de señalamiento vertical		Periódica**	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton - 0.5 Ton	Diésel, gasolina	Barretas, picos, palas, cava-hoyos	**Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición total de barrreras de protección		Periódica**	Camioneta 3 1/2, hincadora de postes	Diésel, gasolina	Barretas, llaves	**Barrera metálica de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tornillería de acero, reflejantes**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación
Reposición total de barreras centrales de concreto hidráulico		Periódica**	Camioneta 3 1/2, grúas de 2 Ton	Diésel, gasolina	Barretas de acero ganchos de acero, cadenas de acero	**Barrera de concreto, ganchos de sujeción de acero**	**Aceites, lubricantes para motores**	Almacenamiento en campamento de conservación

9.2. Anexo 2. Alternativas sustentables para el manejo de residuos en las actividades de conservación de las carreteras

9.2.1. Derecho de vía

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
1	DERECHO DE VÍA	Limpieza manual sobre laterales y camellón central	plásticos (PET), padecería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	El personal de mantenimiento deberá separar por tipo de residuo (para el vidrio, latas, cartón, plástico, Etc.) para su posterior venta o donación en centro de acopio de residuos para su reciclaje.	S.R.
2	DERECHO DE VÍA	Reposición de cercado con postes de concreto y alambre de púas	Postes de concreto	Bancos de tiro fuera del derecho de vía	Estos residuos pueden ser trasladados a una trituradora ya que, con este proceso de trituración, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para otras actividades de conservación. Sustituir postes de concreto por postes prefabricados de resinas/polímeros/plásticos reciclados. Este tipo de postes es de uso más versátil y menos susceptible a vandalismos.	S.R.
3	DERECHO DE VÍA	Reposición de cercado con alambre de púas	Postes de concreto dañados, alambre de púas oxidado	Bancos de tiro fuera del derecho de vía	Estos residuos pueden ser trasladados a una trituradora ya que, con este proceso de trituración, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para otras actividades de conservación. Los residuos metálicos como el alambre, deberán ser separados como chatarra para su posterior venta o donación en centro de acopio de residuos. Sustituir postes de concreto por postes prefabricados de resinas/polímeros/plásticos reciclados. Este tipo de postes es de uso más versátil y menos susceptible a vandalismos.	S.R.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
4	DERECHO DE VÍA	Reposición de cercado con malla ciclónica	Postes de concreto dañados, alambre de púas oxidado	Bancos de tiro fuera del derecho de vía	Estos residuos pueden ser trasladados a una trituradora ya que, con este proceso de trituración, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para otras actividades de conservación. Los residuos metálicos como el alambre, deberán ser separados como chatarra para su posterior venta o donación en centro de acopio de residuos. Sustituir postes de concreto por postes prefabricados de resinas/polímeros/plásticos reciclados. Este tipo de postes es de uso más versátil y menos susceptible a vandalismos.	S.R.
5	DERECHO DE VÍA	Poda de árboles	Troncos, ramas	Bancos de tiro fuera del derecho de vía y sitios de disposición final municipales	Elaboración de composta en zonas laterales de derecho de vía o en zonas cerca de las casetas de cobro (en caso de que existan en la autopista).	S.R.
6	DERECHO DE VÍA	Control manual de maleza en laterales, camellón central, y taludes	Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)	Bancos de tiro fuera del derecho de vía y sitios de disposición final municipales	Elaboración de composta en zonas laterales de derecho de vía o en zonas cerca de las casetas de cobro (en caso de que existan en la autopista).	S.R.
7	DERECHO DE VÍA	Control mecánico de maleza en laterales y camellón central	Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)	Bancos de tiro fuera del derecho de vía y sitios de disposición final municipales	Elaboración de composta en zonas laterales de derecho de vía o en zonas cerca de las casetas de cobro (en caso de que existan en la autopista).	S.R.
8	DERECHO DE VÍA	Sustitución de postes de derecho de vía	Postes de concreto, alambre de púas	Bancos de tiro, sitios de disposición municipales, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Estos residuos pueden ser trasladados a una trituradora ya que, con este proceso de trituración, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para otras actividades de conservación. Los residuos metálicos como el alambre, deberán ser separados como chatarra para su posterior venta o donación en centro de acopio de residuos. Sustituir postes de concreto por postes prefabricados de resinas/polímeros/plásticos reciclados. Este tipo de postes es de uso más versátil y menos susceptible a vandalismos.	S.R.

9.2.2. Pavimentos

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
33	PAVIMENTOS	Sellado de grietas y juntas en lozas de concreto hidráulico	Polvo de concreto, pedacería de concreto, cordón de poliuretano o polietileno	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Para evitar la generación y acumulación de este tipo de residuos, se recomienda en la práctica de acciones sustentables su elaboración de manera pausada con sus debidas dosificaciones, ya que al ser una actividad en donde no se tiene el volumen requerido de material, entonces es recomendable su uso por fracciones, monitoreando con el avance en la actividad de mantenimiento y en su última fase se calcula la cantidad precisa para obtener la cantidad mínima de residuos o en el mejor de los casos, ningún residuo.	Aplicación de selladores con emulsiones asfálticas y polímeros reciclados como hule de llanta, caucho y también selladores elaborados del reciclaje de unicel, los cuales ya están en algunos casos aprobados y regulados por normas oficiales mexicanas.
34	PAVIMENTOS	Reparación de desconchaduras en lozas de concreto hidráulico	Polvo de concreto, pedacería de concreto, cordón de poliuretano o polietileno	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Estos residuos pueden ser trasladados a una trituradora ya que con este proceso de trituración, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para otras actividades de conservación.	Los agregados del concreto reciclado y de la construcción y la demolición de losas, una vez separados por un proceso selectivo son residuos que son reciclados y pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
35	PAVIMENTOS	Acciones en la limpieza de rodadura y acotamiento	plásticos (PET), padecería de llantas, papel, cartón, restos de animales muertos, vegetación, cepillo de barredora (una vez termine su vida útil)	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	El personal de mantenimiento deberá separar por tipo de residuo (para el, vidrio, latas, cartón, plástico, Etc.) para su posterior venta o donación en centro de acopio de residuos para su reciclaje.	S.R.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
36	PAVIMENTOS	Demolición de lozas de concreto hidráulico	Bloques y pedacearía de concreto hidráulico, barras y varillas de acero	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Estos residuos pueden ser trasladados a una trituradora ya que con este proceso de trituración, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para otras actividades de conservación.	Los agregados del concreto reciclado y de la construcción y la demolición de losas, una vez separados por un proceso selectivo son residuos que son reciclados y pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
37	PAVIMENTOS	Reposición parcial y total en lozas de concreto hidráulico	Bloques y pedacearía de concreto, recorte de varilla de acero y alambre, mezcla de concreto.	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Estos residuos pueden ser trasladados a una trituradora ya que con este proceso de trituración, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para otras actividades de conservación.	Los agregados del concreto reciclado y de la construcción y la demolición de losas, una vez separados por un proceso selectivo son residuos que son reciclados y pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
38	PAVIMENTOS	Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfaltico	Carpeta asfáltica granulada	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	De acuerdo a las características de desgaste, este material almacenado puede someterse a un proceso de trituración y cribado con el que posteriormente puede reciclarse para reciclarse en la elaboración de mezclas asfálticas en frío por medio de aditivos rejuvenecedores de asfalto.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
39	PAVIMENTOS	Sellado de grietas	Asfalto modificado	Bancos de tiro fuera del derecho de vía	Para evitar la generación acumulación de este tipo de residuos, se recomienda en la práctica de acciones sustentables su elaboración de manera pausada con sus debidas dosificaciones, ya que al ser una actividad en donde no se tiene el volumen requerido de material, entonces es recomendable su uso por fracciones, monitoreando con el avance en la actividad de mantenimiento y en su última fase se calcula la cantidad precisa para obtener la cantidad mínima de residuos o en el mejor de los casos, ningún residuo.	Aplicación de selladores con emulsiones asfálticas y polímeros reciclados como hule de llanta, caucho y también selladores elaborados del reciclaje de unicel, los cuales ya están en algunos casos aprobados y regulados por normas oficiales mexicanas.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
40	PAVIMENTOS	Construcción de subbases o bases hidráulicas	Materiales no graduados	Bancos de tiro fuera del derecho de vía	Los residuos de estas actividades son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	S.R.
41	PAVIMENTOS	Construcción de subbases o bases estabilizadoras	Materiales no graduados	Bancos de tiro fuera del derecho de vía	Los residuos de estas actividades, son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	S.R.
42	PAVIMENTOS	Construcción de bases de con mezcla de material pétreo recuperado y cemento asfaltico espumoso	En este proceso, prácticamente no existen residuos.	Bancos de tiro fuera del derecho de vía y sitios de disposición final municipales	Los residuos de estas actividades, son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
43	PAVIMENTOS	Estabilización de refuerzos de revestimiento con cloruro de calcio	Agua de lavado de mezclador (cloruro de calcio diluido)	Lavado fuera del derecho del vía en acotamientos	El agua que es utilizada para la limpieza de equipos de elaboración de mezclas de concreto, se puede reutilizar para elaborar nuevamente mezcla de concreto para trabajos diversos de conservación y mantenimiento.	S.R.
44	PAVIMENTOS	Acciones en la estabilización de lozas de concreto hidráulico	Agua de lavado de ollas (concreto diluido)	Lavado fuera del derecho del vía en acotamientos	El agua que es utilizada para la limpieza de equipos de elaboración de mezclas de concreto, se puede reutilizar para elaborar nuevamente mezcla de concreto para trabajos diversos de conservación y mantenimiento.	S.R.
45	PAVIMENTOS	Construcción de subbases y bases de concreto compactado con rodillo	Agua de lavado de ollas (concreto diluido)	Lavado fuera del derecho del vía en acotamientos	El agua que es utilizada para la limpieza de equipos de elaboración de mezclas de concreto, se puede reutilizar para elaborar nuevamente mezcla de concreto para trabajos diversos de conservación y mantenimiento.	S.R.
46	PAVIMENTOS	Construcción de carpetas y carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico	Agua de lavado de ollas (concreto diluido)	Lavado fuera del derecho del vía en acotamientos	El agua que es utilizada para la limpieza de equipos de elaboración de mezclas de concreto, se puede reutilizar para elaborar nuevamente mezcla de concreto para trabajos diversos de conservación y mantenimiento.	S.R.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
47	PAVIMENTOS	Renivelaciones locales en pavimento asfaltico y pavimentos de concreto hidráulico	Mezcla asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	Los residuos de estas actividades, son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
48	PAVIMENTOS	Capas de rodadura de un riego	Mezcla asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	Los residuos de estas actividades, son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
49	PAVIMENTOS	Capas de rodadura de granulometría abierta	Mezcla asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	Los residuos de estas actividades, son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
50	PAVIMENTOS	Carpeta asfáltica de granulometría densa	Mezcla asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	Los residuos de estas actividades, son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
51	PAVIMENTOS	Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo sma y casaa	Mezcla asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	Los residuos de estas actividades, son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
52	PAVIMENTOS	Bacheo superficial	Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	De acuerdo a las características de desgaste, este material almacenado puede someterse a un proceso de trituración y cribado con el que posteriormente puede reciclarse para reciclarse en la elaboración de mezclas asfálticas en frío por medio de aditivos rejuvenecedores de asfalto.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
53	PAVIMENTOS	Capas de rodadura de mortero asfaltico	Mortero asfáltico, arena graduada	Planta de asfalto, bancos de tiro	Los residuos de estas actividades, son funcionales para elaborar capas de bases y subbases nuevamente.	S.R.
54	PAVIMENTOS	Recorte de carpetas asfálticas	Pedacería de carpeta asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	De acuerdo a las características de desgaste, este material almacenado puede someterse a un proceso de trituración y cribado con el que posteriormente puede reciclarse para reciclarse en la elaboración de mezclas asfálticas en frío por medio de aditivos rejuvenecedores de asfalto.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
55	PAVIMENTOS	Recuperación en caliente de carpetas asfálticas	Pedacería de carpeta asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	De acuerdo a las características de desgaste, este material almacenado puede someterse a un proceso de trituración y cribado con el que posteriormente puede reciclarse para reciclarse en la elaboración de mezclas asfálticas en frío por medio de aditivos rejuvenecedores de asfalto.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
56	PAVIMENTOS	Recuperación en frio de pavimento asfaltico	Pedacería de carpeta asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	De acuerdo a las características de desgaste, este material almacenado puede someterse a un proceso de trituración y cribado con el que posteriormente puede reciclarse para reciclarse en la elaboración de mezclas asfálticas en frío por medio de aditivos rejuvenecedores de asfalto.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
57	PAVIMENTOS	Recorte de pavimentos	Pedacería de carpeta asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	De acuerdo a las características de desgaste, este material almacenado puede someterse a un proceso de trituración y cribado con el que posteriormente puede reciclarse para reciclarse en la elaboración de mezclas asfálticas en frío por medio de aditivos rejuvenecedores de asfalto.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.
58	PAVIMENTOS	Bacheo profundo	Pedacería de carpeta asfáltica, agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos arcillas o limos)	Planta de asfalto, bancos de tiro	De acuerdo a las características de desgaste, este material almacenado puede someterse a un proceso de trituración y cribado con el que posteriormente puede reciclarse para reciclarse en la elaboración de mezclas asfálticas en frío por medio de aditivos rejuvenecedores de asfalto.	Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la demolición y fresado de pavimento asfáltico, estos residuos pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.

9.2.3. Puentes y estructuras

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
59	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Reposición del sello en juntas de dilatación	Junta de neopreno, pedacería de concreto	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
60	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Reposición de juntas de dilatación	Junta metálica y junta de neopreno, pedacería de concreto	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
61	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Reparación de grietas	Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
62	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Limpieza de drenes	Azolve, plásticos	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	* Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
63	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Acciones en limpieza de juntas de dilatación	Azolve, rocas pequeñas	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*Los fragmentos de roca pueden utilizarse en la conformación de terraplenes, canales de drenaje como control de erosión, filtros, agregados, muros, bases de señales, cimentaciones, escolleras (sitios cercanos al mar).
						* Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
64	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Reparación y resanes en elementos de concreto	Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra	Bancos de tiro, sitios de disposición municipales, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*Los residuos de madera se pueden utilizar para producir combustible, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora, donarse a la población cercana para su aprovechamiento; cuando es una cantidad limitada se pueden dejar en un sitio específico para fomentar hábitats de fauna y flora (mantillo y troncos huecos), fabricación de tableros de fibra. En el caso de árboles éstos se pueden destinar a la fabricación de muebles.
						*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
65	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Acciones en limpieza y reparación de parapetos, banquetas y camellones	Pedacería de concreto, varilla, malla metálica, cimbra, fragmentos de rocas, madera	Bancos de tiro, sitios de disposición municipales, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*Los residuos de madera se pueden utilizar para producir combustible, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora, donarse a la población cercana para su aprovechamiento; cuando es una cantidad limitada se pueden dejar en un sitio específico para fomentar hábitats de fauna y flora (mantillo y troncos huecos), fabricación de tableros de fibra. En el caso de árboles éstos se pueden destinar a la fabricación de muebles. *El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal). *Los fragmentos de roca pueden utilizarse en la conformación de terraplenes, canales de drenaje como control de erosión, filtros, agregados, muros, bases de señales, cimentaciones, escolleras (sitios cercanos al mar).

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
66	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Calafateo de fisuras	Polvo de concreto, pedacería de concreto, sellador epóxico	Bancos de tiro, sitios de disposición municipales.	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
67	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Limpieza de pilas, cunas, estribos y aleros	Agua con polvo de asfalto y caucho	Evaporación natural en el derecho de vía	S.R.	N.A.
68	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Remoción de carpeta asfáltica en puentes	Mezcla asfáltica, pedacería de carpeta asfáltica	Planta de asfalto, bancos de tiro	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.

9.2.4. Túneles

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor Práctica
87	TALUDES	Zampeado en cortes a poca altura	Boleos, rocas pequeñas	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Boleos producto de los mismos macizos rocosos en taludes, son susceptibles a utilizarse como material para elaboración de muros alcancía, zampeados de mampostería o rellenos de mampostería para bermas en taludes.	Con el tratamiento adecuado (trituración) el material de escombro puede ser empleado como agregados en el concreto.
88	TALUDES	Afine y retiro de material en cortes intemperizados	Boleos, rocas pequeñas	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Si se considera la trituración de estos residuos, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para elaboración de mezclas de concreto hidráulico, con el fin de aprovecharlos en la misma infraestructura carretera, como obras de drenaje o anclaje de señalamiento vertical.	Los fragmentos de roca se pueden esparcir sobre el terreno, estimulando los procesos de meteorización y aumentando sensiblemente la cantidad de GyCEI atmosférico capturado.
89	TALUDES	Arrope de taludes	Boleos, rocas pequeñas	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Boleos producto de los mismos macizos rocosos en taludes, son susceptibles a utilizarse como material para elaboración de muros alcancía, zampeados de mampostería o rellenos de mampostería para bermas en taludes.	Proceso de trituración de agregados para la producción de concreto.
90	TALUDES	Construcción de muros gaviones o muros alcancía	Boleos, rocas pequeñas, malla ciclónica, alambrón	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Respecto a la malla ciclónica u alambrón una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y depósito en centros de recolección especializados de chatarra, papel, cartón, aluminio, plástico. Etc. cercanos a la autopista.	Los boleos y rocas pueden ser usadas como refuerzo de suelos, en alguna técnica como columnas de grava,

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor Práctica
91	TALUDES	Estabilización de taludes por medio de concreto lanzado	Macizos rocosos, boleos, algunas raíces y plantas	Bancos de tiro fuera del derecho de vía y sitios de disposición final municipales	Boleos producto de los mismos macizos rocosos en taludes, son susceptibles a utilizarse como material para elaboración de muros alcancía, zampeados de mampostería o rellenos de mampostería para bermas en taludes.	Los boleos y fragmentos pueden ser empleada como cobertura del suelo con fines preventivos en diseños civiles. Las raíces y plantas pueden funcionar como post+acondicionamiento adecuado para para evaluar los efectos del condicionamiento con minerales suplementarios sobre el crecimiento de la vegetación y parámetros ambientales.
92	TALUDES	Relleno con material de banco en corte o terraplén	Algunas raíces y plantas	Bancos de tiro, sitios de disposición municipales fuera del derecho de vía	Elaboración de composta en terrenos cerca de las casetas de cobro (en caso de que existan en la autopista). Este material de composta se reutilizaría en las áreas verdes de casetas o donarlas en zonas de cultivo aledañas a la autopista.	Práctica alternativa: Conformación de Madrigueras artificiales.
93	TUNELES	Reposición de drenes y longitudinales	Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	La pedacería de concreto puede ser valorada para su trituración y rehúso en mezclas no estructurales.	La pedacería de concreto permite la reutilización in situ, o para aplicaciones fuera del sitio, como terraplenes, bases de carreteras, obras de relleno, materiales de valor añadido, recuperación de vegetación materiales y trabajos de paisajismo. O bien como recursos de valor agregado para otras industrias cuando es procesado, como ladrillo, adoquín y producción de revestimientos.
94	TUNELES	Reparación del sistema de ventilación	Refacciones de equipo de ventilación, envases de aire comprimido	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Estos residuos podrían separarse, agruparse y buscar algún centro de acopio centro de venta.	Se puede incrementar la tasa de recuperación de aluminio, con políticas públicas enfocadas en el desarrollo y fortalecimiento del reciclaje, para su adecuada recolección y separación.
95	TUNELES	Limpieza de paredes y bóvedas	Agua con polvo de asfalto y caucho	Evaporación natural en el derecho de vía	S.R.	S.R.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor Práctica
96	TUNELES	Relleno de oquedades	Pedacería de concreto, malla electrosoldada	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Reusó como agregados gruesos de concreto, uso por ejemplo en revestimiento.	S.R.
97	TUNELES	Acciones en la impermeabilización de revestimientos	Riego de sello	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Aplicación de impermeabilizantes como poliureas, impermeabilizantes fabricados de reciclaje de caucho o neumáticos y de reciclaje de unicel.	Los revestimientos de poliurea no contienen COV o disolventes y no son tóxicos. Ellos son capaces de soportar la expansión y contracción del sustrato causada por los severos ciclos climáticos anuales, reducen los costos de mantenimiento y tiempos de inactividad, y se pueden aplicar en una amplia gama de temperaturas.
98	TUNELES	Reparación del sistema de iluminación	Lámparas, focos	Sitios de disposición final municipales y empresas de manejo de residuos eléctricos especializadas	Sitios de disposición final municipales y empresas de manejo de residuos eléctricos especializadas	Separación y recolección adecuada, exponiendo que la recuperación y aprovechamiento de elementos, basados principalmente en el hierro, el cobre, el aluminio y el oro.

9.2.5. Obras de drenaje y complementarias

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
9	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparación de Colectores	Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
10	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparaciones mayores de Colectores	Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
11	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparación de Registros	Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
12	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reposición Registros	Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
13	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparación de Subdrenes y geodrenes	Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
		Reposición Aislada de subrenes y geodrenes				*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
14	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparaciones mayores de Subdrenes y geodrenes	Pedacería de concreto, malla, tubo de concreto o PVC	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
		Reposición de Subdrenes y geodrenes				*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
15	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Limpieza de Registros	Azolve, plásticos	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	* Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
16	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Limpieza de Subdrenes y geodrenes	Azolve, plásticos	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	* Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
17	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Limpieza de Alcantarillas	Azolve, plásticos (PET), padecería de llantas, papel, cartón, vegetación	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*Los residuos de madera se pueden utilizar para producir combustible, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora, donarse a la población cercana para su aprovechamiento; cuando es una cantidad limitada se pueden dejar en un sitio específico para fomentar hábitats de fauna y flora (mantillo y troncos huecos), fabricación de tableros de fibra. En el caso de árboles éstos se pueden destinar a la fabricación de muebles.
						* La capa orgánica y material vegetal se pueden utilizar en labores de empradización, revegetación y conformación de taludes, material de cubrición intermedio en escombreras, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora.
						*La tierra o material común puede utilizarse en la conformación de terraplenes y taludes, material de cubrición en rellenos sanitarios y escombreras.
						*Los fragmentos de roca pueden utilizarse en la conformación de terraplenes, canales de drenaje como control de erosión, filtros, agregados, muros, bases de señales, cimentaciones, escolleras (sitios cercanos al mar).
						* Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
						*El vidrio se puede reciclar para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto (polvo de vidrio).
						*Las llantas se pueden utilizar para mejorar las propiedades de pavimentos flexibles, como aglutinante para la rehabilitación de pavimentos, mejora de suelos expansivos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
18	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Limpieza de Lavaderos	Azolve, plásticos (PET), padecería de llantas, papel, cartón, vegetación roca, pedazos de madera, ramas de árboles	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*Los residuos de madera se pueden utilizar para producir combustible, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora, donarse a la población cercana para su aprovechamiento; cuando es una cantidad limitada se pueden dejar en un sitio específico para fomentar hábitats de fauna y flora (mantillo y troncos huecos), fabricación de tableros de fibra. En el caso de árboles éstos se pueden destinar a la fabricación de muebles.
						* La capa orgánica y material vegetal se pueden utilizar en labores de empradización, revegetación y conformación de taludes, material de cubrición intermedio en escombreras, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora.
						*La tierra o material común puede utilizarse en la conformación de terraplenes y taludes, material de cubrición en rellenos sanitarios y escombreras.
						*Los fragmentos de roca pueden utilizarse en la conformación de terraplenes, canales de drenaje como control de erosión, filtros, agregados, muros, bases de señales, cimentaciones, escolleras (sitios cercanos al mar).
						* Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
						*El vidrio se puede reciclar para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto (polvo de vidrio).
						*Las llantas se pueden utilizar para mejorar las propiedades de pavimentos flexibles, como aglutinante para la rehabilitación de pavimentos, mejora de suelos expansivos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
19	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Limpieza de Canales	Azolve, plásticos, roca, pedazos de madera, ramas de árboles, vegetación	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*Los residuos de madera se pueden utilizar para producir combustible, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora, donarse a la población cercana para su aprovechamiento; cuando es una cantidad limitada se pueden dejar en un sitio específico para fomentar hábitats de fauna y flora (mantillo y troncos huecos), fabricación de tableros de fibra. En el caso de árboles éstos se pueden destinar a la fabricación de muebles.
						* La capa orgánica y material vegetal se pueden utilizar en labores de empradización, revegetación y conformación de taludes, material de cubrición intermedio en escombreras, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora.
						*La tierra o material común puede utilizarse en la conformación de terraplenes y taludes, material de cubrición en rellenos sanitarios y escombreras.
						*Los fragmentos de roca pueden utilizarse en la conformación de terraplenes, canales de drenaje como control de erosión, filtros, agregados, muros, bases de señales, cimentaciones, escolleras (sitios cercanos al mar).
						* Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
						*El vidrio se puede reciclar para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto (polvo de vidrio)

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
20	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Limpieza de Colectores	Azolve, plásticos, roca, pedazos de madera, ramas de árboles, vegetación	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*Los residuos de madera se pueden utilizar para producir combustible, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora, donarse a la población cercana para su aprovechamiento; cuando es una cantidad limitada se pueden dejar en un sitio específico para fomentar hábitats de fauna y flora (mantillo y troncos huecos), fabricación de tableros de fibra. En el caso de árboles éstos se pueden destinar a la fabricación de muebles. * La capa orgánica y material vegetal se pueden utilizar en labores de empradización, revegetación y conformación de taludes, material de cubrición intermedio en escombreras, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora. *La tierra o material común puede utilizarse en la conformación de terraplenes y taludes, material de cubrición en rellenos sanitarios y escombreras. *Los fragmentos de roca pueden utilizarse en la conformación de terraplenes, canales de drenaje como control de erosión, filtros, agregados, muros, bases de señales, cimentaciones, escolleras (sitios cercanos al mar). * Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes. *Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos. *El vidrio se puede reciclar para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto (polvo de vidrio)

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
21	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Limpieza de Bordillos Limpieza de vados, obras especiales de control y protección	Vegetación (matas)	Bancos de tiro fuera del derecho de vía y sitios de disposición final municipales	Elaboración de composta en terrenos cerca de las casetas de cobro (en caso de que existan en la autopista). Este material de composta se reutilizaría en las áreas verdes de casetas o donarlas en zonas de cultivo aledañas a la autopista.	* La capa orgánica y material vegetal se pueden utilizar en labores de empradización, revegetación y conformación de taludes, material de cubrición intermedio en escombreras, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora.
22	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparaciones mayores de Bordillos	Pedacería de concreto, varilla (armex)	Bancos de tiro, sitios de disposición municipales, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
23	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Limpieza de Cunetas y contracunetas	Azolve, plásticos (PET), padecería de llantas, papel, cartón, vegetación, fragmentos de roca	Disposición en bancos de desperdicio aprobados.	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*Los residuos de madera se pueden utilizar para producir combustible, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora, donarse a la población cercana para su aprovechamiento; cuando es una cantidad limitada se pueden dejar en un sitio específico para fomentar hábitats de fauna y flora (mantillo y troncos huecos), fabricación de tableros de fibra. En el caso de árboles éstos se pueden destinar a la fabricación de muebles.
						* La capa orgánica y material vegetal se pueden utilizar en labores de empradización, revegetación y conformación de taludes, material de cubrición intermedio en escombreras, producción de mulch para paisajismo, compostaje, lombricultora.
						*La tierra o material común puede utilizarse en la conformación de terraplenes y taludes, material de cubrición en rellenos sanitarios y escombreras.
						*Los fragmentos de roca pueden utilizarse en la conformación de terraplenes, canales de drenaje como control de erosión, filtros, agregados, muros, bases de señales, cimentaciones, escolleras (sitios cercanos al mar).
						* Los limos y arcillas del azolve se pueden utilizar en revestimientos de humedales, estanques de sedimentación, revestimiento de pendientes.
						*Los plásticos se pueden utilizar en la producción de betún modificado para la construcción de pavimentos.
						*El vidrio se puede reciclar para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto (polvo de vidrio).
						*Las llantas se pueden utilizar para mejorar las propiedades de pavimentos flexibles, como aglutinante para la rehabilitación de pavimentos, mejora de suelos expansivos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
24	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparación de Cunetas y contracunetas	Pedacería de concreto, malla electrosoldada	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
25	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparaciones mayores de Cunetas y contracunetas	Pedacería de concreto, malla electrosoldada	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
26	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparación de Lavaderos	Pedacería de concreto, malla electrosoldada	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
27	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparaciones mayores de Lavaderos	Pedacería de concreto, malla electrosoldada	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
28	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparación de Bordillos, Guarniciones y vados	Pedacería de concreto, malla electrosoldada	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
29	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparación Alcantarillas	Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava.
						*Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo.
						*Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
30	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparaciones mayores Alcantarillas	Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).
31	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparación de Canales	Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
32	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS	Reparaciones mayores de Canales	Pedacería de concreto, malla electrosoldada, varillas de acero	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Recolectar, clasificar y almacenar de manera separada para posteriormente entregarlos a recicladores, centros de acopio o a la empresa encargada de la recolección de acuerdo a la normatividad vigente.	*El concreto se puede procesar (triturar) para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y sustituto de grava. *Fabricación de agregado recuperado (material compuesto por una mezcla de concreto, ladrillo, cerámica, roca y asfalto que han sido procesados para obtener un material diseñado, no incluye ladrillos refractarios ni asfalto que contenga alquitrán) para su uso como material de construcción de carreteras, edificaciones, paisajismo. *Elaboración de escoria mediante el refinado de metales para utilizarse en la elaboración de concreto bituminoso, pavimentos lisos o pavimentos flexibles (depende del tipo de metal).

9.2.6. Señalamientos y dispositivos de seguridad

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
69	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición de barrreras de protección	Barrera metálica de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tornillería de acero, reflejantes	Acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra).	El uso de defensas camineras viales mixtos de metal-madera introduce elementos y productos innovadores para el mejoramiento de la actual infraestructura vial. Este sistema se caracteriza por utilizar materiales y materias primas naturales renovables, con tecnología combinada -extranjera y nacional- y de muy bajo impacto en el medioambiente. Además, este tipo de barreras se destacan por incorporar conceptos de diseño, ser económicamente convenientes y estar certificadas, elevando así el nivel de seguridad para los usuarios.
70	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición total de barrreras de protección	Barrera metálica de acero galvanizado, postes de acero galvanizado tornillería de acero, reflejantes	Acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra)..	El uso de defensas camineras viales mixtos de metal-madera introduce elementos y productos innovadores para el mejoramiento de la actual infraestructura vial. Este sistema se caracteriza por utilizar materiales y materias primas naturales renovables, con tecnología combinada -extranjera y nacional- y de muy bajo impacto en el medioambiente. Además, este tipo de barreras se destacan por incorporar conceptos de diseño, ser económicamente convenientes y estar certificadas, elevando así el nivel de seguridad para los usuarios.
71	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición de indicadores para alineamiento	Pedacería de concreto, indicadores de camino (dispositivos reflejantess)	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos plásticos.	Actualmente este tipo de elementos o dispositivos pueden ser fabricados de materiales o polímeros reciclados.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
72	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición aislada de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal dple conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos plásticos.	Actualmente este tipo de elementos o dispositivos pueden ser fabricados de materiales o polímeros reciclados.
73	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición total de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	Botones, botones, pegamento bituminoso y epóxico	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos plásticos.	Actualmente este tipo de elementos o dispositivos pueden ser fabricados de materiales o polímeros reciclados.
74	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Acciones en la reposición de marcas estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura	Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plásticos, moldes de papel cartón o de madera	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra), papel o plástico, según sea el caso o tipo de residuo.	La tecnología de señalización de carreteras a base de agua tiene una gran afinidad con esferas de vidrio lo que mejora la retro-reflectividad y es resistente a la intemperie. Los beneficios incluyen la reducción de las emisiones de COV, de los residuos sólidos y del uso del agua, de la demanda química de oxígeno, del consumo de energía primaria, y de la toxicidad humana.
75	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Acciones en la reposición de líneas y marcas en el pavimento	Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plásticos, moldes de papel cartón o de madera	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra), papel o plástico, según sea el caso o tipo de residuo.	La tecnología de señalización de carreteras a base de agua tiene una gran afinidad con esferas de vidrio lo que mejora la retro-reflectividad y es resistente a la intemperie. Los beneficios incluyen la reducción de las emisiones de COV, de los residuos sólidos y del uso del agua, de la demanda química de oxígeno, del consumo de energía primaria, y de la toxicidad humana.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
76	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Acciones en la reposición de marcas en guarniciones	Costales, pintura solidificada, tambos metálicos, botes de plásticos, moldes de papel cartón o de madera	Almacenamiento en campamento de conservación para su desecho en relleno sanitario	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra), papel o plástico, según sea el caso o tipo de residuo.	La tecnología de señalización de carreteras a base de agua tiene una gran afinidad con esferas de vidrio lo que mejora la retro-reflectividad y es resistente a la intemperie. Los beneficios incluyen la reducción de las emisiones de COV, de los residuos sólidos y del uso del agua, de la demanda química de oxígeno, del consumo de energía primaria, y de la toxicidad humana.
77	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición de barreras y barreras centrales	Barrera de concreto, ganchos de sujeción de acero	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra), papel o plástico, según sea el caso o tipo de residuo.	El uso de defensas camineras viales mixtos de metal-madera introduce elementos y productos innovadores para el mejoramiento de la actual infraestructura vial. Este sistema se caracteriza por utilizar materiales y materias primas naturales renovables, con tecnología combinada -extranjera y nacional- y de muy bajo impacto en el medioambiente. Además, este tipo de barreras se destacan por incorporar conceptos de diseño, ser económicamente convenientes y estar certificadas, elevando así el nivel de seguridad para los usuarios.
78	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición total de barreras centrales de concreto hidráulico	Barrera de concreto, ganchos de sujeción de acero	Banco de tiro, sitios de disposición final fuera del derecho de vía	Si se considera la trituración de estos residuos, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para elaboración de mezclas de concreto hidráulico, con el fin de aprovecharlos en la misma infraestructura carretera, como obras de drenaje o anclaje de señalamiento vertical.	La pedacería de concreto hidráulico puede ser empleada en sub-bases en caminos y estacionamientos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
79	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición de señales verticales	Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero	Bancos de tiro, sitios de disposición municipales, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra).	Respecto al acero, este se puede separar y recolectar, con el fin de poder llevarlo a un centro de recolección para su reusó, ya que su porcentaje equivale hasta el 45% de la producción de acero nuevo. Beneficios ambientales: en la fabricación de la lámina retro-reflectante micro-prismática se utiliza un proceso innovador que minimiza el impacto ambiental. Reduce las emisiones de COV hasta 97%, consume 77% menos de energía, y genera 46% menos de residuos sólidos en comparación con el proceso de fabricación tradicional de láminas moldeadas reflectantes.
80	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición total de señalamiento vertical	Pedacería de concreto, postes de fierro galvanizado de, tornillería, placas de acero	Bancos de tiro, sitios de disposición municipales, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra).	Venta de agregado reciclado ya sea concreto o acero, ya sea de manera directa o bien por medio de proveedores. Beneficios ambientales: en la fabricación de la lámina retro-reflectante micro-prismática se utiliza un proceso innovador que minimiza el impacto ambiental. Reduce las emisiones de COV hasta 97%, consume 77% menos de energía, y genera 46% menos de residuos sólidos en comparación con el proceso de fabricación tradicional de láminas moldeadas reflectantes.
81	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Limpieza de dispositivos reflejantesy dispositivos reflejantes	Agua con polvo de asfalto y caucho	Evaporación natural en el derecho de vía	S.R.	Si el agua es recolectada y se filtra para obtención de asfalto y caucho se puede crear asfalto con polvo o grano de caucho reciclado, como un producto innovador para la construcción de pavimentos.
82	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Limpieza de señales verticales	Agua con polvo de asfalto y caucho	Evaporación natural en el derecho de vía	S.R.	Si el agua es recolectada y se filtra para obtención de asfalto y caucho se puede crear asfalto con polvo o grano de caucho reciclado, como un producto innovador para la construcción de pavimentos.

No.	Elemento	Actividad	Residuos	Manejo o práctica actual	Práctica alternativa de manejo	Mejor práctica
83	PUENTES Y ESTRUCTURAS	Limpieza de barreras y barreras centrales	Agua con polvo de asfalto y caucho	Evaporación natural en el derecho de vía	S.R.	Si el agua es recolectada y se filtra para obtención de asfalto y caucho se puede crear asfalto con polvo o grano de caucho reciclado, como un producto innovador para la construcción de pavimentos.
84	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico	Pedacería de concreto	Planta de asfalto, bancos de tiro	Si se considera la trituración de estos residuos, pueden ser reutilizados como agregados pétreos para elaboración de mezclas de concreto hidráulico, con el fin de aprovecharlos en la misma infraestructura carretera, como obras de drenaje o anclaje de señalamiento vertical.	Con el tratamiento adecuado (trituración) el material de escombro puede ser empleado como agregados en el concreto.
85	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reposición de malla antideslumbrante (50 cm.) en barrera central	Malla antideslumbrante, alambre galvanizado, tubular de acero	Planta de asfalto, bancos de tiro, acopio temporal en derecho de vía y envío a chatarreras	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra).	Existen vallas antideslumbrantes fabricado con Polietileno reciclado.
86	SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	Reparación y reposición de dispositivos diversos	Reflejantes	Sitios de disposición final municipales y empresas de manejo de residuos eléctricos especializadas	Dentro de las prácticas ambientales para este tipo de residuos es que una vez almacenado, se programe con el mismo personal de conservación de la autopista, su retiro y traslado para su venta o donación en depósito en centros de recolección de reciclaje de residuos metálicos (chatarra).	Separador de carril, en caucho reciclado con bandas blancas reflectantes.

9.3. Anexo 3. Clasificación de residuos por categoría normativa

Estructura	Rubro de la Tabla	Residuo de Manejo Especial	Plan de Manejo	Manejo Actual
Derecho de vía	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Alambre de púas	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Postes de concreto	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos sólidos de Plástico	Cepillo de barredora	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
		Pedacearía de llantas		
	Residuos sólidos de Vidrio	Botellas de vidrio		
	Residuos sólidos de Papel y cartón	Cartón		
	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Latas de aluminio		
	Residuos sólidos de Plástico	Plásticos (PET)		
	Biorresiduos Animal	Residuos orgánicos animales (animales producto de atropellamientos)	NOM-161 VII.	Envío a campamento para relleno sanitario
	Biorresiduos Vegetal	Ramas		
		Troncos		
		Vegetación de diferentes especies (plantas, arbustillos, pastizales, matas, Etc.)		

Estructura	Rubro de la Tabla	Residuo de Manejo Especial	Plan de Manejo	Manejo Actual
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Concreto diluido	NOM-161 VII.	Lavado fuera del derecho de vía
		Bloques y cedacería de concreto		Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Barras de concreto		
		Pedacería de concreto		
		Polvo de concreto		
		Mezcla de concreto		
	Residuos de Construcción de pavimentos	Mezcla asfáltica		
		Agregados para bases y subbases (materiales pétreos, gravas, finos)		
		Asfalto modificado		
		Pedacería de carpeta asfáltica		
		Carpeta asfáltica granulada		
	Residuos sólidos de Plástico	Cordón de poliuretano o polietileno		Envío a campamento para relleno sanitario
	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Recorte de varilla de acero		Envío a campamento para acopio y venta
		Alambre		
		Varilla de acero		
	Biorresiduos- Vegetal	Vegetación (pastizales, matas)	NOM-161 VII.	Envío a campamento para relleno sanitario
	Residuos sólidos de Vidrio	Botellas de vidrio	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	
	Residuos sólidos de Papel y cartón	Cartón		
	Residuos sólidos de Plástico	Cepillo de barredora		
		Envolturas		
		Plásticos (PET)		
	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Latas de aluminio		

Estructura	Rubro de la Tabla	Residuo de Manejo Especial	Plan de Manejo	Manejo Actual
Puentes y estructuras	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Junta metálica	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Varilla de acero	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Latas de aluminio	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para acopio y venta
		Malla electrosoldada	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
	Residuos de Construcción de pavimentos	Mezcla asfáltica	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Pedacería de carpeta asfáltica	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Pedacería de concreto	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Polvo de concreto	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Rocas pequeñas	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Sellador epóxico	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Azolve	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos sólidos de Vidrio	Botellas de vidrio	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
	Biorresiduos Vegetal	Cimbra de madera	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario

Estructura	Rubro de la Tabla	Residuo de Manejo Especial	Plan de Manejo	Manejo Actual
Puentes y estructuras	Residuos sólidos de Plástico	Envolturas	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
		Juntas de neopreno	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
		Plásticos (PET)	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos sólidos de Papel y cartón	Saco de papel para cemento	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Barrera de concreto	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Pedacería de concreto	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Barrera metálica de acero galvanizado	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Alambre	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Reflejantes	NOM-161 VII.	Envío a campamento para relleno sanitario
		Ganchos de sujeción de acero	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Placas de acero	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Postes de acero galvanizado tornillería de acero	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Postes de fierro	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Tornilleía	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Tubulares de acero	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Botones	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario

Estructura	Rubro de la Tabla	Residuo de Manejo Especial	Plan de Manejo	Manejo Actual
Puentes y estructuras	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Tambos metálicos	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
	Residuos sólidos de Plástico	Botones	NOM-161 VII.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Saco de plástico para microesfera	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Indicador de camino	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Botes de plástico	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
	Biorresiduos Vegetal	Moldes de madera	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
	Residuos sólidos de Papel y cartón	Caja de cartón para dispositivos reflejanteso botones	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
		Moldes de papel o cartón	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
		Saco de papel para cemento	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
			NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Depósito en tiro fuera del derecho de vía
Túneles	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Malla electrosoldada	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Varilla de acero		
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Pedacería de concreto		Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Tubo de concreto		
	Residuos de Construcción de pavimentos	Riego de sello		
	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Envases de aire comprimido	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
	Residuos sólidos de Plástico	Refacciones de equipo de ventilación		
		Tubo de PVC		

Estructura	Rubro de la Tabla	Residuo de Manejo Especial	Plan de Manejo	Manejo Actual
Obras de drenaje	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Malla electrosoldada	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
	Residuos de Construcción de Metal y chatarra			
	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Pedacería de concreto		Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados			
	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Recorte de varilla de acero		Envío a campamento para acopio y venta
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Tubo de concreto		Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos sólidos de Plástico	Tubo de PVC		Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Biorresiduos Vegetal	Vegetación (matas)		Envío a campamento para relleno sanitario
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Azolve		Depósito en tiro fuera del derecho de vía
	Residuos sólidos de Vidrio	Botellas de vidrio	NOM-161. Fracc. VIII. inciso c.	Envío a campamento para relleno sanitario
	Residuos sólidos de Metal y chatarra	Latas de aluminio		
	Residuos sólidos de Plástico	Pedacería de llantas		
		Envolturas		
		Plásticos (PET)		
	Residuos sólidos de Papel y cartón	Cartón		
		Saco de papel para cemento		
Taludes	Residuos de Construcción de Metal y chatarra	Alambrón	NOM-161 VII.	Envío a campamento para acopio y venta
		Malla ciclónica		Envío a campamento para acopio y venta
	Residuos de Construcción de Concretos y/o agregados	Macizos rocosos		Depósito en tiro fuera del derecho de vía
		Boleos y rocas		
	Biorresiduos Vegetal	Raíces y plantas		Envío a campamento para relleno sanitario