



PERÚ

Ministerio
de Economía y Finanzas

Viceministerio
de Economía

Dirección General
de Inversión Pública

Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras



Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras

Ministerio de Economía y Finanzas

Dirección General de Inversión Pública-DGIP

Dirección de Proyectos de Inversión Pública

Dirección de Política y Estrategias de Inversión Pública

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-02690

Primera edición

1000 ejemplares

Impresión:

Servicios Gráficos JMD s.r.l.

Av. José Gálvez 1549 - Lince

Febrero de 2015

La publicación de este documento ha sido posible gracias al apoyo del Proyecto Mejoramiento de la Gestión de la Inversión Pública Territorial, Contrato de préstamo N° 2703/OC-PE.

Banco Interamericano de Desarrollo.



Contenido

Introducción	5
Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos en la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública de Carreteras	7
1. Conceptos iniciales	11
1.1 Componentes de la infraestructura de un camino	11
1.2 Pavimento	13
1.2.1 Concepto	13
1.2.2 Tipos de pavimentos	14
1.3 Clasificación de caminos por tipo de superficie de rodadura	15
1.4 Caminos con pavimentos económicos (Soluciones básicas)	16
1.5 Estabilización química de suelos	17
1.6 Redes viales	21
1.7 Tráfico vehicular	22
1.8 Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP)	24
2. Alternativas tecnológicas de pavimentación	27
2.1 Consideraciones generales a tener en cuenta en la selección de alternativas de pavimentación	28
2.2 Descripción y características de tecnologías de pavimentación	30
2.2.1 Descripción	30
2.2.2 Características tecnológicas de pavimentación	31

2.3	Utilización de materiales tratados o estabilizados en pavimentos	61
2.4	Metodologías de diseño de pavimentos	67
2.4.1	Afirmado	67
2.4.2	Pavimento flexible	72
2.5	Tecnologías de pavimentación (Soluciones Básicas) según zona geográfica	91
2.6	Ventajas y desventajas de las tecnologías de pavimentación por zonas geográficas	92
2.7	Protocolo de aplicación de soluciones básicas ¹ en caminos no pavimentados	92
3.	Análisis de alternativas en el marco de un PIP en el SNIP	103
3.1	Recomendación para el uso de tecnologías de pavimentos económicos en un PIP en el marco del SNIP	105
3.2	Planteamiento y análisis de tecnologías de pavimentación en el módulo de formulación	106
3.3	Evaluación de tecnologías de pavimentación en un PIP	107

1 Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



Introducción


En el marco del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) es posible definir aspectos específicos para algunos tipos de Proyectos de Inversión Pública (PIP). En el caso del sector transportes, específicamente en proyectos viales, se ha detectado la necesidad de brindar pautas metodológicas que sirvan de orientación a los formuladores de proyectos de inversión pública sobre las alternativas adecuadas en tecnologías de pavimentos en proyectos viales. De esta manera se busca cumplir con los requerimientos mínimos de calidad que deben tener los estudios de preinversión a nivel de perfil correspondientes a dichos PIP, ya que actualmente los lineamientos generales dados por el SNIP y los términos de referencia existentes en el sector, se interpretan de forma general, en cuanto a las exigencias y contenidos de dichos estudios. Esta práctica ha originado en la mayoría de los casos observaciones por parte de la OPI, lo cual lleva a consumir recursos y tiempo en su levantamiento.

El presente documento sobre Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos, presenta orientaciones para la consideración de alternativas tecnológicas de pavimentos en carreteras de mediano y bajo tráfico, a nivel de preinversión, especialmente en el planteamiento de aquellas tecnologías denominadas soluciones básicas o pavimentos económicos, que representan menores costos de inversión y mantenimiento que los pavimentos tradicionales empleados en carreteras de alto volumen de tráfico vehicular y que han venido aplicándose hace algunos años en nuestro país.

Cabe señalar que el planteamiento de alternativas de pavimentos económicos está supeditado a carreteras de importancia local o provincial y que requieran un mejoramiento del nivel de servicio, ya sea por su rol articulador o estratégico dentro de la red vial o por la capacidad de generar actividades económicas en su área de influencia y ello traducirse en tráfico generado. Su aplicación en el marco de un proyecto de inversión pública de caminos ya sea de mejoramiento, recuperación o creación, quedará supeditado a los resultados de la evaluación social que se efectúe en el estudio de perfil respectivo.

En el primer capítulo, se presentan conceptos generales sobre pavimentos y aspectos complementarios. En el segundo capítulo, se presentan alternativas tecnológicas de

pavimentación, su descripción y características, así como los denominados pavimentos económicos o soluciones básicas para carreteras de mediano y bajo tráfico. Finalmente en el tercer capítulo, se dan pautas para su tratamiento en el marco del SNIP.





Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos en la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública en Carreteras

Ante la creciente demanda por intervenciones de mejoramiento de vías no asfaltadas, han surgido en los últimos años en nuestro país, alternativas de pavimentación de bajo costo mediante la aplicación de suelos estabilizados con productos químicos en carpetas de rodadura de caminos de bajo y mediano nivel de tráfico. A estas soluciones se les denominó "soluciones básicas" o típicamente pavimentos económicos.

La aplicación de estas alternativas nuevas, se ha efectuado, por lo general, bajo un enfoque de intervención en la vía concentrada, básicamente en el mejoramiento del nivel de servicio de la superficie de rodadura acompañada de actuaciones sectorizadas en cuanto a correcciones de la geometría del camino, así como el tratamiento adecuado de obras de drenaje y de arte, y aspectos de seguridad vial.

Desde el punto de vista técnico, el empleo de estabilizadores de suelos adecuados para superficies de rodadura en caminos no pavimentados, permite mejorar las condiciones de transitabilidad del camino (nivel de servicio), evitando su deterioro acelerado, permitiendo ampliar los tiempos de mantenimiento periódico y, con ello, incrementar la vida útil del pavimento.

Desde el punto de vista económico, las soluciones básicas, implican un mayor nivel de inversión por la incorporación de un estabilizador al material conformante de la capa de rodadura, más aún si se coloca un recubrimiento bituminoso. Dichos mayores costos iniciales, se pueden revertir por los menores costos de las actividades de mantenimiento, mayores periodos de operación del camino (en épocas de lluvia), así como por los mayores beneficios generados a los usuarios del camino. Dichos aspectos deben ser considerados en la evaluación social del proyecto.

Entre las aplicaciones empleadas en pavimentos económicos (soluciones básicas) se encuentran productos estabilizantes como sales, cal, cemento, emulsiones, productos químicos, enzimas, etc. En los casos que fue necesario evitar su disgregación por la presencia de tráfico pesado, se aplicó una capa delgada de protección (lechada asfáltica, tratamientos superficiales, etc.).

Considerando que las tecnologías denominadas pavimentos económicos o soluciones básicas representan alternativas tecnológicas para caminos de mediano y bajo tráfico, se dan en el presente documento pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública en carreteras.

A decorative graphic on a red background. In the top left, a light red curved arrow points towards the center. In the bottom left, three light red circles of increasing size are arranged diagonally.

1 Conceptos Iniciales

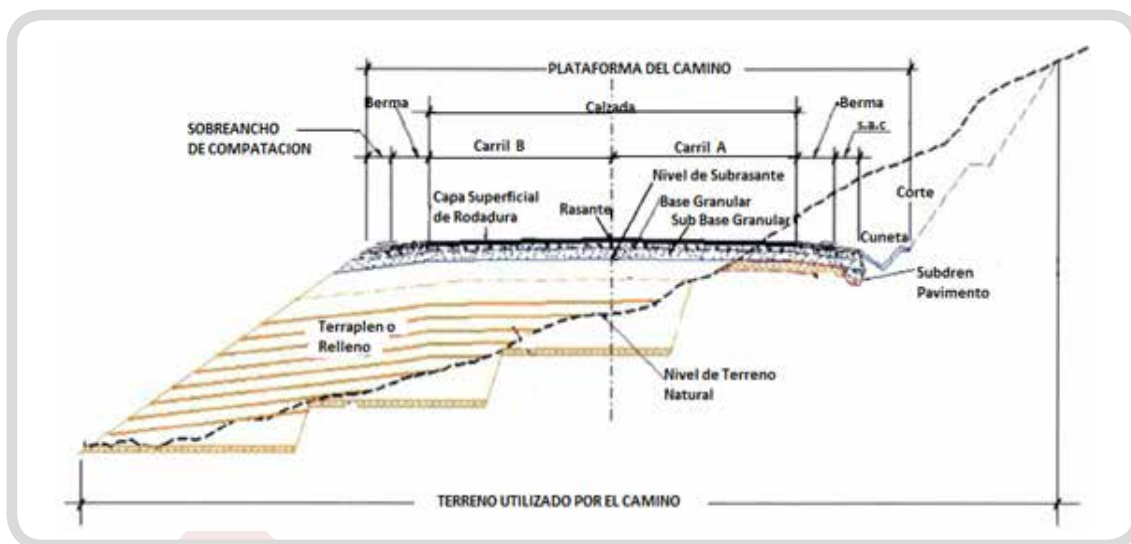


1. Conceptos Iniciales

1.1 Componentes de la infraestructura del camino

En esta sección se tratan los conceptos y criterios básicos que lleven a una mayor comprensión sobre la realidad de los pavimentos económicos en el país, así como su ámbito de aplicación.

Gráfico 1.1:
Componentes de la Infraestructura del camino



Explanación

Se denomina explanación al movimiento de tierras conformado por cortes y rellenos (terrapién), para obtener la plataforma de la carretera hasta el nivel de la subrasante del camino.

Terrapién

El terrapién es la parte de la explanación situada sobre el terreno preparado. También se le conoce como relleno.

Corte

El corte es la parte de la explanación constituida por la excavación del terreno natural hasta alcanzar el nivel de la subrasante del camino.

Rasante del camino

Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

Subrasante del camino

La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera, que se construye entre el terreno natural allanado o explanado y la estructura del pavimento.

Berma

Franja longitudinal, paralela y adyacente a la superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para el estacionamiento de vehículos en caso de emergencia.

Carril

Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

Calzada

Parte de una carretera dispuesta para la circulación de vehículos.

Superficie de rodadura

Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma.

Cuneta

Canales abiertos contruidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y subsuperficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes, a fin de proteger la estructura del pavimento.

Base

Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

Subbase

Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de base.

Pavimento

Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por capa de rodadura, base y subbase.

Afirmado

El afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas.

Subdrenaje

Obra de drenaje que tiene por finalidad deprimir la napa freática que afecta la vía por efectos de capilaridad.

Derecho de vía

Faja de terreno de ancha variable dentro de la cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva.

1.2 Pavimento

1.2.1 Concepto

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por capa de rodadura, base y subbase.

- **Capa de rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.
- **Base:** Es la capa inferior a la capa de rodadura, que sostiene, distribuye y trasmite las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante (CBR > 80%) o será tratada con asfalto, cal o cemento.
- **Subbase:** Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del

pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular (CBR > 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento.

1.2.2 Tipos de pavimento

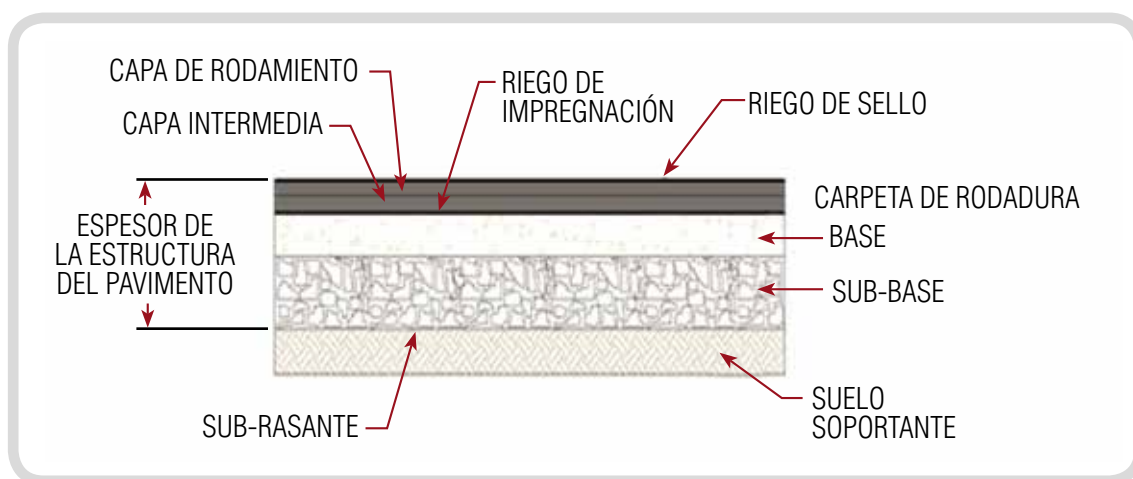
Los tipos de pavimento son los siguientes:

- Pavimentos flexibles
- Pavimentos semirrígidos
- Pavimentos rígidos

El pavimento flexible

Es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y, de ser el caso, aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

Gráfico 1.2:
Estructura de un pavimento flexible



El pavimento semirrígido

Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

El pavimento rígido

Es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivos. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

Gráfico 1.3:
Estructura de un pavimento rígido



1.3 Clasificación de caminos por tipo de superficie de rodadura

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Directoral N° 10-2014- MTC/14, de fecha 09 Abril 2014, define los siguientes tipos de caminos: no pavimentado y pavimentado.

a) **Caminos con superficie de rodadura no pavimentada.** Este grupo de caminos está conformado por:

- **Caminos de tierra**
Constituidos por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.
- **Caminos de grava** (lastrados)
Constituidos por una capa de revestimiento con material natural pétreo, seleccionados manualmente o por zarandeo de tamaño máximo de 75 mm.
- **Caminos afirmados**
Constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuestos por una combinación apropiada de tres tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo de 25 mm.

- **Caminos afirmados con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales**
 - Afirmados con grava tratada con materiales como asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.
 - Suelos naturales estabilizados con material granular y finos ligantes, asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.

b) Caminos pavimentados

Los caminos identificados como pavimentados están constituidos por una superficie de rodadura del tipo:

- **Pavimentos flexibles**
 - Compuestos por capas granulares (subbase y base drenante) y una superficie de rodadura bituminosa en frío como tratamiento superficial bicapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micropavimento en frío, macadam asfáltico, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.
 - Compuestos por capas granulares (subbase y base drenante) y una capa de rodadura bituminosa de mezcla asfáltica en caliente de espesor variable, según sea necesario.
- **Pavimentos semirrígidos**

Conformados con capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también se considera como pavimento semirrígido, la estructura compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido, también, los pavimentos adoquinados.
- **Pavimentos rígidos**

Conformados por losa de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa.

1.4 Caminos con pavimentos económicos (Soluciones básicas)

Aunque la normatividad actual no define explícitamente el concepto de 'solución básica' o 'pavimento económico', esta se refiere a alternativas técnicas, económicas y ambientales, que consisten principalmente en la aplicación de estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos y otros, posibilitando que las capas de rodadura de las carreteras no pavimentadas, tengan una mayor vida útil y presten un mejor nivel de servicio.

En este tipo de soluciones se pueden presentar los siguientes casos:

- **Caminos afirmados estabilizados sin recubrimiento**
Caminos a nivel de superficie de rodadura compuestos por afirmados estabilizados con productos químicos o caminos a nivel de superficie de rodadura con suelos estabilizados.
- **Caminos afirmados estabilizados con recubrimiento**
Caminos a nivel de superficie de rodadura compuestos por afirmados o suelos estabilizados con productos químicos, con una capa de protección bituminosa.
- **Caminos con soluciones básicas pavimentadas**
Caminos con pavimentos compuestos por capas granulares y base estabilizada, con una superficie de rodadura bituminosa en frío como: tratamiento superficial monocapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micropavimento en frío, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.

1.5 Estabilización química de suelos

La estabilización química de suelos es una tecnología de amplia data, que se basa en la aplicación de un producto químico, el cual se mezcla íntima y homogéneamente con el suelo a tratar, de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto.

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales y sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general, se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidos como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos.

Estabilizar un suelo natural consiste en mejorar sus características físicas y/o mecánicas, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros, buscando en todos los casos un buen comportamiento ante el esfuerzo y deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil.

También se emplea para estabilizar una subbase, base o material granular, para obtener un material de mejor calidad, denominándose subbase, base o material granular tratado o estabilizado.

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes, cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

Como se mencionó, el concepto de estabilización también se aplica sobre una subbase, base o material granular, que aún cumpliendo la condición de tener un determinado valor de CBR, se estabilizará para obtener un material de mejor calidad con un menor espesor de capa. Por lo general, la aplicación de este criterio es para los caminos donde se presente un considerable tráfico pesado o incluso en sectores con tráfico menor, pero cuyas condiciones ameriten su ejecución como, por ejemplo, escasez o cuando no se disponen de materiales de subbase o base, elevados costos de transporte y tratamiento de chancado para la base, etc.

Existen diferentes metodologías de estabilización, sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos constructivos de prueba que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible.

Los aditivos estabilizadores se pueden agrupar de la siguiente manera:

Cuadro 1.1:
Clasificación de aditivos estabilizadores

Absorbentes de agua	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Cloruro de magnesio
Derivados del petróleo	Emulsión asfáltica Líquidos asfálticos Emulsiones de asfalto modificado
No derivados del petróleo	Grasa de animales Lignosulfatos Melaza-azúcar de beterraga Emulsiones de aceite de tallos Aceites vegetales
Electroquímicos	Enzimas Productos iónicos Aceite sulfonatos
Polímeros sintéticos	Acetato polivinílico Vinil acrílico
Aditivos de arcilla	Bentonita Montmorillonita
Cementantes	Cemento Cal Cenizas

Fuente: MTC – Dirección de Estudios Especiales.

Respecto al interés en el país de utilizar estabilización de suelos, cabe señalar que en una primera etapa, entre 1995-2006, la inquietud de utilizar estabilizadores químicos surgió de la necesidad de probar la eficacia de algunos productos químicos que se ofrecían en el mercado, efectuándose ensayos tanto en laboratorio como en campo, mediante tramos de prueba para validar su aplicación. El seguimiento efectuado en ese entonces por la Oficina de Control de Calidad² y luego por la Oficina de Apoyo Tecnológico (OAT), consistía en evaluaciones trimestrales de las pruebas de campo.

A finales del año 2003 el MTC - DGCyF, mediante Resolución Ministerial N°062-2003MTC/02 conforma un grupo de trabajo denominado Comisión Técnica para tratar la problemática sobre estabilizadores de suelos.

En junio del 2003 la Comisión emite la Directiva N°05-2003-MTC/14, la cual estipula las pautas para Evaluar la Aplicabilidad de Estabilizadores de Suelos y que fue aprobada con Resolución Directoral N°040-2003-MTC/14. En marzo del 2004 mediante Resolución Directoral N°007-2004-MTC/14, se aprueba la Norma MTCE 1109 sobre estabilizadores químicos de suelos.

Dentro de los alcances de la Directiva N°005-2003-MTC/14 está la de evaluar el comportamiento de los estabilizadores en tramos de prueba mediante monitoreos periódicos durante un año después de aplicados, así como mediante ensayos de laboratorio, labor que estaba a cargo de la OAT (Oficina de Apoyo Tecnológico del MTC).

En el año 2007, el MTC presentó el Plan de Desarrollo Vial 'Proyecto Perú', que proponía intervenciones de distintos niveles en los principales ejes viales del país. En el caso de vías no asfaltadas, donde no eran posibles la aplicación de proyectos de inversión de mejoramiento tradicionales, propuso intervenciones a nivel de mantenimiento periódico, cuya política consistía en mejorar la superficie de rodadura de las vías mediante la aplicación de bases estabilizadas (en un inicio con emulsión asfáltica) y con una capa de protección o recubrimiento bituminoso. A estas soluciones se denominó 'soluciones básicas' o pavimentos económicos.

Este enfoque supone una fase inicial de intervención en la vía (conservación) que sin cambiar su geometría y ancho del camino, la intervención se limitaba a la aplicación de pavimentos económicos en la superficie de rodadura, lo cual permitiera promover la circulación en la vía. La segunda fase supondría la uniformización de anchos y una tercera fase cuando exista suficiente tráfico la obra definitiva.

2 Oficina de Control de Calidad de la Dirección General de Caminos del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

Primera fase de intervención:

- Reconformación de obras de arte.
- Reconformación de base existente.
- Colocación de base estabilizada.
- Colocación de recubrimiento bituminoso.
- Señalización horizontal, vertical y elementos de protección vial.
- Habilitación de islas de estacionamiento.

Foto 1.1:
Carretera Cañete - Lunahuaná- Chupaca
Pavimento económico: Afirmado / Grava estabilizada con emulsión / Slurry Seal



Foto 1.2:
Carretera: Vía de acceso al centro arqueológico de Caral
Aplicación de sales en una vía afirmada para mejorar la superficie de rodadura



Foto 1.3:
Carretera vecinal: La Joya - Infierno (Madre De Dios)
Aplicación de estabilizadores de suelo en la selva



1.6 Redes viales

Se considera red vial a toda superficie terrestre, pública o privada, por donde circulan peatones y vehículos, que está señalizada y bajo jurisdicción de las autoridades nacionales y/o provinciales, responsables de la aplicación de las leyes de tránsito, a través de las cuales podemos lograr establecer relaciones comerciales entre productores y consumidores, entre vendedores y compradores y entre los diferentes pueblos.

- **Red vial nacional.-** Corresponde a las carreteras de interés nacional, conformadas por los principales ejes longitudinales y transversales, que constituyen la base del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Sirve como elemento receptor de las carreteras departamentales o regionales y de las carreteras vecinales o rurales.
- **Red vial departamental o regional.-** Conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito de un gobierno regional. Articula básicamente a la red vial nacional con la red vial vecinal o rural.
- **Red vial vecinal o rural.-** Conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito local, cuya función es articular las capitales de provincia con capitales de distrito, estos entre sí, con centros poblados o zonas de influencia local y con las redes viales nacional y departamentales o regionales.

Gráfico 1.4: Red vial



1.7 Tráfico vehicular

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino.

En lo que corresponde a la sección de suelos y pavimentos de este manual, la necesidad de información del tráfico se define desde dos puntos de vista: el diseño estructural del pavimento y el de la capacidad de los tramos viales para conocer hasta qué límites de volúmenes de tráfico, puede estimarse crecerá la demanda que afectará a la estructura vial durante el periodo del análisis vial adoptado para un estudio.

El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del Índice Medio Diario Anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los términos de referencia de cada estudio ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

Para el diseño de pavimento, la demanda que corresponde al tráfico pesado de ómnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia.

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado

con 8.2 tn. de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg². Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.

Las carreteras del Perú se clasifican³, en función a la demanda, en:

Autopistas de primera clase

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) **mayor a 6.000 veh/día**, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m.; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m. de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

Autopistas de segunda clase

Son carreteras con un **IMDA entre 6.000 y 4.001 veh/día**, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6,00 m. hasta 1,00 m., en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular. Cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m. de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

Carreteras de primera clase

Son carreteras con un **IMDA entre 4.000 y 2.001 veh/día**, con una calzada de dos carriles de 3,60 m. de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

Carreteras de Segunda Clase

Son carreteras con **IMDA entre 2.000 y 400 veh/día**, con una calzada de dos carriles de 3,30 m. de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

3 Oficina de Control de Calidad de la Dirección General de Caminos del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

Carreteras de tercera clase

Son carreteras con **IMDA menores a 400 veh/día**, con calzada de dos carriles de 3,00 m. de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2,50 m., contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

Trochas carrozables

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m., en cuyo caso se construirán ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

1.8 Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP)

El Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) es el sistema administrativo del Estado que tiene por finalidad optimizar el uso de los Recursos Públicos destinados a la inversión, mediante el establecimiento de principios, procesos, metodologías y normas técnicas relacionadas con las diversas fases de los proyectos de inversión. Con ello se busca:

Eficiencia	En la utilización de recursos de inversión.
Sostenibilidad	En la mejora de la calidad o ampliación de la provisión de los servicios públicos intervenidos por los proyectos.
Mayor impacto socio-económico	Es decir, un bienestar para la población.

La inversión pública debe estar orientada a mejorar la capacidad prestadora de servicios públicos del Estado de forma que estos se brinden a los ciudadanos de manera oportuna y eficaz. La mejora de la calidad de la inversión debe orientarse a lograr que cada nuevo sol (S/.) invertido produzca el mayor bienestar social. Esto se consigue con proyectos sostenibles, que operen y brinden servicios a la comunidad ininterrumpidamente.

Hay diferentes actores en el SNIP y cada uno de ellos es responsable de cumplir determinadas funciones a lo largo de la preparación, evaluación ex ante, priorización, ejecución y evaluación ex post de un proyecto.



2 Alternativas tecnológicas de pavimentación





2. Alternativas tecnológicas de pavimentación

Entre las alternativas tecnológicas de pavimentación recomendadas en el caso de las carreteras peruanas se pueden distinguir las siguientes⁴:

Cuadro 2.1:
Carreteras con IMDA igual o mayor a 300 vehículos

Pavimento	Característica	IRI Promedio en Operaciones
Flexible	Compuesto por capas granulares (subbase y base drenante) y una capa de rodadura bituminosa de mezcla asfáltica en caliente de espesor variable según sea necesario.	3.5
Semirígido	Conformados con capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también se considera como pavimento semirígido, la estructura compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o base tratada con cal.	3.5
Rígido	Conformado por losa de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa.	3.5

Fuente: MTC – Dirección de Estudios Especiales.

⁴ La Evaluación Social del Proyecto en el marco del SNIP, determinará que alternativa tecnológica es la óptima para cada caso.

Cuadro 2.2:
Carreteras con IMDA menor a 300 vehículos

Pavimento	Característica	IRI Promedio en Operaciones
Pavimento económico	Compuesto por capas granulares, con base estabilizada y una capa de rodadura bituminosa en frío como: tratamiento superficial bicapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micropavimento en frío, macadam asfáltico, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.).	4
Afirmado con protección	Afirmados tratados o suelos estabilizados con una capa de protección bituminosa (monocapa, lechada asfáltica, etc.).	5
Afirmado mejorado	<ul style="list-style-type: none"> Afirmados con grava tratada con materiales como: asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros. Suelos naturales estabilizados con asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros. 	7
Afirmado	Constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo de 25 mm.	10

Fuente: MTC – Dirección de Estudios Especiales.

2.1 Consideraciones generales a tener en cuenta en la selección de alternativas de pavimentación

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante Resolución Directoral N° 10-2014- MTC/14, de fecha 09 Abril 2014, establece como ámbito de aplicación:

1. Las carreteras del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), que se jerarquiza en las siguientes tres redes viales: red vial nacional, red departamental o regional, vecinal o rural.
2. En diseño de nuevas carreteras y de mejoramientos de carreteras.
3. En proyectos de reconstrucción de carreteras.
4. En proyectos de refuerzos de pavimentos.

La sección de Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras se ha elaborado para proporcionar a los ingenieros que trabajan tanto en el sector público como en el privado, criterios homogéneos en materia de suelos y pavimentos para ser utilizados en estudios y proyectos de caminos y carreteras del país, tanto para caminos no pavimentados como para caminos pavimentados, de bajo, medio y alto volumen de tránsito.

a) Carreteras no pavimentadas

El manual denomina carreteras no pavimentadas a aquellas con revestimiento granular en sus capas superiores y superficie de rodadura (afirmado), las cuales corresponden generalmente a carreteras de bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de ejes equivalentes de hasta 300,000 EE en un periodo de diez años.

Un aspecto que debe tomarse en cuenta en las carreteras no pavimentadas afirmadas, es el control de polvo, debido a que estas carreteras emiten polvo por el desprendimiento de los agregados finos por el tráfico circulante. La cantidad de polvo que se produce en un camino afirmado es muy variable, depende de la zona de la región (lluviosa o árida), del tráfico que soporta y la calidad del afirmado. Es necesario que el ingeniero proyectista, analice y sustente la necesidad de aplicación de paliativos de control de polvo, donde el polvo generado por el tráfico resulta perjudicial a la salud, a la producción agrícola y al deterioro progresivo del patrimonio cultural, el análisis debe incluir el periodo de servicio. Los tipos de control de polvo, pueden ser riegos con agua natural, riegos incluyendo cloruros o aditivos, aplicación de productos asfálticos (imprimación reforzada, diferentes tipos de sellos asfálticos), utilización de cal, cemento u otros estabilizadores químicos.

b) Carreteras pavimentadas

El manual denomina carreteras pavimentadas a los pavimentos flexibles, pavimentos semirrígidos y pavimentos rígidos.

Los caminos o carreteras pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, están clasificados en quince (15) rangos de número de repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño, desde 75,000 EE hasta 30'000,000 EE.

Los caminos o carreteras pavimentados se consideran de bajo volumen de tránsito si el número de repeticiones de EE está comprendido en el rango de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Un aspecto que debe tomarse en cuenta en los estudios y proyectos, es que las soluciones a considerarse son para tráficos menores a 1,100 vehículos pesados (buses y camiones) en ambos sentidos por día en el año base o menor a 30'000,000 de ejes equivalentes (para 20 años en el carril de diseño); para los tráficos mayores a los indicados, y por el alto costo que seguramente implicará la estructura del pavimento, el ingeniero responsable efectuará un estudio específico para el diseño del pavimento, con análisis de alternativa de pavimento (flexible, semirrígido y rígido), verificación del comportamiento de las diferentes alternativas de estructura de pavimento, durante el periodo de análisis y selección de la alternativa óptima desde el punto de vista técnico-económico.

Para que se apoye la estructura de la carretera no pavimentada o pavimentada, se requiere que los últimos 0.60 m. de la capa de suelos debajo del nivel de la subrasante tenga un CBR

$\geq 6\%$. Si los suelos no cumplen esta condición por tratarse de suelos de mala calidad, CBR $< 6\%$, es decir, suelos blandos o muy compresibles o con materia orgánica o suelos pobres e inadecuados, el ingeniero responsable considerará la estabilización, mejora o refuerzo de los suelos, según la naturaleza de los mismos, efectuando estudios geotécnicos de estabilidad y de asentamientos. Mediante estos estudios el mencionado ingeniero sustentará la solución adoptada precisando en su informe técnico que el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. Recomendándose para la ejecución de los mencionados estudios, la participación de profesionales especializados en esta materia, que apliquen un criterio amplio, que permita el conocimiento de las propiedades del suelo de cimentación y de acuerdo a ello proponer alternativas de solución, seleccionando la alternativa óptima y justificando la solución adoptada.

2.2 Descripción y características de tecnologías de pavimentación

2.2.1 Descripción

2.2.1.1 Carreteras no pavimentadas

- 1) Caminos de tierra, constituidos por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.
- 2) Caminos de grava (lastrados), constituidos por una capa de revestimiento con material natural pétreo, seleccionado manualmente o por zarandeo de tamaño máximo de 75 mm.
- 3) Caminos afirmados, constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo de 25 mm.

Los caminos afirmados comprenden los siguientes tipos:

- a.1 Afirmados con gravas naturales o zarandeadas.
 - a.2 Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.
- 4) Caminos afirmados con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:
 - a.1 Afirmados con grava tratada con materiales como asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.
 - a.2 Suelos naturales estabilizados con material granular y finos ligantes, asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.

2.2.1.2 Carreteras pavimentadas

- a. Pavimentos flexibles
 - a.1 Compuestos por capas granulares (subbase y base drenante) y una superficie de rodadura bituminosa en frío como tratamiento superficial bicapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micropavimento en frío, macadam asfáltico, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.
 - a.2 Compuestos por capas granulares (subbase y base drenante) y una capa de rodadura bituminosa de mezcla asfáltica en caliente de espesor variable según sea necesario.
- b. Pavimentos semirrígidos

Conformados con capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también se considera como pavimento semirrígido, la estructura compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido, también, los pavimentos adoquinados.
- c. Pavimentos rígidos

Conformados por losa de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa.

2.2.2 Características tecnológicas de pavimentación

A. Suelos

A continuación se desarrollan pautas para identificar las características y la clasificación de los suelos que se utilizarán en la construcción de los pavimentos de las carreteras del Perú.

La exploración e investigación del suelo es muy importante, tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aún con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

Exploración de suelos y rocas

Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelos que pueden presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre 250 m. y 2,000 m., pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los siguientes casos:

- cambio de la topografía de la zona en estudio;
- por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular;
- delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados;
- zonas que soportarán terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0 m.;
- zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ($h < 0.6$ m.);
- zonas de corte, donde se ubicarán los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de subrasante.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m., teniendo como nivel superior la línea de subrasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos de terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos. Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitirán determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente (según norma MTC E101).

Caracterización de la subrasante

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m. de profundidad mínima, el número mínimo de calicatas por kilómetro estará de acuerdo al cuadro 2.3.

Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, si se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía.

Cuadro 2.3:
Número de calicatas para exploración de suelos

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 600 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km. x sentido 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km. x sentido 	
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> 4 calicatas x km. 	
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> 3 calicatas x km. 	
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> 2 calicatas x km. 	
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> 1 calicata x km. 	

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos

El número de calicatas indicado en el cuadro 2.3, se aplica para pavimentos nuevos, recuperación y mejoramiento. En caso de estudios de factibilidad, se efectuará el número de calicatas indicadas en el referido cuadro, espaciadas cada 2.0 km. en vez de cada km. En

caso de estudios a nivel de perfil se utilizará información secundaria existente en el tramo del proyecto, de no existir información secundaria se efectuará el número de calicatas del cuadro 2.3 espaciadas cada 4.0 km en vez de cada km.

Las calicatas y ensayos efectuados en los estudios de preinversión (factibilidad o perfil), formarán parte del estudio definitivo, resultando que para el definitivo, será solo necesario efectuar calicatas y ensayos complementarios a los de estudios de preinversión, los mismos que sirven eventualmente, además, como comprobatorios.

En caso el tramo tenga una longitud entre 500 m. y 1,000 m. el número de calicatas a realizar será la cantidad de calicatas para un kilómetro indicada en el cuadro 2.3. Si el tramo tiene una longitud menor a 500 m., el número de calicatas a realizar será la mitad de calicatas indicadas en el mencionado cuadro.

Si a lo largo del avance del estacado las condiciones topográficas o de trazo, muestran por ejemplo cambios en el perfil de corte a terraplén; o la naturaleza de los suelos del terreno evidencia un cambio significativo de sus características o se presenta suelos erráticos o irregulares, se deben ejecutar más calicatas por kilómetro en puntos singulares, que verifiquen el cambio.

También se determinará la presencia o no de suelos orgánicos, suelos expansivos, napa freática, rellenos sanitarios, de basura, etc., en cuyo caso las calicatas deben ser más profundas, delimitando los sectores con subrasante pobre o inadecuada que requerirá, para determinar el tipo de estabilización o mejoramiento de suelos de la subrasante, de estudios geotécnicos de estabilidad y de asentamientos donde el ingeniero responsable sustente en su informe técnico que la solución adoptada según la naturaleza del suelo, alcanzará la estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. En este tipo de estudios también se realizarán en caso de terraplenes con altura mayor a 5.00 m. En este caso, los valores representativos resultado de los ensayos serán sólo válidos para el respectivo sector.

Donde se encuentre macizo rocoso dentro de la profundidad de investigación, se deberá aplicar lo establecido en la norma MTC E101.

Registros de excavación

De los estratos encontrados en cada una de las calicatas se obtendrán muestras representativas, las que deben ser descritas e identificadas mediante una tarjeta con la ubicación de la calicata (con coordenadas UTM – WGS84), número de muestra y profundidad y luego colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Asimismo, durante la ejecución de las investigaciones de campo se llevará un registro en el que se anotará el espesor de cada uno de los estratos del subsuelo, sus características de gradación el estado de

compacidad de cada uno de los materiales. Asimismo, se extraerán muestras representativas de la subrasante para realizar ensayos de Módulos de resiliencia (M_r) o ensayos de CBR para correlacionarlos con ecuaciones de M_r . La cantidad de ensayos dependerá del tipo de carretera (ver cuadro 2.4).

Cuadro 2.4:
Número de ensayos M_r y CBR

Tipo de carretera	Nº M_r y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 1 M_r cada 3 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 1 M_r cada 2 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 1 M_r cada 1 km. y 1 CBR cada 1 km. x sentido
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 1 M_r cada 3 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 1 M_r cada 2 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 1 M_r cada 1 km. y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> 1 M_r cada 3 km. y 1 CBR cada 1 km.
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> Cada 1.5 km. se realizará un CBR (*)
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> Cada 2 km. se realizará un CBR (*)
Carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> Cada 3 km. se realizará un CBR

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC

(*): La necesidad de efectuar los ensayos de módulos de resiliencia, será determinado en los respectivos términos de referencia, previa evaluación de la zona de estudio y la importancia de la obra.

El número de ensayos indicado en el cuadro 2.4, se aplica para pavimentos nuevos, reconstrucción y mejoramiento. En caso de estudios de factibilidad se efectuará el número de ensayos indicados en el referido cuadro, por dos veces la longitud indicada (ejemplo, para carreteras de tercera clase 'cada 4.0 km se realizará un CBR' en lugar de un CBR cada 2.0 km). En caso de estudios a nivel de perfil se utilizará información secundaria existente en el tramo del proyecto, de no existir información secundaria se efectuará el número de ensayos del cuadro 2.4 por 3 veces la longitud indicada (ejemplo, para carreteras de segunda clase "Cada 4.5 km. se realizará un CBR", en lugar de un CBR cada 1.5 km).

Los ensayos de Mr o de CBR efectuados en los estudios de preinversión (factibilidad o perfil), formarán parte del estudio definitivo, resultando que para el definitivo será sólo necesario efectuar ensayos complementarios a los estudios de preinversión, los mismos que sirven eventualmente, además, como comprobatorios.

En caso el tramo tenga una longitud menor a la indicada, en el cuadro 2.4, para el número de Mr o de CBR a realizar, la cantidad de ensayos indicada en el cuadro debe ser tomada como mínima.

Descripción de los suelos

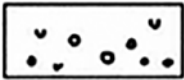
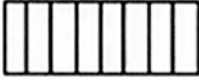
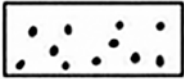
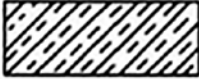




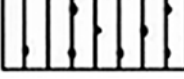

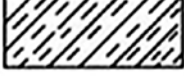

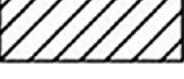
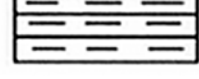

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales de los cuadros 2.5 y 2.6.

Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son:

- a. Granulometría
- b. Plasticidad
- c. Equivalente de arena
- d. Índice de grupo
- e. Humedad natural
- f. Clasificación de los suelos
- g. Ensayos CBR













Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO y SUCS, para caminos contemplados en este manual, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará el programa de ensayos para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.




Cuadro 2.5:
Signos convencionales para perfil de calicatas – clasificación AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia orgánica
	A - 2 - 6		Roca sana
	A - 2 - 7		Roca desintegrada
	A - 4		

Fuente: Simbología AASHTO.

Cuadro 2.6:
Signos convencionales para perfil de calicatas – Clasificación SUCS

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo.
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino.		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcilla.
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa.		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad.
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino.		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra.
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios.		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad.
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios.		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micácea o diatometacea, limo elástico.

	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa.
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico.
	Turba, suelo considerablemente orgánico.

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101. Símbolos gráficos para suelos.

Para la obtención del valor CBR de diseño de la subrasante, se debe considerar lo siguiente:

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.
2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios.
 - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100 m.

Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de subrasante, según cuadro 2.7.

3. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a qué categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

Cuadro 2.7:
Categorías de subrasante

Categorías de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

B. Tráfico vial para diseño

B.1 Conocimiento de la demanda de tráfico

La demanda de tráfico es un aspecto especial que el ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma de la carretera.

El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del Índice Medio Diario Anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los términos de referencia para la contratación de la elaboración del estudio de preinversión, ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

Para cada uno de los tramos, además de la demanda volumétrica actual, deberá conocerse la clasificación por tipos de vehículos. El cálculo del IMDA requiere de los índices de variación mensual, información que el MTC dispone y proporciona, en base a los registros que obtiene en las estaciones existentes de peaje y pesaje y de la información correspondiente a los contratos de concesiones viales.

La información directa requerida para los estudios de tráfico en principio y salvo necesidades con objetivos más precisos o distintos se conformará calcular el IMDA del tramo, empezando por la demanda volumétrica actual de los flujos clasificados por tipos de vehículos en cada sentido del tráfico.

En los casos en que hubiera una fuente de información continua, precisa o que los flujos fueran muy pequeños, deberá justificarse adecuadamente la elección del tamaño de la muestra.

Demanda proyectada

La información levantada servirá de un lado como base para el estudio de la proyección de la demanda para el periodo de análisis y en este contexto, para establecer el número de Ejes Equivalentes (EE) de diseño para el pavimento. El ingeniero responsable deberá sustentar si hay razones para establecer que el crecimiento de la demanda seguirá una tendencia histórica identificable con información previa existente o si ésta será modificada por factores socio – económicos, acompañando el análisis justificatorio.

B.2 Factor direccional y factor carril

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril.

El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera, según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD (ver cuadro 2.8.).

Cuadro 2.8:
Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMD a total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMD a total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

B.3 Cálculo de tasas de crecimiento y proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula de progresión geométrica por separado para el componente del tránsito de vehículos de pasajeros y para el componente del tránsito de vehículos de carga.

$$T_n = T_o (1+r)^{n-1}$$

En la que:

T_n = Tránsito proyectado al año 'n' en veh/día

T_o = Tránsito actual (año base o) en veh/día

n = Número de años del periodo de diseño

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%.

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos, por implementarse con certeza a corto plazo en la zona del camino.

La proyección de la demanda puede también dividirse en dos componentes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa anual de crecimiento de la población y una proyección de la demanda de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a la región que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

El siguiente cuadro proporciona el criterio para seleccionar el Factor de crecimiento acumulado (Fca) para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento (r) y el periodo de análisis en años.

Cuadro 2.9:
Factores de crecimiento acumulado (Fca)
para el cálculo de número de repeticiones de EE

Periodo de análisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Fuente: Tabla D-20 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

$$\text{Factor Fca} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad \text{Donde:} \quad \text{Ejemplo.} \quad \text{Factor} = \frac{(1 + 0.05)^{10} - 1}{0.05}$$

r = Tasa anual de crecimiento = Tasa anual de crecimiento 5%
n = Período de diseño n = Período de diseño 10 años

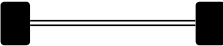
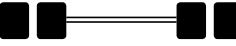
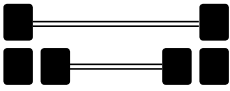
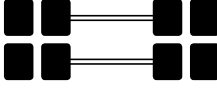
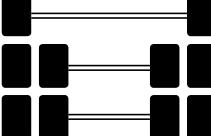
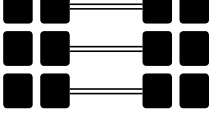
B.4 Número de repeticiones de ejes equivalentes

Para el diseño de pavimento, la demanda que corresponde al tráfico pesado de omnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia.

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn. de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg². Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.

En el cuadro 2.10 se presenta la configuración de ejes siguiente:

Cuadro 2.10:
Configuración de ejes

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con rueda simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con rueda coble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje rueda simple + 1 Eje rueda doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Rueda doble)	2 RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda simple + 2 ejes rueda doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes rueda doble)	3RD	12	

Fuente: Guía AASHTO-93.

Nota: RS : Rueda Simple RD : Rueda Doble

Para el cálculo de los EE se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93 para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento.

Cuadro 2.11:
Relación de cargas por rje para determinar ejes equivalentes (EE)
para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2tn})
Eje simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.0}$
Eje simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.0}$
Eje tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P/14.8]^{4.0}$
Eje tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P/15.1]^{4.0}$
Eje tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P/20.7]^{3.9}$
Eje tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P/21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos en base a las correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO '93.

Cuadro 2.12:
Relación de Cargas por Eje para determinar
Ejes Equivalentes (EE) para Pavimentos Rígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2tn})
Eje simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.1}$
Eje simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.1}$
Eje tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P/13.0]^{4.1}$
Eje tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P/13.3]^{4.1}$
Eje tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P/16.6]^{4.0}$
Eje tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P/17.5]^{4.0}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos en base a las correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO '93.

Para el diseño de un pavimento se adopta el número proyectado de EE que circularán por el ‘carril de diseño’, durante el periodo de análisis. El carril de diseño corresponderá al carril identificado como el más cargado de la carretera y el resultado de este cálculo será adoptado para todos los carriles de la sección vial típica de esa carretera, por tramos de demanda homogénea.

Para definir la demanda sobre el carril de diseño se analizará el tipo de sección transversal operativa de la carretera, el número de calzadas vehiculares y la distribución de la carga sobre cada carril que conforma la calzada.

La medición de la demanda estará basada en muestreos significativos del tránsito cuando no se cuenta con estaciones de pesaje que pueden generar censos de cargas por tipo de ejes. La investigación más extendida en la práctica del Perú, se orienta a la estratificación muestral de la carga por tipo de vehículo. Para ello la muestra del tráfico usuario se concentra en el tráfico pesado con la finalidad de obtener una información detallada promedio, pesando la carga real por tipo de vehículo muestreado, por tipo de ejes que lo conforman y por carga efectiva que lleva el eje. De esta manera con las mediciones obtenidas por tipo de vehículos pesados se calculará el factor vehículo pesado de cada uno de los tipos de vehículos del camino. Este factor resulta del promedio de EE que caracteriza cada tipo de vehículo pesado identificado para el camino.

El Factor vehículo pesado (Fvp), se define como el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo la sumatoria de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado seleccionado. El cálculo de factores de EE se efectuará utilizando las cargas reales por eje de los vehículos pesados encuestados en el censo de cargas.

En el cuadro 2.13 se muestra unos ejemplos para determinar el factor de vehículo pesado para diversas clases de vehículos pesados.

En los cuadros 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20 y 2.21, para el cálculo del Factor de vehículo pesado (Fvp), las cargas por eje utilizadas solo son válidas para el ejemplo desarrollado a continuación tomado del ‘Manual de Carreteras’ Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos, en tal sentido, el cálculo de dicho factor, debe realizarse utilizando las cargas reales por eje de los vehículos pesados encuestados en el censo de cargas y en concordancia con el Reglamento Nacional de Vehículos vigente.

Cuadro 2.13:
Cómputo del Factor de vehículos pesados según ejemplo Guía AASHTO – 93

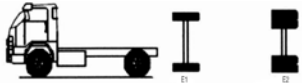
Rango de cargas por eje (Toneladas)	Cantidad de ejes pesados en balanza para 165 vehículos pesados	Factor de equivalencia por eje (EE por Eje)	EE (Ejes equivalentes)
Eje simple			
< 1.4	0	0.0002	0.00
1.4 – 3.2	1	0.005	0.01
3.2 – 3.6	6	0.032	0.19
3.6 – 5.4	144	0.087	12.53
5.4 – 7.3	16	0.360	5.76
7.3 – 13.6	1	5.389	5.39
Eje simple			
< 2.7	0	0.010	0.00
2.7 – 5.4	14	0.010	0.14
5.4 – 8.2	21	0.044	0.92
8.2 – 10.9	44	0.148	6.51
10.9 – 11.8	42	0.426	17.89
13.6 – 14.5	44	0.753	33.13
14.5 – 14.8	21	0.885	18.59
14.8 – 15.4	101	1.002	101.20
15.4 – 16.3	43	1.230	52.89
		Sumatoria EE	255.15

Total de Ejes Equivalentes de 8.2 tn para 165 Camiones Pesados en la Balanza = 255 Factor Promedio de Ejes Equivalentes por Vehículo $(255/165) = 1.55$

Fuente: Guía AASHTO-93.

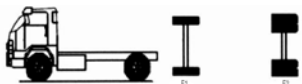
Cuadro 2.14:**Ejemplo de factores de equivalencia por eje y factor vehículo camión C2 - Pavimento flexible o pavimento semirrígido**

En este ejemplo, el peso total del camión C2 es de 17 tn., pesando el eje delantero (E1) 7 tn. y el eje posterior simple (E2) 10 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 2.11 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el **factor camión C2 es igual a 3.477**.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos								Long. Máxima (tn)
C2									12.30
	$EE_{s1} = (P/6.6)^4$	$EE_{s2} = (P/8.2)^4$							
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga según censo de carga (Ton)	7	10							
Tipo de eje	Eje simple	Eje simple							
Tipo de rueda	Rueda simple	Rueda doble							Total factor camión C2
Peso	7	10							3,477
Factor E.E.	1.265	2.212							


Cuadro 2.15:**Ejemplo de factores de equivalencia por eje y factor vehículo camión C2 - Pavimento rígido**

En este ejemplo, el peso total del camión C2 es de 17 tn., pesando el eje delantero (E1) 7 tn. y el eje posterior simple (E2) 10 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 2.12 para pavimento rígido, el **factor camión C2 es igual a 3.529**.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos								Long. Máxima (tn)
C2									12.30
	$EE_{s1} = (P/6.6)^4$	$EE_{s2} = (P/8.2)^4$							
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga según censo de carga (Ton)	7	10							
Tipo de eje	Eje simple	Eje simple							
Tipo de rueda	Rueda simple	Rueda doble							Total factor camión C2
Peso	7	10							3,529
Factor E.E.	1.273	2.256							

Cuadro 2.16:
Ejemplo de factores de equivalencia por eje y vector vehículo camión C3 - Pavimento flexible o pavimento semirrígido

En este ejemplo, el peso total del camión C3 es de 23 tn., pesando el eje delantero (E1) 7 tn. y el eje posterior tandem (E2+E3) 16 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 2.11 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el **factor camión C3 es igual a 2.526**.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos								Long. Máxima (tn)
C3									13.20
	$EE_{s1} = (P/6.6)^4$	$EE_{s2} = (P/15.2)^4$							
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga según censo de carga (Ton)	7	8	8						
Carga según censo de carga (Ton)	7	16							
Tipo de eje	Eje simple	Eje simple							
Tipo de rueda	Rueda simple	Rueda doble							Total factor camión C3
Peso	7	16							2,526
Factor E.E.	1.265	1.261							


Cuadro 2.17:
Ejemplo de factores de equivalencia por eje y factor vehículo camión C3 - Pavimento rígido

En este ejemplo, el peso total del camión C3 es de 23 tn., pesando el eje delantero (E1) 7 tn. y el eje posterior tandem (E2+E3) 16 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 2.12 para pavimento rígido, el **factor camión C3 es igual a 3.406**.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos								Long. Máxima (tn)
C3									13.20
	$EE_{s1} = (P/6.6)^4$	$EE_{s2} = (P/15.1)^4$							
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga según censo de carga (Ton)	7	8	8						
Carga según censo de carga (Ton)	7	16							
Tipo de Eje	Eje simple	Eje simple							
Tipo de rueda	Rueda simple	Rueda doble							Total factor camión C3
Peso	7	16							3,406
Factor E.E.	1.273	2.134							


Cuadro 2.18:**Ejemplo de gactores de equivalencia por eje y factor vehículo camión T3S3 - Pavimento flexible o pavimento semirrígido**

En este ejemplo, el peso total del camión T3S3 es de 46 tn., pesando el eje delantero (E1) 7 tn. y el eje posterior tándem (E2+E3) 16 tn. y el tridem (E4+E5+E6) 23 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 2.11 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el **factor camión T3S3 es igual a 3.758**.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (tn)
T3S3								20.50
	$EE_{s1} = (P/6.6)^4$	$EE_{t2} = (P/15.1)^4$		$EE_{t1} = (P/21.8)^{1.4}$				
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga según censo de carga (Ton)	7	8	8	7	8	8		
Carga según censo de carga (Ton)	7	16		23				
Tipo de eje	Eje simple	Eje tandem		Eje tandem				
Tipo de rueda	Rueda simple	Rueda doble		Rueda doble				Total factor camión T3S3
Peso	7	16		23				3,758
Factor E.E.	1.265	1.261		1.232				


Cuadro 2.19:**Ejemplo de factores de equivalencia por eje y factor vehículo camión T3S3 - Pavimento flexible o pavimento rígido**

En este ejemplo, el peso total del camión T3S3 es de 46 tn., pesando el eje delantero (E1) 7 tn. y el eje posterior tandem (E2+E3) 16 tn. y el tridem (E4+E5+E6) 23 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 2.12 para pavimento rígido, el **factor camión T3S3 es igual a 6.390**.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (tn)
T3S3								20.50
	$EE_{s1} = (P/6.6)^{4.1}$	$EE_{t2} = (P/13.3)^{4.1}$		$EE_{t1} = (P/17.5)^{1.4}$				
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga según censo de carga (Ton)	7	8	8	7	8	8		
Carga según censo de carga (Ton)	7	16		23				
Tipo de eje	Eje simple	Eje tandem		Eje tridem				
Tipo de rueda	Rueda simple	Rueda doble		Rueda doble				Total factor camión C3
Peso	7	16		23				6,390
Factor E.E.	1.273	2.134		2.984				


Cuadro 2.20:
Ejemplo de factores de equivalencia por eje y factor vehículo camión B3-1 - Pavimento flexible o pavimento semirrígido

En este ejemplo, el peso total del bus B3-1 es de 22 tn., pesando el eje delantero (E1) 7 tn. y el eje posterior tandem (E2+E3) 15 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 2.11 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el **factor vehículo bus B3-1 es igual a 2.321**.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (tn)
B3-1								14.00
	$EE_{s1} = (P/6.6)^4$	$EE_{s2} = (P/14.8)^4$						
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga según censo de carga (Ton)	7	8	7					
Carga según censo de carga (Ton)	7	15						
Tipo de eje	Eje simple	Eje tandem						
Tipo de rueda	Rueda simple	1 Eje rueda doble+1 Eje rueda simple						Total factor camión B3-1 2,321
Peso	7	15						
Factor E.E.	1.265	1.055						

Cuadro 2.21:
Ejemplo de factores de equivalencia por eje y factor vehículo bus B3-1 - Pavimento rígido

En este ejemplo, el peso total del bus B3-1 es de 22 tn., pesando el eje delantero (E1) 7 tn. y el eje posterior tandem (E2+E3) 15 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 2.12 para pavimento rígido, el **factor vehículo bus B3-1 es igual a 3.071**.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (tn)
B3-1								14.00
	$EE_{s1} = (P/6.6)^{4.1}$	$EE_{s2} = (P/130)^{4.1}$						
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga según censo de carga (Ton)	7	8	7					
Carga según censo de carga (Ton)	7	15						
Tipo de eje	Eje simple	Eje tandem						
Tipo de rueda	Rueda simple	1 Eje rueda doble+1 Eje rueda simple						Total factor camión B3-1
Peso	7	15						3,071
Factor E.E.	1.273	1.798						

Para el caso de la formulación de estudios de preinversión a nivel de perfil, de no contar con información censal de pesos por eje o que la muestra no contemple los vehículos pesados proyectados, se recomienda la siguiente relación de EE por tipo de vehículo pesado señalado en el cuadro 2.22. Los mismos corresponden a promedios estadísticos de registros en la carretera Panamericana Norte, y a manera referencial pueden utilizarse para el cálculo del número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE).

Cuadro 2.22:
Relación de ejes por tipos de vehículos

Clase de vehículo	Eje equivalente (8.2 tn.)
Bus (de 2 o 3 ejes)	1.850
Camión ligero (2 ejes)	1.150
Camión mediano (2 ejes)	2.750
Camión pesado (3 ejes)	2.000
Camión articulado (> 3 ejes)	4.350
Auto o vehículo ligero	0.0001

Fuente: Manual para Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.

El ingeniero responsable para el diseño de los pavimentos flexibles y semirrígidos tomará en cuenta, para el cálculo de EE, un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que produce las presiones de los neumáticos sobre el pavimento flexible o semirrígido. Para el caso de afirmados y pavimentos rígidos el factor de ajuste por presión de neumáticos será igual a 1.0.

Para la determinación de los factores de presión de neumáticos se utilizarán los valores del cuadro 2.23. Valores intermedios podrán interpolarse, de acuerdo al Manual MS - 1 del Instituto del Asfalto, modificando la presión inicial de 70 psi que indica la mencionada figura por la presión inicial de 80 psi, considerada en el “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos.

Cuadro 2.23:
Factor de ajuste por presión de neumático (Fc) para Ejes Equivalentes (EE)

Espeso de capa de rodadura (mm)	Presión de contacto del neumático (PCN) en psc PCN = 0.90 x (Presión de Inflado del Neumático) (pai)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Fuente: Elaborado en base a correlaciones con la figura IV-4 E4L Adjustment Factor for Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto de Asfalto.

Nota:

- EE = Ejes Equivalentes.
- Presión de Inflado del Neumático (PIN): está referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión del Contacto del Neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el factor de ajuste igual al espesor de 50 mm.

Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn., en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo, el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados:

$$N_{rep \text{ de EE } 8.2 \text{ tn}} = \sum [EE_{\text{día-carril}} \times F_{ca} \times 365]$$

Dónde:

Nrep de EE 8.2 tn. =	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn.
EE día-carril =	<p>EE_{día-carril} = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el factor vehículo pesado del tipo seleccionado y por el factor de presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> $EE_{\text{día-carril}} = IMD_{pi} \times Fd \times Fc \times Fvp_i \times Fp_i$ <p>Donde:</p> <p>IMD_{pi}: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i) Fd: Factor direccional, según cuadro N° 2.8. Fc: Factor carril de diseño, según cuadro N° 2.8. Fvp_i: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total de tipo del vehículo pesado seleccionado. Fp: Factor de presión de neumáticos, según cuadro 2.23</p>
Fca =	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 2.13).
365 =	Número de días del año.
Σ =	Sumatoria de Ejes Equivalentes (EE) de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

B.5 Clasificación de número de repeticiones de ejes equivalentes en el periodo de diseño

El tránsito para diseño de pavimentos, en el presente manual, ha sido clasificado en rangos de número de repeticiones de ejes equivalentes, tal como se indica en los cuadros 2.24 y 2.25.

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos determina los siguientes rangos en número de repeticiones de ejes equivalentes, para el carril y periodo de diseño.

B.5.1 Caminos no pavimentados

Los caminos no pavimentados con afirmado (revestimiento granular) tendrán un rango de aplicación de número de repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño de hasta 300,000 EE de acuerdo al cuadro.

Cuadro 2.24:
Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el carril de diseño para caminos no pavimentados

Tipo tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
T_{NP1}	$\leq 25,000$ EE
T_{NP2}	$> 25,000$ EE $\leq 75,000$ EE
T_{NP3}	$> 75,000$ EE $\leq 150,000$ EE
T_{NP4}	$> 150,000$ EE $\leq 300,000$ EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimento.

Nota: T_{NPX} : T= Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño.

NPX= No Pavimentada, X= número de rango (1, 2, 3).

B.5.2 Caminos Pavimentados

Los caminos pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos están clasificados en quince (15) rangos de número de repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño, desde 75,000 EE hasta 30'000,000 EE, de acuerdo al cuadro 2.25.

Los tramos a pavimentar con números de repeticiones de EE mayores a 30'000,000, será materia de estudio específico, mediante el cual el ingeniero responsable efectuará un análisis técnico de alternativas de pavimento y justificará la solución adoptada.

Los caminos con menor o igual a 1'000,000 EE, se consideran como caminos de bajo volumen de tráfico, recomendando un periodo de diseño de 10 años.

Cuadro 2.25:
***Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 tn.,
en el carril de diseño para caminos pavimentados:
Pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos***

Tipos de tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
T_{P0}	$> 75,000 \text{ EE} \leq 150,000 \text{ EE}$
T_{P1}	$> 150,000 \text{ EE} \leq 300,000 \text{ EE}$
T_{P2}	$> 300,000 \text{ EE} \leq 500,000 \text{ EE}$
T_{P3}	$> 500,000 \text{ EE} \leq 750,000 \text{ EE}$
T_{P4}	$> 750,000 \text{ EE} \leq 1000,000 \text{ EE}$
T_{P5}	$> 1000,000 \text{ EE} \leq 1\,500,000 \text{ EE}$
T_{P6}	$> 1\,500,000 \text{ EE} \leq 3\,000,000 \text{ EE}$
T_{P7}	$> 3\,000,000 \text{ EE} \leq 5\,000,000 \text{ EE}$
T_{P8}	$> 5\,000,000 \text{ EE} \leq 7\,500,000 \text{ EE}$
T_{P9}	$> 7\,500,000 \text{ EE} \leq 10\,000,000 \text{ EE}$
T_{P10}	$> 10\,000,000 \text{ EE} \leq 12\,500,000 \text{ EE}$
T_{P11}	$> 12\,500,000 \text{ EE} \leq 15\,000,000 \text{ EE}$
T_{P12}	$> 15\,000,000 \text{ EE} \leq 20\,000,000 \text{ EE}$
T_{P13}	$> 20\,000,000 \text{ EE} \leq 25\,000,000 \text{ EE}$
T_{P14}	$> 25\,000,000 \text{ EE} \leq 30\,000,000 \text{ EE}$
T_{P15}	$> 30\,000,000 \text{ EE}$

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

Nota: T_{Px} : T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño.

PX = Pavimentada, X = número de rango (5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15).

C. Materiales

Todos los materiales deberán cumplir los requerimientos de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) del Manual de Carreteras, no obstante, cuando en un determinado proyecto de pavimentación se requiera especificaciones nuevas concordantes con el estudio o que amplíen, complementen o reemplacen a las especificaciones generales, el autor del proyecto o el ingeniero responsable de suelos y pavimentos deberá emitir las especificaciones especiales para ese proyecto y sólo será aplicable para su ejecución.

C.1 Afirmado

El material de afirmado deberá cumplir con los requisitos mínimos establecidos en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aprobado mediante Resolución Directoral N° 22-2013-MTC/14 de fecha 07 Agosto 2013 y lo señalado a continuación.

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizará como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica necesaria en la carretera de afirmado.

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre.

El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas. Asimismo necesita un porcentaje de arena clasificada, según tamaño, para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa y, necesariamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Existen pocos depósitos naturales de material que tiene una gradación ideal, donde el material sin procesar se puede utilizar directamente, por lo que será necesario zarandear el material para obtener la granulometría especificada. En general los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras o podrán provenir de la trituration de rocas y gravas o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Para la dosificación y mezcla del material para afirmado, se tendrá como referencia y punto de partida las gradaciones que se recomiendan en el siguiente cuadro 2.26 referidas a AASHTO M 147 y en el cuadro 2.27 referidas a FHWA.

Las características que deberá cumplir el material de afirmado serán los que se describen a continuación. No obstante, es importante indicar que todos los materiales para afirmados no son los mismos, en tal sentido, la calidad del material debe determinarse mediante ensayos.

Para el caso del porcentaje que pasa el tamiz 75 μ m (N° 200), se tendrá en cuenta las condiciones ambientales locales (temperatura y lluvia), especialmente para prevenir el daño por la acción de las heladas. En este caso será necesario porcentajes más bajos al especificado que pasa el tamiz 75 μ m (N° 200), por lo que, en caso no lo determine el proyecto, el supervisor deberá fijar y aprobar los porcentajes apropiados.

Cuadro 2.26:
Gradación del material de afirmado

Porcentaje que pasa del tamiz	Gradación C	Gradación D	Gradación E	Gradación F
50 mm (2")				
37.5 mm (1 1/2")				
25 mm (1")	100	100	100	100
19 mm (3/4")				
12.5 mm (1/2")				
9.5 mm (3/8")	50-85	60-100		
4.75 mm (N° 4)	35-65	50-85	55-100	70-100
2.36 mm (N° 8)				
2.0 mm (N° 10)	25-50	40-70	40-100	55-100
4.25 um (N° 40)	15-30	25-45	20-50	30-70
75 um (N° 200)	5-15	5-20	6-20	8-25
Índice de plasticidad	4-9	4-9	4-9	4-9
Límite líquido	Max. 35%	Max. 35%	Max. 35%	Max. 35%
Desgaste Los Ángeles	Max. 50%	Max. 50%	Max. 50%	Max. 50%
CBR [referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5mm)]	Min. 40%	Min. 40%	Min. 40%	Min. 40%

Fuente: AASHTO M 147.

Muy importante es el índice de plasticidad que podrá llegar hasta un máximo de 12 y no deberá ser menor de 4. La razón es que la capa de rodadura en su superficie necesita un mayor porcentaje de material plástico y las arcillas naturales le darán la cohesión necesaria y, por lo tanto, una superficie cómoda para la conducción vehicular. Esto puede ser crítico durante el periodo seco, pues necesitará riego de agua.

En el caso de que se tuvieran materiales con índice de plasticidad fuera del rango 4-12%, se estudiará el empleo de un estabilizador de suelos con un producto asfáltico, con cal, cemento, cloruro de sodio (sal), calcio o magnesio u otros estabilizadores químicos de suelos con la finalidad de mantener y/o prolongar la vida útil de la carretera.

Es a partir de lo antes señalado que se efectúan los ensayos y dosificaciones hasta conseguir un material de afirmado de buena calidad, con gradación y plasticidad adecuadas que la de cohesión. De ser el caso se establecerán las diferencias que sustenten una especificación especial, como variante de lo indicado o lo estipulado en la sección 301 de las EG-2013.

Cuadro 2.27:
Gradación del material de afirmado

Porcentaje que pasa del Tamiz	FHWA - FP 03	FHWA - SL LTAD
50 mm (2")		
37.5 mm (1 1/2")		
25 mm (1")	100 (1)	
19 mm (3/4")	97-100 (1)	100
12.5 mm (1/2")		
9.5 mm (3/8")		
4.75 mm (N° 4)	41-71 (7)	50-78
2.36 mm (N° 8)		37-67
2.0 mm (N° 10)		
4.25 um (N° 40)	12-28 (5)	13-35
75 um (N° 200)	9-16 (4)	4-15
Índice de plasticidad	8 (4)	4-12
Límite líquido	Max. 35%	Max. 35%
Desgaste Los Ángeles	Max. 50%	Max. 50%
CBR [referido al 100% de la Máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1* (2.5mm)] (*)	Min. 40%	Min. 40%
Nota: (1) = Procedimiento estadístico no aplica () = Desviación admisible (±) del valor indicado		

Fuente: Federal Highway Administration – FHWA.

(*) Si el CBR del material es menor del mínimo recomendado se efectuará un estudio específico para mejorar las propiedades del material.

Un aspecto que debe tomarse en cuenta en las carreteras o caminos afirmados, es el control de polvo, debido a que estas carreteras o caminos emiten polvo por el tráfico circulante. La cantidad de polvo que se produce en un camino afirmado es muy variable, depende de la zona (lluviosa o árida), del tráfico que soporta y la calidad del afirmado. Es necesario que el ingeniero proyectista, analice y sustente la necesidad de aplicación de paliativos de control de polvo, especialmente en cruces urbanos, zonas agrícolas o restos históricos, donde el polvo generado por el tráfico resulta perjudicial a la salud, a la producción agrícola y al deterioro progresivo del patrimonio cultural. El análisis debe incluir el periodo de servicio, debido a que prácticamente la aplicación de todos los métodos de control es anual. Los tipos de control de polvo, pueden ser riegos con agua natural, riegos incluyendo cloruros o aditivos, aplicación de productos asfálticos (imprimación reforzada, diferentes tipos de sellos asfálticos), utilización de cal, cemento u otros estabilizadores químicos.

C.2 Subbase granular

El material granular para la capa de subbase deberá cumplir los requisitos de calidad establecidos en la sección 402 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) que forma parte del Manual de Carreteras aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC. Asimismo, se deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad, aceptación de los trabajos y las consideraciones de CBR mencionadas en el presente documento para el diseño del pavimento, y que, según el caso, deberá estar precisado en las especificaciones del proyecto.

Cuadro 2.28:
Valor relativo de soporte, CBR en subbase granular (*)
(MTC E-132, NTP 339,145 1999)

CBR en subbase granular	Mínimo 40%
-------------------------	------------

(*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1" (2.5mm).

C.3 Base granular

El material granular para la capa de base deberá cumplir los requisitos de calidad establecidos en la sección 403 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013). Asimismo, se deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad, aceptación de los trabajos y las consideraciones de CBR mencionadas en el presente documento para el diseño del pavimento, y que, según el caso, deberá estar precisado en las especificaciones del proyecto.

Cuadro 2.29:
Valor relativo de soporte, CBR en base granular (*)
(MTC E-132, NTP 339,145 1999)

Para carreteras de segunda clase, tercera clase, bajo volumen de tránsito; o, para carreteras con tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 10^5$	Mínimo 80%
Para carreteras de primera clase, carreteras duales o multicarril, autopistas; o, para carreteras con tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 10^5$	Mínimo 100%

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimento del MTC.

(*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1" (2.5 mm).

C.4 Bases tratadas con asfalto, con cal y con cemento

Los materiales granulares para las capas de bases tratadas, deberán cumplir los requisitos establecidos en el capítulo N° 4 (Subbase y Bases) de las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) del MTC. Asimismo, se deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.

C.5 Pavimentos asfálticos en frío

Dentro de estas capas asfálticas en frío se encuentran los tratamientos superficiales bicapa, mortero asfáltico o lechada asfáltica (Slurry Seal), micropavimentos en frío y las carpetas asfálticas en frío. Los materiales de estas capas asfálticas, deberán cumplir los requisitos establecidos en el capítulo N° 4 (Pavimentos asfálticos) de las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) del MTC. Asimismo, se deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.

C.6 Pavimentos asfálticos en caliente

Los materiales para las mezclas asfálticas en caliente, deberán cumplir los requisitos establecidos en el capítulo N° 4 (Pavimentos asfálticos) de las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) del MTC, respecto a los agregados gruesos, agregados finos, gradación y los tipos de cemento asfáltico. Asimismo, se deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.

2.3 Utilización de materiales tratados o estabilizados en pavimentos

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales y sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general, se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidos como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. También se emplea para estabilizar una subbase, base o material granular, para obtener un material de mejor calidad, denominándose subbase, base o material granular tratado o estabilizado (con cemento o con cal o con asfalto o con productos químicos, etc.).

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes, cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

Como se mencionó, el concepto de estabilización también se aplica sobre una subbase, base o material granular, que aún cumpliendo la condición de tener un determinado valor de CBR, se estabilizará para obtener un material de mejor calidad con un menor espesor de capa. La aplicación de este criterio será para los caminos donde se presente un considerable tráfico pesado. No obstante, el consultor evaluará su aplicación aún en sectores con tráfico menor, pero cuyas condiciones ameriten su ejecución como por ejemplo, escasez o cuando no se disponen de materiales de subbase o base, elevados costos de transporte y tratamiento de chancado para la base, etc.

Existen diferentes metodologías de estabilización con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica, productos químicos u otros. Sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos constructivos que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible.

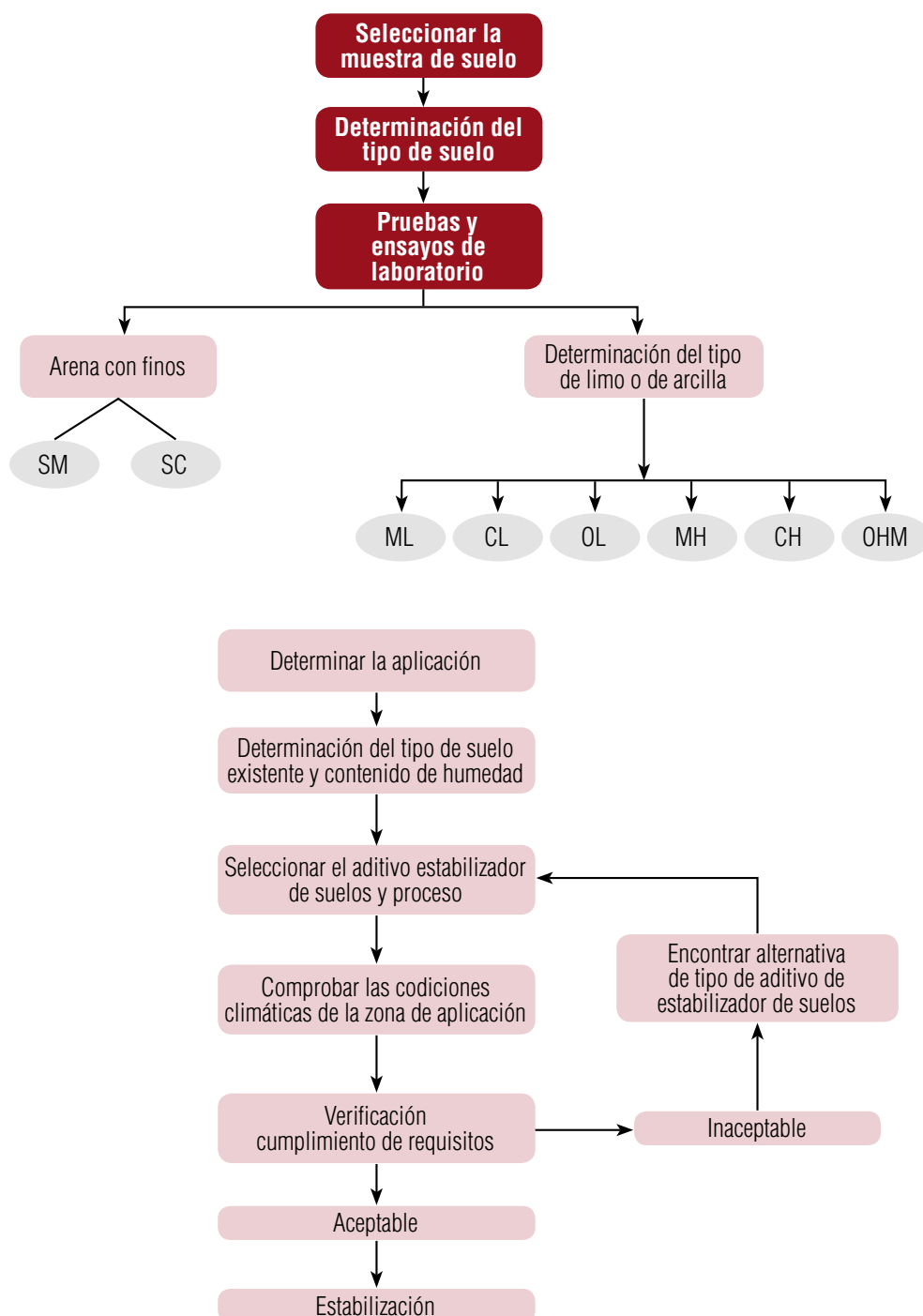
Criterios para establecer el tipo de estabilización

Para establecer un tipo de estabilización, es necesario determinar el tipo de material que se pretende estabilizar. Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- a. Tipo de material a estabilizar.
- b. Uso propuesto del material estabilizado.
- c. Tipo de aditivo estabilizador.
- d. Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará.
- e. Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador.
- f. Disponibilidad del equipo adecuado.
- g. Costos comparativos.

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización.

Gráfico 2.1:
Diagrama de procedimientos para la estabilización del suelo



A continuación se presentan dos guías referenciales del MTC, para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.

Cuadro 2.30:
Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador

Área	Clase de suelo	Tipo de estabilizador recomendado		Restricción en LL a IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pesa la malla 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Portland			
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1B	SW – SM o SP – SM o SW3 – SC o SP – PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1C	SM o SC o SM-SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2)	Cemento Portland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2A	GW o GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que para la malla N° 4.
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2B	GW – GM o GP – GM o GW – GC o GP – GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2C	GM o GC o GM - GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que para la malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Ceniza	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML-CL	(1)	Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios.
		(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP – Índice Plástico (b) IP 20 + (50 – porcentaje que pasa la Malla N° 200) / 4				Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador		Fuente: US Army Corps of Engineers

Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.

Cuadro 2.31:
Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador

Tipo o estabilizador recomendado	Normas técnicas	Suelo ⁽¹⁾	Dosificación ⁽³⁾	Curado (Apertura al Tránsito) ⁽⁵⁾	Observaciones
Cemento	EQ-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 LL > 40% IP > 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ AF ≤ 10% AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg AF ≤ 15% AG ≤ 18%	2 – 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 o AASHTO M208	A-1, A-2 y A-3 Pasante Malla N° 200 < 10% IP > 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ AF ≤ 10% AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg AF ≤ 15% AG ≤ 18%	4 – 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% < IP < 50% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	2- 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas. Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC	A-1, A-2 y A-3 IP < 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% < IP < 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Abrasión < 50%	50 – 80 kg/m3	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba.
Cloruro de Magnesio	MTC E4 1109	A-1, A-2 y A-3 IP < 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Ph: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 – 80 kg/m3	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba.
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7 6% < IP < 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO ⁽²⁾ No debe contener Abrasión < 50% % < N° 200: 10 – 35%	1L / 30-33 m3	De acuerdo a especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO ⁽²⁾ < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a especificaciones del fabricante	

Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.

- (1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8".
Tamaño máximo: 2", debe carecer de restos vegetales.
Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos, que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto.
- (2) CMO: Contenido de Materia Orgánica.
- (3) Los diseños o dosificaciones deben indicar: fórmula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda el tipo de estabilizador aplicado.
- (4) Para altitudes mayores a 3000 msnm.
- (5) Después de finalizado el proceso de compactación.

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS).

Cuadro 2.32:
Correlación de tipos de suelos AASHTO – SUCS

Clasificación de suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A – 2	GM, GC, SM, SC
A – 3	SP
A – 4	CL, ML
A – 5	ML, MH, CH
A – 6	CL, CH
A – 7	CH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers.

Los manuales normativos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, contemplan y especifican el uso de estabilizadores químicos, naturales o sintéticos, a través del Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos, Capítulo IX Estabilización de Suelos y las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013), Capítulo III, sección 301, siendo los que se detallan a continuación:

1. Suelos estabilizados con cal.
2. Suelos estabilizados con cemento.
3. Suelos estabilizados con escoria.
4. Suelos estabilizados con sales.
 - 4.1 Suelos estabilizados con cloruro de sodio.
 - 4.2 Suelos estabilizados con cloruro de calcio.
 - 4.3 Suelos estabilizados con cloruro de magnesio.
5. Suelos estabilizados con productos químicos.
6. Estabilización con productos asfálticos.
7. Estabilización con geosintéticos.

2.4 Metodología de diseño de pavimentos

Para fines de diseño de pavimentos (incluido las denominadas soluciones básicas o pavimentos económicos), se debe tomar en cuenta los manuales siguientes:

- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. Aprobado por R.D. N° 10-2014-MTC/14
- Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2013). Aprobado por R.D. N° 31- 2013-MTC/14 y R.D. N° 019-2014-MTC/14
- Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG- 2013). Aprobado por R.D. N° 22-2013-MTC/14
- Manual de carreteras: Ensayo de Materiales para Carreteras. Aprobado por R.D. N° 028-2001-MTC/15.17. Modificatorias: MTC E 1109-2004 Ensayo sobre estabilización química de suelos - caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo (2004)

Cabe señalar que adicionalmente se debe considerar las directivas de la Dirección de Estudios Especiales de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Ministerio de Transportes y Caminos y Ferrocarriles con respecto a la aplicación de soluciones básicas en caminos no asfaltados.

2.4.1 Afirmado

La metodología a desarrollar permitirá diseñar de manera técnica y rápida el espesor de una capa de afirmado, teniendo en cuenta la resistencia de la subrasante y el tránsito estimado para un periodo de diseño.

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados durante el periodo de diseño, expresados en ejes equivalentes (EE); y, los materiales granulares cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) del MTC. También forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante o el tratamiento de las capas de revestimiento granular.

Esta metodología establece el espesor de diseño en función de los siguientes parámetros:

- Características de la subrasante
- Nivel de tránsito

Secciones de capa de afirmado

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adopta la ecuación del método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS), contemplada en el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, que relaciona el valor de soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE.

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} (\text{Nrep}/120)$$

Donde:

e = espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = valor del CBR de la subrasante.

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

A continuación se presentan los espesores de afirmado considerando subrasantes con CBR > 6% hasta un CBR > 30% y tráfico con número de repeticiones de hasta 300,000 ejes equivalentes.

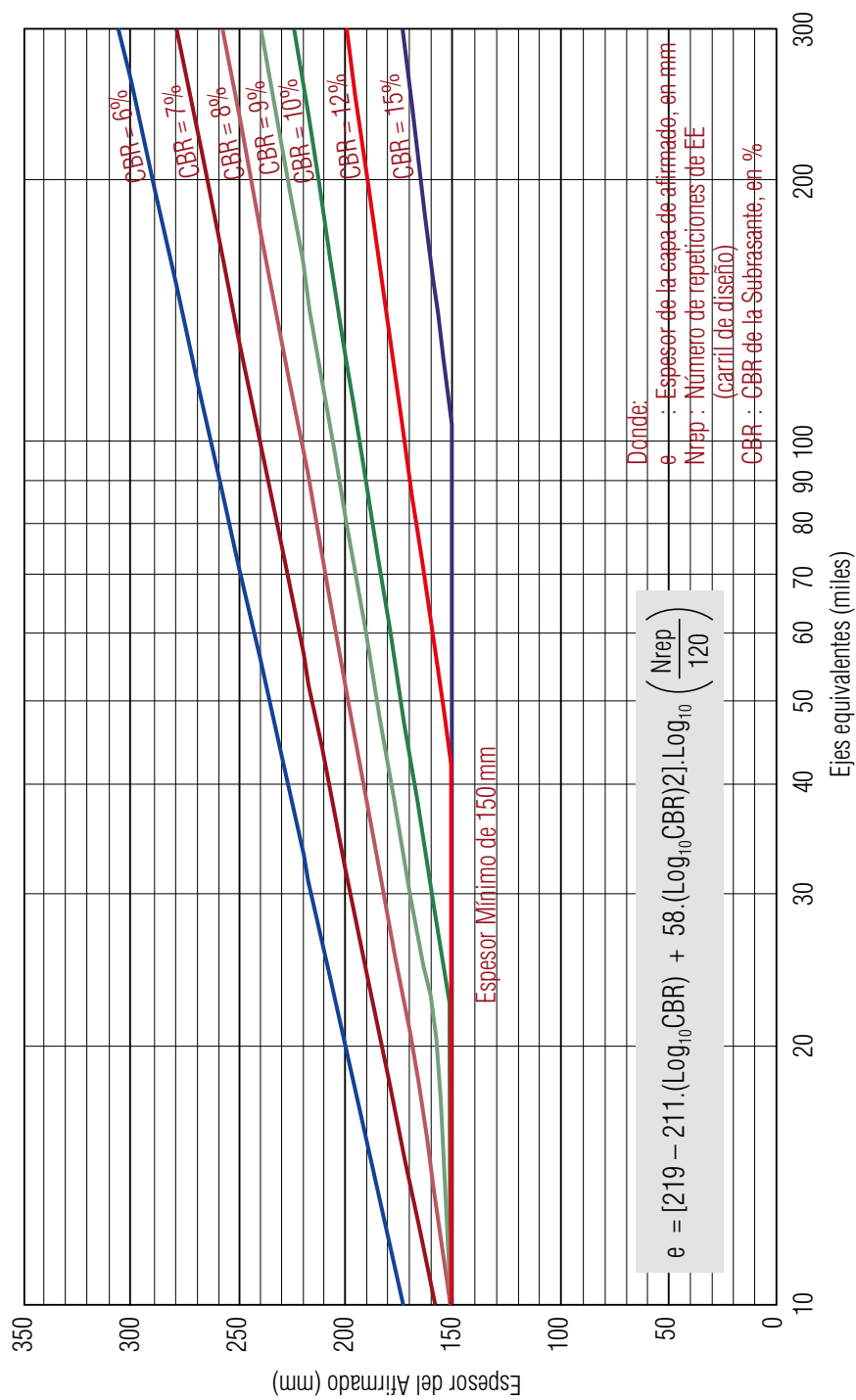
Los sectores que presentan subrasantes con CBR menor a 6% (subrasante pobre o subrasante inadecuada), serán materia de un estudio específico de estabilización o reemplazo de suelos de la subrasante.

Cuadro 2.33:
Resumen de diseño

CBR% Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,00	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																		
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150























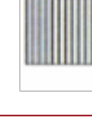
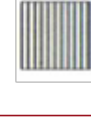
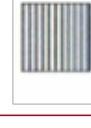

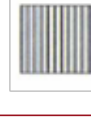

(*) Subrasante con CBR <6%, serán materia de estabilización o mejoramiento de subrasante, según los criterios expuestos en el capítulo 9, Estabilización de Suelos.
Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimento del MTC.

Gráfico 2.2:
Espesor de capa de revestimiento granular



Fuente: Elaboración propia en base al Método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS)

Figura 2.34:
Catálogo de capas de afirmado (revestimiento granular)
Periodo de diseño 10 años

EE CBR %	Tnp1 < 25,000	Tnp2 25,001 – 75,000	Tnp3 75,001-150,000	Tnp4 150,001-300,000
CBR < 6%	25cm (x) 	30cm (x) 	30cm (x) 	35cm (x) 
CBR 6% - 8%	25cm 	30cm 	30cm 	35cm 
CBR 8% - 10%	20cm 	25cm 	25cm 	30cm 
CBR 10% - 12%	20cm 	20cm 	25cm 	25cm 
CBR 12% - 20%	15cm 	20cm 	20cm 	20cm 
CBR 20% - 30%	15cm 	15cm 	15cm 	15cm 
CBR > 30%	15cm 	15cm 	15cm 	15cm 

Fuente: Método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities. Hoy Austroads).

2.4.2 Pavimento flexible

2.4.2.1 Metodología de diseño

Para el diseño estructural y dimensionamiento del pavimento se aplicarán metodologías de diseño con reconocimiento internacional y de uso actual en nuestro país, como el método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Típicamente el diseño de los pavimentos es mayormente influenciado por dos parámetros básicos:

- Las cargas del tráfico vehicular impuestas al pavimento.
- Las características de la subrasante sobre las que se asienta el pavimento.

La forma cómo se considera estos dos parámetros dependerá de la metodología que se emplea para el diseño.

- 1) Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, Equivalent Single Axle Loads 18-kip o 80-kN o 8.2 tn, que se denominan Ejes Equivalentes (EE). La sumatoria de ESALs durante el periodo de diseño es referida como (W18) o ESALD, en el presente manual se denominan número de repeticiones de EE de 8.2 tn.

Para el caso del tráfico y del diseño de pavimentos flexibles, se definen tres categorías:

- a) **Caminos de bajo volumen de tránsito** de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Cuadro 2.35:
Número de repeticiones acumuladas
de ejes equivalentes de 8.2 tn., en el carril de diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGO DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T_{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T_{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T_{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T_{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

Nota: T_{PX} : T= Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño.

PX= Pavimentada, X= número de rango (1, 2, 3, 4).

- b) Caminos que tienen un tránsito de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Cuadro 2.36:
Número de repeticiones acumuladas
de ejes equivalentes de 8.2 tn., en el carril de diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGO DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T_{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T_{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T_{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T_{P9}	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T_{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T_{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T_{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T_{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T_{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos.

Nota: T_{PX} : T= Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño.

PX= Pavimentada, X= número de rango (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13).

- c) Caminos que tienen un tránsito mayor de 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño. Esta categoría de caminos, no está incluida en los manuales del MTC, será materia de estudio especial por el ingeniero proyectista, analizando diversas alternativas de pavimento equivalentes y justificando la solución adoptada.

Cuadro 2.37:
Número de repeticiones acumuladas
de ejes equivalentes de 8.2 tn., en el carril de diseño

TIPO TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P15}	> 30'000,000 EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos.

Nota: TPX: T= Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño.

PX = Ravimentada, X = número de rango (14).

- 2) Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento, están definidas en seis (06) categorías de subrasante, en base a su capacidad de soporte CBR.

Cuadro 2.38:
Categorías de subrasante

CATEGORÍAS DE SUBSANTE	CBR
S_0 : Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S_0 : Subrasante insuficiente	De CBR \geq 3% A CBR < 6%
S_0 : Subrasante regular	De CBR \geq 6% A CBR < 10%
S_0 : Subrasante buena	De CBR \geq 10% A CBR < 20%
S_0 : Subrasante muy buena	De CBR \geq 20% A CBR < 30%
S_0 : Subrasante excelente	CBR \geq 30%

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

Se consideran como materiales aptos para las capas de subrasante suelos con CBR igual o mayor de CBR. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos u otros productos aprobados por el MTC, elevación de la rasante, cambiar el trazado vial, eligiéndose la más conveniente y económica.

Con base a estos dos parámetros, tránsito expresado en ejes equivalentes (EE) y CBR de subrasante correlacionado con módulo resiliente, se definirán las secciones de pavimento que se encuentran especificadas en los catálogos de estructuras de pavimento.

La metodología empleada para definir las secciones del catálogo de los pavimentos ha consistido en aplicar el procedimiento de la Guía AASHTO 1993, y aplicar un análisis de comportamiento del pavimento que cubre el periodo de diseño de 20 años de la estructura.

A continuación se describen las características más importantes para la aplicación de los procedimientos de cálculo usados.

Método guía AASHTO 93 de diseño

Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la subrasante para el cálculo de espesores.

Se incluye más adelante la ecuación de cálculo en la versión de la guía AASHTO – 93.

El propósito del modelo es el cálculo del Número Estructural requerido (SNr) en base al cual se identifica y determina un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que debe ser construido sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto.

I. Periodo de diseño

El cálculo del periodo de diseño para pavimentos debe realizarse teniendo en cuenta los manuales del MTC que correspondan; y en cuanto al horizonte de evaluación del PIP, se debe tener en cuenta lo dispuesto en el Anexo SNIP 10 de la Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública.

II. Variables

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_g S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{APSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_g) - 8.07$$

A partir de esta ecuación se desprenden las siguientes definiciones:

- W18, el número acumulado de ejes simples equivalentes a 18000 lb (80 kN) para el periodo de diseño, corresponde al número de repeticiones de EE de 8.2 tn; el cual se establece con base en la información del estudio de tráfico.
- Módulo de Resilencia (Mr)
El Módulo de resiliencia (Mr) es una medida de la rigidez del suelo de subrasante, el cual para su cálculo se empleará la ecuación, que correlaciona con el CBR, recomendado por el MRPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide).

$$Mr(\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

- c) Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_r)
Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad respecto a la predicción del tráfico, para caminos de bajo volumen de tránsito un nivel de confiabilidad en el rango de 65% - 80% y para los demás caminos en el rango de 80% - 95%.
- d) Desviación estándar combinada (S_o)
La desviación estándar combinada (S_o), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento, como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. La guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S_o comprendidos entre 0.40 y 0.50, en el presente manual se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45.
- e) Variación de serviciabilidad (ΔPSI)
Es la diferencia entre la serviciabilidad inicial y terminal asumida para el proyecto en desarrollo.

Cuadro 2.39:
Diferencia de Serviciabilidad (ΔPSI)
Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)
Caminos de bajo volumen de tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	1.80
	T_{P2}	300,001	500,000	1.80
	T_{P3}	500,001	750,000	1.80
	T_{P4}	750,001	1,000,000	1.80
Resto de caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	1.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	1.50
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	1.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	1.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	1.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	1.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	1.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	1.20
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	1.20
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	1.20
	T_{P15}	>30'000,000		1.20

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

f) Número Estructural Propuesto (SNR)

Los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASHTO y se obtiene el número estructural que representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea de la capa de rodadura, de base y de subbase, mediante el uso de los coeficientes estructurales, esta conversión se obtiene aplicando la siguiente ecuación.

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 = coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.

d_1, d_2, d_3 = espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.

m_2, m_3 = coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.

Según AASHTO la ecuación SN no tiene una solución única, es decir, hay muchas combinaciones de espesores de cada capa, que dan una solución satisfactoria. El ingeniero proyectista, debe realizar un análisis de comportamiento de las alternativas de estructuras de pavimento seleccionadas, de tal manera que permita decidir por la alternativa que presente los mejores valores de niveles de servicio, funcionales y estructurales, menores a los admisibles, en relación al tránsito que debe soportar la calzada.

Los valores estructurales considerados en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC son:

Cuadro 2.40:
Coefficientes estructurales de las capas del pavimento a_i

Componente del pavimento	Coefficiente	Valor Coeficiente Estructural a_i (cm)	Observación
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta asfáltica en caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F).	a_1	0.170/cm	Capa superficial recomendada para todos los tipos de tráfico
Carpeta asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125/cm	Capa superficial recomendada para tráficos $\leq 1\,000,000$ EE
Micro pavimento 25 mm	a_1	0.130/cm	Capa Superficial recomendada para tráficos de $\leq 1\,000,000$ EE
Tratamiento superficial bicapa	a_1	(*)	Capa superficial recomendada para tráfico $\leq 500,000$ E. No aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos.
Lechada asfáltica (Slurry seal) de 12mm.	a_1	(*)	Capa superficial recomendada para tráficos de $\leq 500,000$ EE. No aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos.
(*) no se considera por no tener aporte estructural.			
Base			
Base granular CBR 80%, compactada al 100% de las MDS	a_2	0.052/cm	Capa de base recomendada para tráfico $\leq 10\,000,000$ EE.
Base granular CBR 100%, compactada al 100% de las MDS	a_2	0.054/cm	Capa de base recomendada para tráfico $> 10\,000,000$ EE.
Base granular tratada con asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_2	0.115/cm	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico.
Base granular tratada con cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35kg/cm ²)	a_2	0.070/cm	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico.
Base granular tratada con cal (resistencia a la compresión 7 días = 12kg/cm ²)	a_2	0.080/cm	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico.
Subbase			
Subbase granular CBR 40%, compactada al 100% de las MDS	a_3	0.047/cm	Capa de subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de tráfico.

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

La ecuación SN de AASHTO, también requiere del coeficiente de drenaje de las capas granulares de base y subbase. Este coeficiente tiene por finalidad tomar en cuenta la influencia del drenaje en la estructura del pavimento.

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

- La calidad del drenaje.
- Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproxima a la saturación.

El cuadro 2.42 presenta valores de la calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada.

Cuadro 2.41:
Calidad del drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO - 1993.

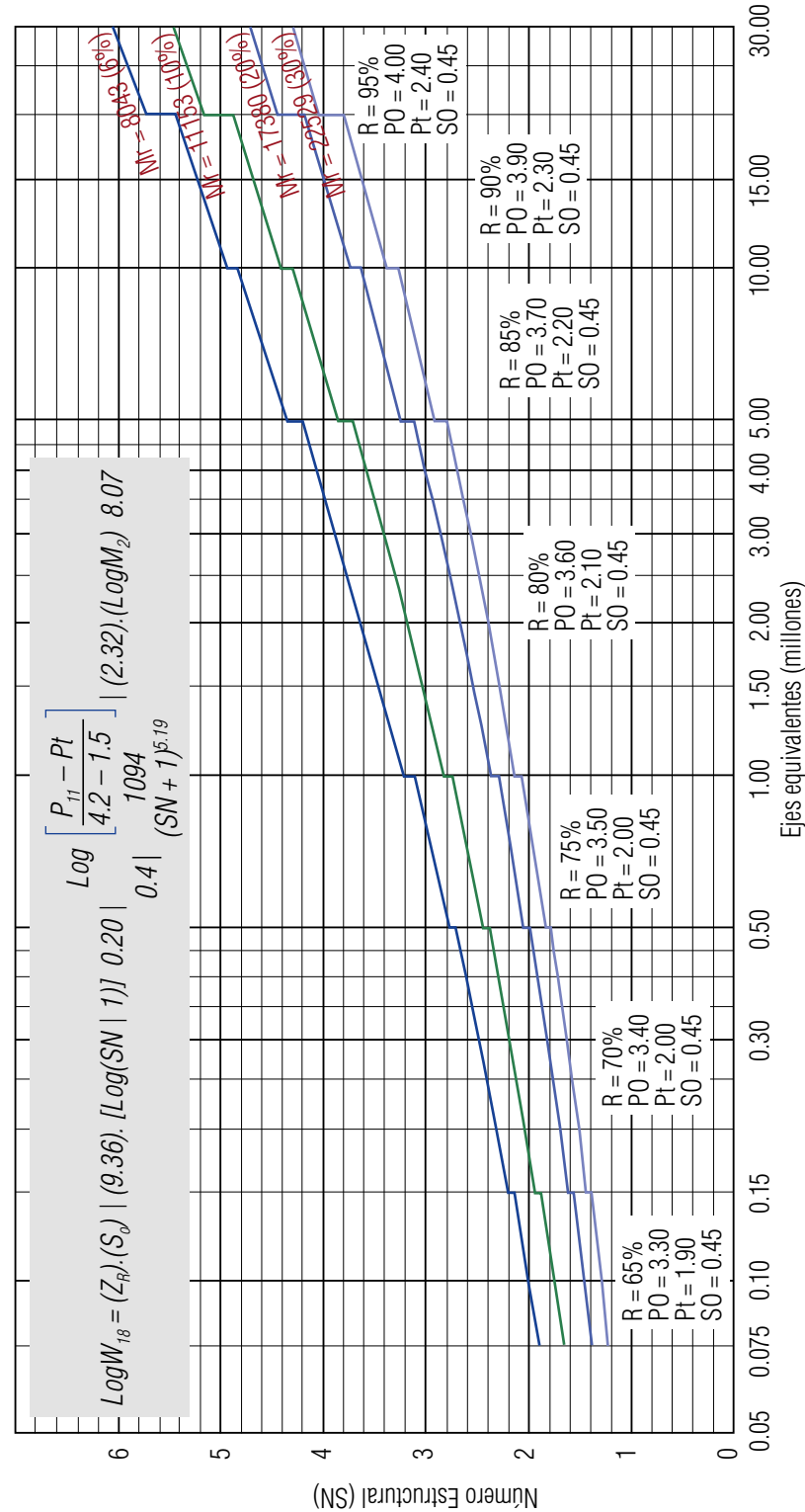
El cuadro 2.42 presenta valores de la coeficientes de drenaje m_i , para porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad del drenaje.

Cuadro 2.42:
Valores recomendados del coeficiente de drenaje m_i
para bases y subbases granulares no tratadas en pavimentos flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO - 1993.

Gráfico 2.3:
Número estructural para pavimentos flexibles (*)



(*) Para Contabilidad de diseño del Pavimento en una sola Etapa.

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

Para la definición de las secciones de estructuras de pavimento, el coeficiente de drenaje para las capas de base y subbase, asumido fue de 1.00.

En función a los parámetros requeridos por AASHTO y especificados en los cuadros anteriores, se han determinado los diferentes números estructurales requeridos para cada rango de tráfico expresado en Ejes Equivalentes (EE) y rango de tipo de suelos, según se presenta en gráfico y cuadro siguientes:

2.4.2.2 Catálogo de estructuras

Caminos de bajo volumen de tránsito

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC, capítulo XII, Pavimentos Flexibles, califica a los caminos de bajo volumen de tránsito, a los que presentan el siguiente rango de tráfico expresado en Ejes Equivalentes (EE).

Cuadro 2.43:
Rangos de tráfico

Tipos tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
T_{P0}	$> 75,000 \text{ EE} \leq 150,000 \text{ EE}$
T_{P1}	$> 150,000 \text{ EE} \leq 300,000 \text{ EE}$
T_{P2}	$> 300,000 \text{ EE} \leq 500,000 \text{ EE}$
T_{P3}	$> 500,000 \text{ EE} \leq 750,000 \text{ EE}$
T_{P4}	$> 750,000 \text{ EE} \leq 1'000,000 \text{ EE}$

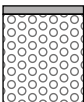
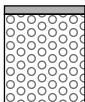
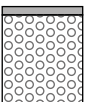
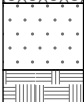
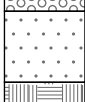
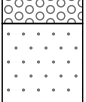


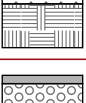
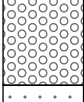
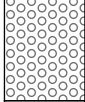
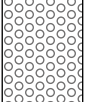
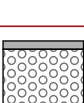
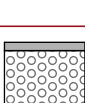
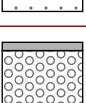
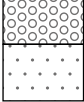
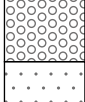
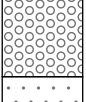

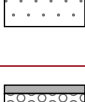
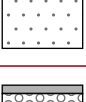
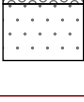
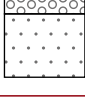
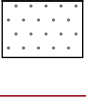
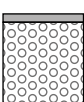
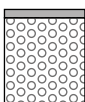
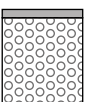


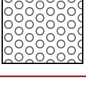
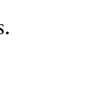








Fuente: MTC - Manual de bajo volumen de tráfico.

También recomienda los siguientes tipos de capa superficial asfáltica, con un espesor de base granular de 150 mm como mínimo.

- Tratamiento Superficial Bicapa (TSB).
- Mortero asfáltico o lechada asfáltica (Slurry Seal): 12 mm.
- Micropavimento: 25 mm.
- Carpeta asfáltica en Frío: 50 mm.


En los cuadros 2.44, 2.45, 2.46 y 2.47 se muestra secciones ilustrativas y referenciales de estructura de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito que se puede emplear para la elaboración de estudios de preinversión (perfil, factibilidad), sin embargo esto no sustituye al diseño que deberá realizar el ingeniero responsable del diseño, principalmente en la formulación de expedientes técnicos o estudios definitivos.

Cuadro 2.44:
Catálogo de estructuras mortero asfáltico o lechada asfáltica (Slurry Seal)
Periodo de fiseño 10 años

EE		Tp0		Tp1		Tp2	
		75,001-150,000		150,001-300,000		300,001-500,000	
CB R %	Mg $2555 \times CBR^{0.64}$	1.2 cm		1.2 cm		1.2 cm	
CBR < 6%	$\leq 8,040$ psi (55.4 MPa)	25 cm		30 cm		30 cm	
		18 cm		20 cm		25 cm	
		(*)		(*)		(*)	
$\geq 6\%$ CBR < 10%	$> 8,040$ psi (55.4 MPa) $\leq 11,150$ psi (76.9 MPa)	1.2 cm		1.2 cm		1.2 cm	
		25 cm		30 cm		30 cm	
		18 cm		20 cm		25 cm	
$\geq 10\%$ CBR < 20%	$> 11,150$ psi (76.9 Mpa) $\leq 17,380$ psi (119.8 MPa)	1.2 cm		1.2 cm		1.2 cm	
		25 cm		25 cm		25 cm	
		15 cm		20 cm		23 cm	
$\geq 20\%$ CBR < 30%	$> 17,380$ psi (119.8 MPa) $\leq 22,530$ psi (155.3 MPa)	1.2 cm		1.2 cm		1.2 cm	
		18 cm		20 cm		25 cm	
		15 cm		17 cm		15 cm	
CBR $\geq 30\%$	$> 22,530$ psi (155.3 MPa)	1.2 cm		1.2 cm		1.2 cm	
		27 cm		32 cm		35 cm	

 Mortero asfáltico

 Base granular

 Subbase granular

Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.

(*) Suelo de fundación.

Cuadro 2.45:
Catálogo de estructuras Tratamiento Superficial Bicapa (TSB)
Periodo de diseño 10 años

EE		Tp0	Tp1	Tp2
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000
CB R %	Mg $2555 \times \text{CBR}^{0.64}$	T.S.B. 25 cm	T.S.B. 30 cm	T.S.B. 30 cm
CBR < 6%	$\leq 8,040$ psi (55.4 MPa)	18 cm (*)	20 cm (*)	25 cm (*)
$\geq 6\%$ CBR < 10%	$> 8,040$ psi (55.4 MPa) $\leq 11,150$ psi (76.9 MPa)	T.S.B. 25 cm 18 cm	T.S.B. 30 cm 20 cm	T.S.B. 30 cm 25 cm
$\geq 10\%$ CBR < 20%	$> 11,150$ psi (76.9 MPa) $\leq 17,380$ psi (119.8 MPa)	T.S.B. 25 cm 15 cm	T.S.B. 25 cm 20 cm	T.S.B. 25 cm 23 cm
$\geq 20\%$ CBR < 30%	$> 17,380$ psi (119.8 MPa) $\leq 22,530$ psi (155.3 MPa)	T.S.B. 18 cm 15 cm	T.S.B. 20 cm 17 cm	T.S.B. 25 cm 15 cm
CBR $\geq 30\%$	$> 22,530$ psi (155.3 MPa)	T.S.B. 27 cm	T.S.B. 32 cm	T.S.B. 35 cm



T.S.B.



Base granular












































































Subbase granular

Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.

(*) Suelo de fundación.

Cuadro 2.46:
Catálogo de estructuras micropavimento
Periodo de diseño 10 años

EE		Tp0		Tp1		Tp2		Tp3		Tp4	
		75,001-150,000		150,001-300,000		300,001-500,000		500,001-750,000		750,001-1'000,000	
CB R %	Mg 2555xCBR ^{0.64}	2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm	
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	25 cm		25 cm		30 cm		30 cm		35 cm	
		15 cm (*)		20 cm (*)		20 cm (*)		25 cm (*)		22 cm (*)	
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa)	2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm.		2.5 cm	
	≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	25 cm		25 cm		30 cm		30 cm		35 cm	
		18 cm		20 cm		20 cm		25 cm		22 cm	
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 Mpa)	2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm	
	≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	20 cm		23 cm		25 cm		30 cm		30 cm	
		15 cm		15 cm		17 cm		16 cm		20 cm	
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa)	2.5 cm		2.5 cm.		2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm	
	≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	26 cm		30 cm		20 cm		23 cm		25 cm	
						15 cm		15 cm		15 cm	
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm		2.5 cm	
		22 cm		26 cm		16 cm		20 cm		20 cm	
						15 cm		15 cm		16 cm	

Macropavimento Base granular Subbase granular


Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.
(*) Suelo de fundación.

Cuadro 2.47:
Catálogo de estructuras con mezcla asfáltica en frío
Periodo de diseño 10 años

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000
CB R %	Mg $2555 \times CBR^{0.64}$	5 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm
CBR < 6%	$\leq 8,040$ psi (55.4 MPa)	18 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm
		15 cm (*)	15 cm (*)	17 cm (*)	20 cm (*)	21 cm (*)
$\geq 6\%$ CBR < 10%	$> 8,040$ psi (55.4 MPa) $\leq 11,150$ psi (76.9 MPa)	5 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm
		18 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm
		15 cm	15 cm	17 cm	20 cm	21 cm
$\geq 10\%$ CBR < 20%	$> 11,150$ psi (76.9 MPa) $\leq 17,380$ psi (119.8 MPa)	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm
		26 cm	17 cm	20 cm	20 cm	20 cm
			15 cm	15 cm	16 cm	20 cm
$\geq 20\%$ CBR < 30%	$> 17,380$ psi (119.8 MPa) $\leq 22,530$ psi (155.3 MPa)	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm
		20 cm	25 cm	25 cm	26 cm	30 cm
CBR $\geq 30\%$	$> 22,530$ psi (155.3 MPa)	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm
		17 cm	20 cm	22 cm	25 cm	25 cm


Carpeta asfáltica
en frío


Base granular


Subbase granular

Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.

(*) Suelo de fundación.

2.4.2.3 Procedimiento para determinar el espesor de capas tratadas o estabilizadas

El procedimiento para determinar el espesor de capas tratadas o estabilizadas se efectúa mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{SN}{a_i} = \frac{a_m \times e_m}{a_i}$$

Siendo:

SN= Número estructural de la capa a reemplazar (base o subbase).

a_m = Coeficiente estructural de la capa a reemplazar (base o subbase).

e_m = Espesor de la capa a reemplazar (base o subbase).

a_i = Coeficiente estructural de la capa tratada o estabilizada a colocar.

E = Espesor de la capa tratada o estabilizada a colocar.

Ejemplo:

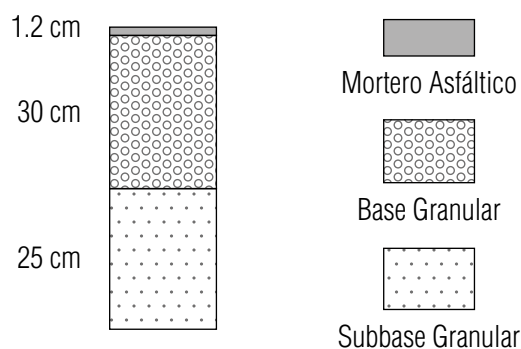
Se requiere estructurar un pavimento de bajo volumen de tránsito con mortero asfáltico o lechada asfáltica (slurry seal). No existe en la zona del proyecto cantidad suficiente de material de base granular, por lo que se debe plantear la alternativa de utilizar base granular tratada con cemento para reducir espesor. Se dispone de los siguientes datos obtenidos en campo y laboratorio:

Ejes equivalentes (EE) = 450,000

CBR = 9% al 95% de la MDS.

Solución:

Utilizamos el catálogo de estructuras mortero asfáltico (cuadro 2.44), 6% < CBR > 10%, Tp2: 300,001 – 500,000, obteniendo la siguiente estructura:



Para determinar el espesor de la base granular tratada con cemento, se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = \frac{a_m \times e_m}{a_i}$$

$a_m = 0.052/\text{cm}$ = Coeficiente estructural de base granular (ver cuadro 2.40).

$e_m = 30 \text{ cm}$ = Espesor de la capa de base granular a reemplazar.

$a_i = 0.07/\text{cm}$ = Coeficiente estructural de base granular tratada con cemento (ver cuadro 2.40).

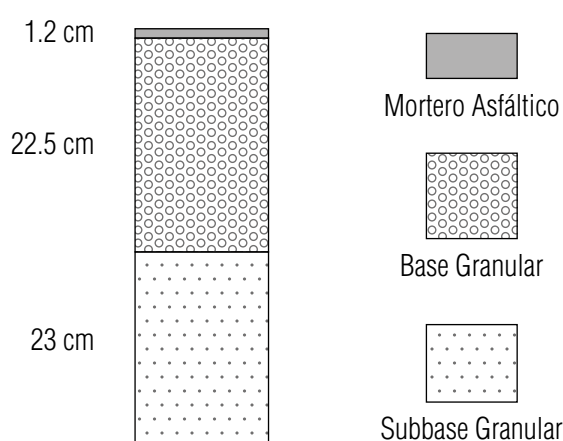
E = Espesor de la capa de base granular tratada con cemento.

$$E = \frac{0.052 \times 30}{0.07} = 22.28$$

Finalmente por consideraciones constructivas se toma como espesor de la base tratada con cemento 22.5 cm.

$$E = 22.28 \text{ cm.}$$

Quedando finalmente la estructura del pavimento:



Nota:

1. El tipo de estabilización será definido mediante un estudio específico y de darse el caso la determinación del a_i , coeficiente estructural del material a colocar/cm.
2. Previa a la colocación de la capa superficial asfáltica delgada, se deberán considerar los eventuales riegos de adherencia, imprimación y curado.

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC, capítulo XII Pavimentos Flexibles, presenta el siguiente rango de tráfico expresado en Ejes Equivalentes (EE).

Cuadro 2.48:
Rangos de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR
Resto de caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	Carpeta asfáltica en caliente: 80mm	200 mm
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 90mm	200 mm
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 90mm	200 mm
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	Carpeta asfáltica en caliente: 100mm	250 mm
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 110mm	250 mm
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	Carpeta asfáltica en caliente: 120mm	250 mm
	T _{P11}	12'500,001	15'500,000	Carpeta asfáltica en caliente: 130mm	250 mm
	T _{P12}	15'500,001	20'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 140mm	250 mm
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 150mm	300 mm
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 150mm	300 mm

Fuente: Manual de Carreteras MTC, de Alto y Bajo Volumen.


También recomienda un espesor de base granular de 200 mm como mínimo y como capa superficial concreto (carpeta) asfáltica en caliente de un espesor mínimo de 80 mm.

En los cuadros 2.49 y 2.50 se muestra secciones ilustrativas y referenciales de estructura de pavimento que se puede emplear para la elaboración de estudios de preinversión (perfil, factibilidad), sin embargo, esto no sustituye al diseño que deberá realizar el ingeniero responsable del diseño, principalmente en la formulación de expedientes técnicos o estudios definitivos.

Cuadro 2.49:
Catálogo de estructuras de pavimento semirrígido con base tratada con asfalto
Periodo de diseño por etapas 10 años

Rep. de EE (2)		Ep0	Ep1	Ep2	Ep3	Ep4	Ep5	Ep6	Ep7
1ra. Etapa	Nrep. EE. Hasta 10 años (1era. Etapa)	60,000	60,001-120,000	120,001-200,000	200,001-300,000	300,001-400,000	400,001-600,000	600,001-1'200,000	1'200,001-2'000,000
	Nrep. EE. Total 20 años (2da. Etapa)	75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,000-750,000	750,001-1'000,000	1'000,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
1ra. Etapa	CBR% Mr 2555Xcb ^{0.64}	3 cm 11 cm <>	5 cm 15 cm <>	6 cm 15 cm <>	6 cm 16 cm <>	6 cm 18 cm <>	7 cm 15 cm 15 cm <>	8 cm 15 cm 15 cm <>	9 cm 16 cm 15 cm <>
2da. Etapa	Refuerzo al año 10	4 cm	Micropavimento e=3.0 cm	4 cm	6 cm	5 cm	Micropavimento e=2.5 cm	5 cm	6 cm
1ra. Etapa	>6% CBR <8,040 psi <55.4MPa	5 cm 11 cm	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 16 cm	6 cm 18 cm	7 cm 15 cm 15 cm	8 cm 15 cm 15 cm	9 cm 16 cm 15 cm
2da. Etapa	Refuerzo al año 10	4 cm	Micropavimento e=3.0 cm	4 cm	6 cm	5 cm	Micropavimento e=2.5 cm	5 cm	6 cm
1ra. Etapa	>10% CBR <11,150 psi <76.9MPa	5 cm 10 cm	5 cm 11 cm	6 cm 11 cm	6 cm 13 cm	6 cm 15 cm	7 cm 15 cm	8 cm 17 cm	9 cm 18 cm
2da. Etapa	Refuerzo al año 10	Micropavimento e=2.5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	4 cm	5 cm	5 cm	6 cm
1ra. Etapa	>20% CBR <17,380 psi <22.530 MPa	5 cm 10 cm	5 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	7 cm 15 cm	8 cm 15 cm	9 cm 15 cm
2da. Etapa	Refuerzo al año 10	Mortero asfáltico e=1.2 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Micropavimento e=3.0 cm	6 cm	Mortero asfáltico e=1.2 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Micropavimento e=2.5 cm
1ra. Etapa	>22,530 psi <155.3 MPa	5 cm 10 cm	5 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	7 cm 15 cm	8 cm 15 cm	9 cm 15 cm
2da. Etapa	Refuerzo al año 10	Mortero asfáltico e=1.2 cm	Mortero asfáltico e=1.2 cm	Mortero asfáltico e=1.2 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Mortero asfáltico e=1.2 cm	Mortero asfáltico e=1.2 cm	Mortero asfáltico e=1.2 cm

Fuente: Manual de Carreteras - MTC.


Cuadro 2.50:
Catálogo de estructuras de pavimento semirrígido con base tratada con asfalto
Periodo de diseño por etapas 10 años

Nrep. de EE (2)		Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Nrep. EE. Hasta 10 años (1era. Etapa)		2'000,001-3'000,000	3'000,001-4'000,000	4'000,001-5'000,000	5'000,001-6'000,000	6'000,001-8'000,000	8'000,001-10'000,000	10'000,001-12'000,000
Nrep. EE. Total 20 años (2da. Etapa)		5'000,001-7'500,000	7'500,001-10'000,000	10'000,001-12'500,000	12'500,001-15'000,000	15'000,001-20'000,000	20'000,001-25'000,000	25'000,001-30'000,000
1ra Etapa	CBR%	10 cm 18 cm 15 cm <x>	10 cm 20 cm 15 cm <x>	11 cm 20 cm 15 cm <x>	11 cm 20 cm 17 cm <x>	12 cm 20 cm 20 cm <x>	13 cm 25 cm 15 cm <x>	13 cm 25 cm 15 cm <x>
	Mr < 8,040 psi < 55,4MPα							
2da Etapa	Refuerzo al año 10	5cm	5cm	6cm	6cm	5cm	5cm	6cm
1ra Etapa	> 6% CBR < 10%	10cm 18cm 15cm	10cm 20cm 15cm	11cm 20cm 15cm	11cm 20cm 17cm	12cm 20cm 20cm	13cm 25cm 15cm	13cm 25cm 15cm
	< 8,040 psi < 55,4MPα							
2da Etapa	Refuerzo al año 10	5cm	5cm	6cm	6cm	5cm	5cm	6cm
1ra Etapa	> 10% CBR < 20%	10cm 20cm	10cm 21cm	11cm 22cm	11cm 23cm	12cm 25cm	13cm 25cm	13cm 25cm
	< 11,150 psi < 76,9MPα							
2da Etapa	Refuerzo al año 10	5cm	6cm	5cm	5cm	4cm	6cm	6cm
1ra Etapa	> 20% CBR < 30%	10cm 15cm	10cm 15cm	11cm 16cm	11cm 17cm	12cm 17cm	10cm 18cm	10cm 20cm
	< 17,380 psi < 119,8MPα							
2da Etapa	Refuerzo al año 10	4cm	6cm	5cm	5cm	5cm	6cm	5cm
1ra Etapa	> 22,530 psi < 155,3 MPα	10cm 15cm	10cm 15cm	11cm 15cm	11cm 15cm	12cm 15cm	13cm 15cm	13cm 16cm
	< 22,530 psi < 155,3 MPα							
2da Etapa	Refuerzo al año 10	Micropavimento e=2.5 cm.	Micropavimento e=2.5 cm.	Micropavimento e=3.0 cm.	4cm	4cm	5cm	6cm

Fuente: Manual de Carreteras - MTC.


 Carpeta y/o Refuerzo
 Asfáltico en caliente


 Bases tratadas con asfalto


 Subbase granular

2.5 Tecnologías de pavimentación (Soluciones Básicas) según zona geográfica

En el Perú hay una gran diversidad de zonas geográficas, y por ende de climas que afectan el desempeño de los pavimentos. La temperatura y las precipitaciones de lluvia tienen influencia en el desempeño de los pavimentos. El impacto de la variación de temperaturas y el nivel de sensibilidad al deterioro de las estructuras de pavimentos, especialmente los pavimentos flexibles, con respecto al fisuramiento y ahuellamiento.

Para el caso de la aplicación de la estabilización de suelos en el caso de soluciones básicas la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones recomienda lo siguiente:

Cuadro 2.51:
Especificaciones técnicas de tipos de estabilizadores
y su aplicación según región

ZONA	MATERIALES O SUELOS PREDOMINANTES	ESTABILIZADOR DE SUELOS APLICABLE
COSTA (Altitud: hasta 500 msnm)	Suelos granulares, de nula a baja plasticidad (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)	<ul style="list-style-type: none"> – Sales – Cemento Portland, ceniza volcánica, Puzolana – Emulsión asfáltica – Productos químicos (aceites sulfonados, polímeros, enzimas, sistemas etc.)
SIERRA (Altitud: entre 500 y 4800 msnm)	Suelos granulares, de nula a plasticidad media (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)	<ul style="list-style-type: none"> – Cemento Portland, ceniza volcánica, Puzolana – Emulsión asfáltica – Productos químicos (aceites sulfonados, polímeros, enzimas, etc.)
CEJA DE SELVA Y SELVA ALTA (Altitud: entre 400 y 1000 msnm)	Suelos granulares, de nula a plasticidad alta (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7)	<ul style="list-style-type: none"> – Cemento Portland, ceniza volcánica, Puzolana – Emulsión asfáltica - cal – Productos químicos (aceites sulfonados, polímeros, enzimas, etc.)
SELVA BAJA (Altitud: menor a 400 msnm)	Suelos limo-arcillosos, arcillas, arcillas arenosas y arenas predominantemente finas (Clasificación AASHTO: A-2-4, A-3, A-6, A-7)	<ul style="list-style-type: none"> – Cemento Portland, ceniza volcánica, Puzolana – Emulsión asfáltica - cal – Productos químicos (aceites sulfonados, polímeros, enzimas, etc.)

Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.

2.6 Ventajas y desventajas de las tecnologías de pavimentación por zonas geográficas

Las diferentes zonas geográficas en el territorio tienen su propio clima y altitud y podrían provocar diversos efectos sobre la estructura del pavimento. Los principales elementos del clima usualmente considerados en el diseño de pavimentos son las temperaturas extremas y el agua. Así, afectan:

- al módulo de rigidez,
- a la estabilidad de las mezclas
- en las dilataciones
- zonas en épocas de heladas
- zonas lluviosas o de inundaciones

Estos problemas se deben resolver por medio de un adecuado diseño de drenaje el cual otorga la capacidad a la estructura para evacuar el agua que se infiltra en las diferentes capas granulares y la subrasante. Además, el problema se puede resolver diseñando para condiciones estructurales saturadas lo que conlleva a mayores espesores de capas.

La capacidad estructural de los pavimentos flexibles posee una alta sensibilidad a las variaciones de las condiciones hídricas.

Los pavimentos flexibles, son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura debido a su comportamiento viscoso. La resistencia de estos materiales es inversamente proporcional a la temperatura.

Respecto a la aplicación de pavimentos económicos o soluciones básicas, es necesario considerar los aspectos climáticos para la selección del tipo de solución o producto a ser considerado en cada caso.

2.7 Protocolo de aplicación de soluciones básicas⁵ en caminos no pavimentados

Objetivo

Establecer los criterios, procedimientos y especificaciones técnicas que deben considerarse en el diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento de las soluciones básicas a emplearse en las capas de rodadura de carreteras no pavimentadas.

5 Protocolo aprobado mediante R.D. N° 024-2014-MTC.

Finalidad

Las soluciones básicas tienen por finalidad, mejorar la vida útil y nivel de servicio de las superficies de rodadura de las carreteras no pavimentadas, que sufren rápido deterioro por efecto del tránsito y el clima, formándose baches, encalaminado, desprendimiento de agregados y emisión de polvo, posibilitando que dichas capas de rodadura tengan menor grado de deterioro, estén exentas de polvo, demanden menor frecuencia de mantenimiento periódico, y permitan el tránsito vehicular durante cualquier época del año.

El mejoramiento de la vida útil, está referida a incrementar el periodo de diseño de 5 años (afirmado) a 10 años (solución básica), y la posibilidad de programar las actividades de mantenimiento periódico en tiempos previsibles, lo que no ocurre actualmente con las capas de afirmado convencional.

Las soluciones básicas, implican una mayor inversión inicial por la incorporación de un estabilizador al material conformante de la capa de rodadura con el empleo de equipos convencionales, sobre la cual podría colocarse además un recubrimiento bituminoso. Dichos mayores costos iniciales, se revierten ampliamente, por los menores costos de las actividades de mantenimiento, durante el periodo de servicio del proyecto, implicando una mejor utilización de los recursos del Estado.

De este modo, las soluciones básicas además de los beneficios de orden técnico y económico antes mencionados, tienen efectos sociales y ambientales favorables, que se logran en la zona de influencia de la carretera, plasmados en la mejora de la calidad de vida de la población (habitantes aledaños y usuarios), menores costos de operación de los vehículos, menor impacto ambiental sobre los recursos hídricos y calidad del aire, principalmente.

En tal sentido, es necesario que las entidades responsables de la gestión vial, apliquen las soluciones básicas, tanto en la ejecución de los proyectos como en las actividades de mantenimiento, evitando continuar con el empleo de afirmado como capas de rodadura de las carreteras no pavimentadas.

Definición

Las soluciones básicas son alternativas técnicas, económicas y ambientales, que consisten, principalmente, en la aplicación de estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos y otros, posibilitando que las capas de rodadura de las carreteras no pavimentadas, tengan una mayor vida útil y presten un mejor nivel de servicio.

Principales criterios de aplicación

La aplicación de las soluciones básicas, es de acuerdo a las características particulares de cada proyecto, principalmente en función a su ubicación y tipo de suelo predominante.

Por consiguiente, no hay solución de carácter general, debiendo seleccionarse la alternativa aplicable a cada proyecto, por cuanto no es posible utilizar indistintamente un determinado estabilizador, en diversos tipos de suelos y/o condiciones climáticas.

Las condiciones climáticas de cada proyecto (temperatura y precipitaciones pluviales), según su ubicación (costa, sierra y selva), es determinante para la selección de la alternativa de solución. Por ejemplo, con un estabilizador que funciona bien en una carretera de la costa, no se obtendría el mismo resultado en la sierra o selva.

Esta directiva comprende las soluciones básicas aplicables a la capa de rodadura de las carreteras no pavimentadas del SINAC, a nivel de rehabilitación, mejoramiento, construcción y mantenimiento. No incluye las condiciones mínimas que debe cumplir la subrasante, las mismas que deben estar de acuerdo a la normativa vigente.

Cada proyecto en particular tiene una alternativa de solución básica aplicable, en función a los materiales existentes en las zonas adyacentes a la carretera, con el criterio de minimizar el empleo de materiales provenientes de fuentes lejanas al proyecto.

Por lo general, las superficies de rodadura de las soluciones básicas, están conformadas por la capa de suelo estabilizado; sin embargo, de existir predominancia de tráfico pesado, debe evaluarse la adición de un recubrimiento bituminoso.

Las soluciones básicas no requieren el uso de equipos especiales, tanto para los ensayos de laboratorio como para la ejecución de la obra. Por lo general, se requiere el siguiente equipo mecánico convencional: camión cisterna, motoniveladora, rodillo, cargador frontal, camión volquete, excavadora y otros.

Especificaciones técnicas

Se establece las siguientes especificaciones técnicas:

- a) El cuadro siguiente, contiene las especificaciones técnicas de los tipos de estabilizadores de suelos y los parámetros máximos y/o mínimos que deben cumplir los suelos estabilizados, tanto en el diseño como en la ejecución de la obra:

Cuadro 2.52:
Especificaciones técnicas de tipos de estabilizadores y parámetros

Suelo estabilizado con	Parámetros
Cemento	1. Resistencia a compresión simple = 1.8 MPa mínimo (MTC E 1103) 2. Humedecimiento-secado (MTC E 1104): - Para suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A3 = 14 % de pérdida máxima - Para suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A5 = 10 % de pérdida máxima - Para suelos A-6; A-7 = 7 % de pérdida máxima
Emulsión asfáltica	1. Estabilidad Marshall = 230 Kg mínimo (MTC E 504) 2. Pérdida de estabilidad después de saturado = 50% máximo 3. Porcentaje de recubrimiento y trabajabilidad de la mezcla debe estar entre 50 y 100%
Cal	1. CBR = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) 2. Expansión nula
Sales	1. CBR = 100% mínimo, CBR no saturado (MTC E 115, MTC E 132)
Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, etc.)	1. CBR = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) 2. Expansión nula

Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.

- b) Los recubrimientos bituminosos que se coloquen como parte de las soluciones básicas (micropavimentos, slurry seal o mortero asfáltico, imprimación reforzada, tratamientos superficiales, etc.), cumplirán las especificaciones técnicas, establecidas en los respectivos manuales de carreteras vigentes.
- c) El cuadro 2.51 contiene las especificaciones técnicas de los tipos de estabilizadores y su aplicación de acuerdo a la región donde se ubica el proyecto, condiciones climatológicas y materiales disponibles en la zona.

Pautas de diseño

El diseño de la solución básica a emplearse en un determinado proyecto debe seguir las siguientes pautas principales:

- a. Identificación y muestreo en campo de los suelos disponibles en las zonas adyacentes al proyecto, que sean factibles de utilización en la solución básica.
- b. Ejecución de ensayos a nivel de laboratorio de las muestras obtenidas, a fin de determinar sus características físico-mecánicas y químicas; asimismo, sus condiciones de uso, tales como mezcla de diferentes suelos, zarandeo y otros.

- c. Ejecución de ensayos a nivel de laboratorio, evaluando como mínimo tres (03) tipos de estabilizadores de suelos, aplicables de acuerdo a las especificaciones técnicas de las presentes pautas, a fin de seleccionar la solución básica aplicable, teniendo en consideración lo siguiente:
- El procedimiento de mezclado de los suelos y el estabilizador a nivel de laboratorio debe ser coherente o representar las condiciones reales de trabajo en obra.
 - Para la obtención de la dosificación óptima que debe aplicarse, se emplearán como mínimo 04 dosificaciones diferentes, con cuyos valores se trazará la curva: dosificación vs CBR y/o resistencia a compresión simple; de cada uno de los estabilizadores utilizados. Para suelos que presentan índice de plasticidad, debe medirse resistencia y expansión.
 - Los parámetros de resistencia y/o expansión de la muestra del suelo estabilizado compactado, se obtendrán después de un periodo de curado húmedo de siete (07) días.
 - Solamente para la ejecución del ensayo de CBR a nivel de laboratorio, se sumergirá en agua durante 96 horas (04 días) la muestra de suelo estabilizado compactado, inmediatamente después de cumplir su periodo de curado. Se exceptuarán de este paso los suelos estabilizados con sales.
- d. El procedimiento de selección del estabilizador de suelos, puede dar como resultado, más de una alternativa técnica de solución aplicable, en cuyo caso debe optarse por la de menor costo.
- e. Seleccionado el estabilizador a emplearse (sólido y/o líquido), debe indicarse la **fórmula de trabajo** de la capa estabilizada, que comprenderá:
- Dosificación del estabilizador y modo de aplicación (líquido en el agua del camión cisterna y sólido sobre el suelo a estabilizarse).
 - Suelo o dosificación de suelos a utilizarse.
 - Procedimiento de mezclado (en planta o sobre plataforma).
 - Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la mezcla (estabilizador más suelo).
 - Grado de compactación del suelo estabilizado colocado y compactado.
- f. El espesor de la capa de rodadura será calculado para un periodo de diseño de 10 años, considerando frecuencias de mantenimiento periódico cada 04 años.
- g. Las presentes pautas abarcan las soluciones básicas de la capa de rodadura; sin embargo, para que su comportamiento estructural sea adecuado, es necesario que la subrasante cumpla con las características mínimas establecidas en los manuales

de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG - 2013) y Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección Suelos y Pavimentos.

- h. Por seguridad vial, la capa de rodadura de la solución básica debe tener un ancho mínimo de 5.00 m. en carreteras de tercera clase, y de 4.00 m. en trochas carrozables; si no es posible cumplir dichos anchos mínimos en determinados sectores localizados, la entidad ejecutora podrá adoptar anchos menores con la justificación técnica correspondiente. Asimismo debe contemplarse la señalización vertical necesaria.
- i. Con la finalidad que la capa de rodadura tenga un adecuado drenaje superficial, debe diseñarse con el bombeo y cunetas, establecidas en las normas vigentes.
- j. En esta etapa se definirá si la superficie de rodadura de la solución básica seleccionada, estará constituida por la capa de suelo estabilizado o requerirá la adición de un recubrimiento bituminoso.
- k. En esta etapa se especificará el equipo mínimo requerido, tanto para los ensayos de laboratorio como para la ejecución de la obra.

Construcción

En la etapa de ejecución del proyecto, debe cumplirse la **fórmula de trabajo** de la solución básica seleccionada, considerando las siguientes pautas:

- a. Provisión del equipo de laboratorio y equipo mecánico requerido para la ejecución de la obra.
- b. Explotación y procesamiento del suelo o suelos a utilizarse en la capa estabilizada.
- c. Provisión en obra del estabilizador de suelo seleccionado y almacenamiento en condiciones adecuadas para preservar sus propiedades.
- d. Ejecución de un tramo de prueba no menor a 300 m. de longitud, con la finalidad de lograr la **fórmula de trabajo**, y establecer las condiciones de ejecución (dosificación, procedimiento de mezclado, esparcido, espesor esponjado, compactación, frecuencia de riegos para el curado y otros).
- e. Sobre la subrasante debidamente preparada, demarcar los alineamientos, anchos y espesores de la capa estabilizada.
- f. Según corresponda, transporte, colocación, mezclado y homogenización, riego, perfilado, compactación y curado de la capa de suelo estabilizado.
- g. Para lograr un adecuado curado, por lo general es necesario mantener húmeda la superficie durante 07 días, aplicando riegos periódicos.

- h. En caso que la solución básica contenga un recubrimiento bituminoso, este se colocará después que la capa estabilizada, haya sido concluida y aprobada por la supervisión.
- i. El grado de compactación mínimo será el 95% de la máxima densidad seca, con excepción de los suelos estabilizados con sales, que será del 100%. Estos valores deben alcanzarse en todo el ancho de la capa estabilizada.
- j. Por lo general, luego de concluir el proceso de compactación de la capa estabilizada, puede ponerse al tránsito vehicular; sin embargo este debe suspenderse en caso se observe deformaciones o desprendimiento.
- k. En caso de presentarse sectores con fallas, tales como deformaciones o desprendimientos, o no se cumplieran los controles de calidad, deberá reemplazarse la capa colocada, o mediante escarificación y adición de estabilizador para recuperar la **fórmula de trabajo**.
- l. En el cuadro se establecen los parámetros de aceptación de los trabajos:

Cuadro 2.54:
Parámetros para aceptación de los trabajos

Ensayo	Tolerancia	Frecuencia
Grado de compactación	95% mínimo, excepto en suelos estabilizados con sales, que debe ser 100% mínimo	Cada 250 m ²
Óptimo contenido de humedad	±1.5%	Cada 250 m ²
Espesor	Espesor medio > Espesor de diseño Espesor individual > 95% Espesor de diseño	Cada 250 m ²
Uniformidad de la superficie	Medición paralela y transversal al eje de la vía, efectuada con regla de 3 m.; no deben existir variaciones mayores a 10 mm.	Cada 250 m ²
Resistencia	Resistencia media > Resistencia de diseño Resistencia individual > 95% Resistencia de diseño	03 muestras por día o jornada de trabajo
Granulometría	Estos ensayos se deben ejecutar antes del mezclado con el estabilizador.	01 muestra por día o jornada de trabajo
índice plástico		
Proctor modificado		
Rugosidad (IRI)	5.0 m/Km máximo	En toda la sección después de 08 días
Penetrómetro dinámico de cono	Resistencia media > Resistencia de diseño Resistencia individual > 95% Resistencia de diseño	03 mediciones por jornada de trabajo después de 08 días

Fuente: MTC - Dirección de Estudios Especiales.

Mantenimiento y monitoreo

En esta etapa se tendrá en consideración las siguientes pautas:

- a) Los trabajos de mantenimiento rutinario deben efectuarse de acuerdo a lo establecido en el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial, vigente, precisándose que no debe colocarse material suelto en los baches u otras deficiencias que pudieran presentarse. El tratamiento de baches debe realizarse con material similar a la capa estabilizada.
- b) Las actividades de mantenimiento periódico, se ejecutarán en periodos de 4 años, que por lo general consiste en la escarificación parcial de la capa de la solución básica, y recuperar su espesor original, mediante un tratamiento con material similar a la capa estabilizada.
- c) Teniendo en consideración que las soluciones básicas, son tecnologías que requieren monitoreo, a fin de evaluar sus resultados y de ser el caso, efectuar ajustes en la normativa, es necesario se lleve a cabo labores de evaluación ex post en forma periódica, por parte de los responsables de la gestión del mantenimiento de la vía.
- d) La Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (DGCF), a través de la Dirección de Estudios Especiales (DEE), en el marco de sus funciones de promover la investigación y desarrollo de tecnologías aplicables a la construcción, rehabilitación, mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura vial, brindará el apoyo tecnológico para el desarrollo de las soluciones básicas.
- e) Considerando la existencia de diversos estabilizadores químicos en el mercado, es necesario comprobar su aplicabilidad acorde a las especificaciones técnicas de la presente directiva. Dicha comprobación, será realizada por la Dirección de Estudios Especiales de la DGCF, para lo cual los proveedores interesados, podrán alcanzar muestras del producto que representan, para los análisis de laboratorio correspondientes, luego de lo cual, la indicada DEE publicará periódicamente en la página web del MTC, la relación de los estabilizadores que pueden ser elegidos, para el procedimiento de diseño establecido en la presente directiva.

***Fotos 2.1:
Búsqueda de prueba***



***Fotos 2.2:
Ensayos de laboratorio***

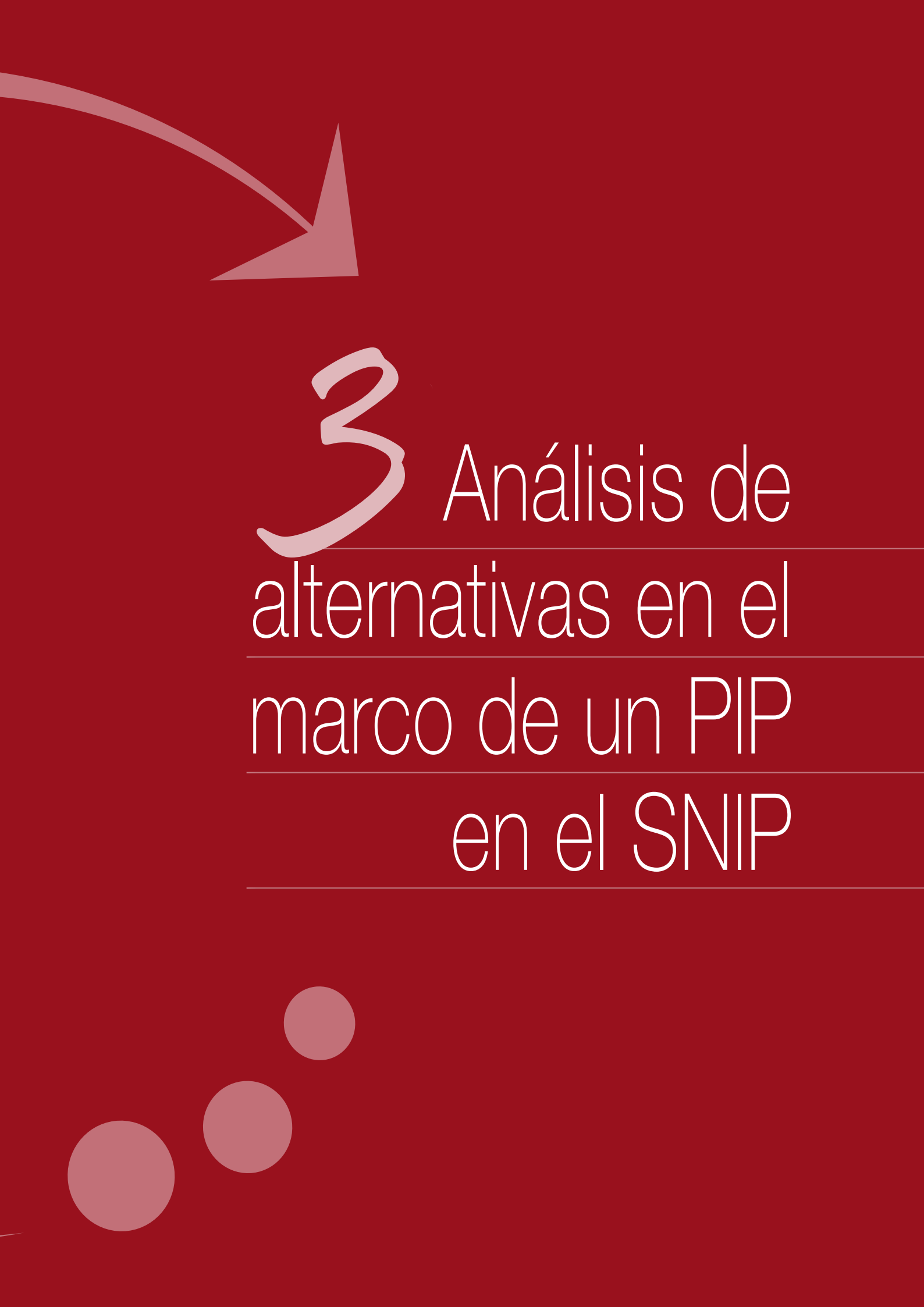


Pautas metodológicas para alternativas técnicas de pavimentos en PIP de carreteras

Fotos 2.3:
Proceso constructivo







3

Análisis de alternativas en el marco de un PIP en el SNIP



3. Análisis de Alternativas en el Marco de un PIP en el SNIP

3.1 Recomendación para el uso de tecnologías de pavimentos económicos en un PIP en el marco del SNIP

En el marco del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) a nivel de estudio de perfil se recomienda las siguientes alternativas dependiendo del nivel de tráfico:

Cuadro 3.1:
Recomendaciones en el planteamiento de alternativas tecnológicas de pavimentos

TRÁFICO (IMD) Vehículos	Alternativas a ser consideradas	
	Alternativa 1	Alternativa 2
1-30	Lastrado	Afirmado
30-100	Afirmado	Afirmado mejorado
100-250	Afirmado mejorado con protección	Solución básica pavimentada
250 a más	Solución básica pavimentada	Pavimento flexible

Es necesario indicar que para el caso de la aplicación de soluciones básicas en proyectos de inversión pública de mejoramiento de la red vial nacional con pavimentos a nivel de soluciones básicas, se cuenta en el SNIP con la Resolución Directoral N° 008-2012-EF/63.01 (Publicada en el Diario Oficial El Peruano el 13 de diciembre de 2012), que aprueba contenidos mínimos para este caso específico, previstos en el Anexo CME 10.

Cabe resaltar que la aplicación de pavimentos económicos o soluciones básicas requiere que una vez ejecutado el proyecto de inversión pública, se contrate el mantenimiento de la vía, ya que ello permitirá garantizar la sostenibilidad del proyecto.

3.2 Planteamiento y análisis de tecnologías de pavimentación en el módulo de formulación

Cabe señalar que en el módulo de formulación de un proyecto a nivel de perfil debe incorporar con fines de definir la tecnología de pavimentos más apropiada para la vía los siguientes aspectos:

a) Suelos

- La identificación de sectores específicos con características geotécnicas favorables y desfavorables.
- La capacidad de soporte del terreno natural, para la exploración se excavarán las calicatas con la frecuencia y profundidad indicadas en los TRE, programadas en el estudio que comprometan los estratos superficiales de los suelos más característicos, de los que se obtendrán muestras para realizar ensayos en laboratorio, que comprenderán al menos, por cada variación estratigráfica: análisis granulométrico, constantes físicas, humedad y CBR a los suelos característicos. A partir de estos ensayos se determinará los tipos de suelos existentes en la zona de estudio.
- Se elaborará un perfil estratigráfico que deberá incluir información que pueda explicar la condición del suelo y actual superficie de rodadura.
- En lo que respecta al ensayo de CBR del suelo de fundación, deberá ser realizado para verificar la capacidad de soporte promedio del suelo. Se efectuará al menos por cada tipo de suelo.
- En caso que los TRE no especifiquen nada en relación a la profundidad y frecuencia de las calicatas estas se harán de 1.50 m de profundidad, y como mínimo, 1 cada kilómetro para la obtención de las muestras de suelos, siendo necesario realizar.
- Calicatas adicionales cuando se encuentren cambios en el perfil del suelo, priorizando en zonas críticas.
- Las calicatas deben ser protegidas para su evaluación y estar debidamente referidas al sistema de poligonal para su ubicación. Por seguridad vial las calicatas serán rellenadas una vez que haya sido inspeccionado el trabajo. Los certificados deben ser expedidos por un laboratorio de prestigio que preste garantía.

b) Pavimentos

El formulador, basándose en el tráfico y la capacidad de soporte de la vía y mediante aplicación de los métodos que se indican a continuación, deberá diseñar las alternativas de pavimentos planteadas a nivel de perfil.

AFIRMADOS,

- Método NANSRA o
- método USACE

ASFALTADOS

- Metodología AASHTO 93

Además de los parámetros requeridos por los métodos antes mencionados, el diseño deberá considerar las condiciones climáticas y de altura del tramo de estudio; la altitud, precipitaciones y temperaturas. El periodo de diseño será el indicado en los TdR.

3.3 Evaluación de tecnologías de pavimentación en un PIP

Para la evaluación de las alternativas de pavimentos económicos, en el marco de la evaluación social del PIP se recomienda utilizar los siguientes procedimientos.

Modelo HDM VOC

Este modelo permite calcular los Costos de Operación Vehicular (COV) por tipo de vehículo, tipo de superficie de rodadura. Este modelo permite definir un IRI de operación para el cálculo del COV (incluido el ahorro de tiempo de pasajeros).

En este caso para la estimación de beneficios por la aplicación de pavimentos económicos o soluciones básicas, se debe ajustar el nivel de servicio (IRI) en el modelo de acuerdo al tipo de solución empleada.

En este caso para el cálculo de ahorros de COV por el proyecto, se debe calcular tanto en la situación sin proyecto como con proyecto por tipo de vehículo.

Tablas de COV del MTC

Estas tablas de COV, elaboradas por el Ministerios de Transportes y Comunicaciones para calcular los costos de operación vehicular (incluido tiempo de viaje) para distintos tipos de superficie de rodadura y su estado, tipo de vehículo, topografía, región, pueden ser utilizadas para la evaluación de proyectos de caminos con soluciones básicas, si no es posible la utilización del modelo HDM VOC. En dicha situación será necesario hacer algunas consideraciones que lleven a representar el nivel de servicio de este tipo de soluciones.

Impreso en los talleres gráficos de
Servicios Gráficos JMD
José Gálvez 1549 - Lince Telf.: 470-6420 / 472-8273