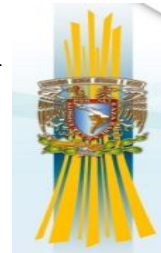




**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



**PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN
DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS**

**DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

VÍCTOR MANUEL GARCÍA FRÍAS

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. RICARDO RODRÍGUEZ CORDERO

MÉXICO, D.F., MAYO DEL 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A la memoria de mis padres Moises García y Juanita Frías
Quienes me brindaron desinteresadamente siempre, su amor,
su ayuda material y me orientaron por el camino recto y me
alentaron para poder concluir mi carrera universitaria,
por lo que dedico el presente a ellos, quedando eternamente
agradecido por todo lo que me dieron en la vida.
Gracias Padres.*

*A todos mis hermanos que durante toda mi vida me han apoyado y
alentado par poder lograr terminar mis estudios universitarios
y haber llegado a la meta propuesta.*

A mi esposa Beatriz por haberme comprendido y apoyado en los momentos difíciles que llega a tener uno en su vida y que con su compañía he logrado superar, para poder terminar totalmente mis estudios al concluir mi trabajo de titulación

Agradezco infinitamente a todos mis profesores quienes con sus enseñanzas forjaron los conocimientos adquiridos para lograr mi formación profesional y especialmente al Ing. Ricardo Rodríguez Cordero por su valiosa ayuda para poder concluir este trabajo de titulación.

*En forma muy especial agradezco infinitamente a la
Arq. Emma Luz Aguilar Jiménez
Por la comprensión y apoyo que me ha brindado, así como
La motivación para lograr la conclusión de este trabajo y
Obtener mi título de Ingeniero Civil.*

*Sinodales: Ing. Ricardo Rodríguez Cordero
 Ing. Maridel Zárate Morales
 M. en I. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez
 Ing. María De Los Ángeles Sánchez Campos
 Ing. Ricardo Heras Cruz*

INDICE

| | Página |
|--|---------------|
| INTRODUCCIÓN ----- | 1 |
| CAPITULO I ----- | 4 |
| PROYECTO EJECUTIVO PARA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS----- | 4 |
| PROYECTO EJECUTIVO.----- | 4 |
| 1. ESTUDIOS PREVIOS----- | 5 |
| 1.1 ESTUDIO SOCIOECONÓMICO----- | 5 |
| 1.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA----- | 5 |
| 1.3 ESTUDIO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO.----- | 8 |
| 1.4 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD AMBIENTAL----- | 9 |
| 1.5 ESTUDIO TOPOHIDRÁULICO E HIDROLOGICO.----- | 9 |
| 2. ANTEPROYECTO----- | 10 |
| 2.1 TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA.----- | 11 |
| 3. PROYECTO DEL TRAZADO DEFINITIVO----- | 12 |
| 3.1 TRAZO DEFINITIVO DEL PROYECTO----- | 12 |
| 4. PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEFINITIVO----- | 14 |
| 4.1 OBRAS DE DRENAJE MENOR.----- | 14 |
| 4.2 DELIMITACIÓN DEL DERECHO DE VÍA Y AFECTACIONES.----- | 14 |
| 4.3 PLANTA GEOMÉTRICA.----- | 15 |
| 4.4 PERFILES DE RASANTE, SECCIONES TRANSVERSALES Y CURAVA MASA----- | 16 |
| 4.5 ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DE MECÁNICA DE SUELOS.----- | 17 |
| 5. PROYECTO MODIFICADO.----- | 23 |
| 6. PROYECTO COMPLEMENTARIO.----- | 23 |
| CAPITULO II ----- | 24 |
| ESTRUCTURACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.----- | 24 |

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | TIPOS DE PAVIMENTOS----- | 24 |
| 1.1 | PAVIMENTO----- | 24 |
| 1.2 | FINALIDAD DE UN PAVIMENTO----- | 25 |
| 1.3 | CLASIFICACIÓN DE CAMINOS (CARRETERAS)----- | 25 |
| 1.4 | VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA TIPO DE PAVIMENTO----- | 27 |
| 2. | ESTRUCTURACIÓN DE PAVIMENTOS----- | 27 |
| 2.1 | ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES; SECCIÓN EN TERRAPLÉN | 27 |
| 2.2 | ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE; SECCIÓN EN CORTE----- | 28 |
| 2.3 | ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO; SECCIÓN EN TERRAPLÉN----- | 28 |
| 2.4 | ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO; SECCIÓN EN CORTE----- | 29 |
| 3. | CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES----- | 29 |
| 3.1 | TERRACERIAS----- | 29 |
| 3.2 | CONSTRUCCIÓN DE LAS TERRACERÍAS----- | 30 |
| 3.3 | PAVIMENTO----- | 33 |
| 3.4 | CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS----- | 34 |
| A.- | CARPETAS ASFÁLTICAS CON MEZCLA EN CALIENTE----- | 38 |
| B. | CAPAS DE RODADURA CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE----- | 39 |
| C.- | CARPETAS ASFÁLTICAS CON MEZCLA EN FRÍO----- | 40 |
| D. | CAPAS DE RODADURA CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO----- | 41 |

CAPITULO III ----- 44

AGREGADOS PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS----- 44

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | MATERIALES PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE TERRACERIAS----- | 44 |
| 1.1 | MATERIALES PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES----- | 44 |
| 1.2 | MATERIALES PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE CAPA SUBYACENTE.--- | 46 |
| 1.3 | MATERIALES PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE CAPA SUBRASANTE.--- | 48 |
| 2. | MATERIALES PÉTREOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS----- | 50 |
| 2.1 | MATERIALES PÉTREOS PARA CAPAS DE REVESTIMIENTO----- | 50 |
| 2.2 | MATERIALES PÉTREOS PARA SUBBASE----- | 53 |
| 2.3 | MATERIALES PÉTREOS PARA BASES HIDRÁULICAS Y BASES TRATADAS.- | 56 |
| 2.4 | MATERIALES PARA BASES TRATADAS----- | 59 |

| | | |
|-----|---|----|
| 3. | MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.----- | 64 |
| 3.1 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA.----- | 64 |
| 3.2 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA.----- | 66 |
| 3.3 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DISCONTINUA, TIPO SMA.----- | 67 |
| 3.4 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MORTERO ASFÁLTICO.----- | 68 |
| 3.5 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS.----- | 69 |
| 3.6 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA GUARNICIONES.----- | 70 |
| 3.7 | CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.----- | 70 |
| 4.0 | PROGRAMA GENERAL DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD, DURANTE LA CONSTRUCCIÓN O CONSERVACIÓN DE CAMINOS.----- | 72 |

CAPITULO IV ----- 79

| | | |
|-----|--|----|
| | MATERIALES ASFÁLTICOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.----- | 79 |
| 1. | CLASIFICACIÓN DE MATERIALES ASFÁLTICOS.----- | 79 |
| 2. | CEMENTOS ASFÁLTICOS.----- | 80 |
| 2.1 | REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS.----- | 81 |
| 3. | EMULSIONES ASFÁLTICAS.----- | 81 |
| 3.1 | REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS.----- | 83 |
| 3.2 | REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS.----- | 84 |
| 4. | ASFALTOS REBAJADOS.----- | 84 |
| 4.1 | REQUISITOS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS.----- | 85 |

| | | |
|---|---|------------|
| 5. | MATERIALES ASFÁLTICOS MODIFICADOS..... | 85 |
| 5.1 | REQUISITOS DE CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO.--- | 89 |
| 5.2 | REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA.- | 90 |
| 5.3 | REQUISITOS DE CALIDAD PARA ASFALTOS MODIFICADOS CON HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS.----- | 90 |
| 6. | MATERIALES ASFÁLTICOS GRADO PG.----- | 91 |
| 6.1 | CLASIFICACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO PG.----- | 91 |
| 6.2 | REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO PG.-- | 92 |
| 7. | CONTROL DE CALIDAD PARA PRODUCTOS ASFÁLTICOS SIN MODIFICAR, MODIFICADOS Y GRADO PG.----- | 94 |
| 8. | MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARRETERAS.----- | 95 |
| A. | MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.----- | 96 |
| B. | MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO.----- | 98 |
| 8.1 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARRETERAS.----- | 99 |
| 8.1.1 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.---- | 99 |
| 8.1.2 | REQUISITOS DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO.----- | 101 |
| 8.2 | CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.----- | 104 |
| CAPITULO V ----- | | 105 |
| METODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES.----- | | 105 |
| PRUEBAS EN MATERIALES PARA TERRACERIAS | | |
| 1. | MUESTREO DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS.----- | 105 |
| 1.1 | OBTENCIÓN, ENVASE, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS.----- | 106 |
| 1.2 | TIPO, TAMAÑO Y NÚMERO DE MUESTRAS POR OBTENER.----- | 106 |
| 1.3. | IDENTIFICACIÓN Y REGISTRO DE MUESTRAS.----- | 107 |
| 2. | CLASIFICACIÓN DE FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS.----- | 108 |
| 2.1. | CLASIFICACIÓN DE FRAGMENTOS DE ROCA.----- | 108 |
| 2.2 | CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON BASE EN EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS).----- | 109 |

| | | |
|------|---|-----|
| 3. | PREPARACIÓN DE LA MUESTRA POR MEDIO DEL SECADO, DISGREGADO Y CUARTEO.----- | 117 |
| 3.1. | SECADO.----- | 118 |
| 3.2. | DISGREGADO.----- | 118 |
| 3.3. | CUARTEO.----- | 118 |
| 4. | DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EN LOS MATERIALES.---- | 119 |
| 5. | DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES RELATIVAS Y ABSORCIÓN.---- | 119 |
| 5.1. | DENSIDAD RELATIVA DEL MATERIAL SECO.----- | 119 |
| 5.2. | DENSIDAD RELATIVA DEL MATERIAL SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO.----- | 120 |
| 5.3. | DENSIDAD RELATIVA DE SÓLIDOS, (FASE SÓLIDA DEL MATERIAL).---- | 120 |
| 5.4. | ABSORCIÓN DEL MATERIAL.----- | 121 |
| 6. | DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE MATERIALES COMPACTABLES PARA TERRACERÍAS.----- | 121 |
| 6.1 | CALCULO DE LOS PORCENTAJES RETENIDOS DEL MATERIAL, ENTRE LAS MALLAS No.4 Y MALLA No, 75.0 Y ENTRE MALLA No. 200 Y MALLA No. 10, Y DEL QUE PASA LA MALLA No. 200.----- | 121 |
| 6.2 | CALCULO DE LOS PORCENTAJES DEL MATERIAL QUE PASA EN CADA UNA DE LAS MALLAS, ENTRE LAS MALLAS No.75.0 mm HASTA LA MALLA No. 200.----- | 122 |
| 6.3 | GRÁFICA DE PORCENTAJES QUE PASAN CADA UNA DE LAS MALLAS.--- | 123 |
| 7. | DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIAS DE LOS MATERIALES COMPACTABLES PARA TERRACERÍAS.----- | 123 |
| 8. | DETERMINACIÓN DE MASAS VOLUMÉTRICAS Y COEFICIENTES DE VARIACIÓN VOLUMÉTRICA.----- | 123 |
| 9. | DETERMINACIÓN DE LA COMPACTACIÓN AASHTO.----- | 126 |
| 10. | DETERMINACIÓN DEL VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) Y EXPANSIÓN (EXP) EN EL LABORATORIO.----- | 127 |
| 11. | PRUEBAS EN MATERIALES PÉTREOS PARA PAVIMENTOS.----- | 128 |

| | |
|---|-----|
| CAPITULO VI | 140 |
| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES..... | 140 |
| A. MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM..... | 140 |
| 1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS..... | 142 |
| 1.1 EL TRÁNSITO..... | 142 |
| 1.2 PERÍODO DE DISEÑO..... | 143 |
| 1.3 TASA DE CRECIMIENTO ANUAL..... | 143 |
| 1.4 TIPO DE CAMINO..... | 143 |
| 1.5 EL CLIMA..... | 143 |
| 1.6 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE..... | 144 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO EN CUATRO PASOS..... | 145 |
| 2.1 PASO 1 OBTENCIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE CRÍTICO..... | 145 |
| 2.2 PASO 2 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL TRÁNSITO..... | 146 |
| 2.3 PASO 3 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE ACUMULADO..... | 147 |
| 2.4 PASO 4 OBTENCIÓN DE ESPESORES EQUIVALENTES DE DISEÑO..... | 152 |
| 3 EJEMPLO DE APLICACIÓN..... | 154 |
| 3.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA (VRS)..... | 154 |
| 3.2 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL (TDPA).... | 155 |
| 3.3 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE ACUMULADO..... | 155 |
| 3.4 DEFINICIÓN DE ESPESORES..... | 157 |
| APENDICE “A” TABLAS DE TIPOS DE VEHÍCULOS, COEFICIENTES DE DAÑO Y GRAFICAS PARA DISEÑO ESTRUCTURAL Y RECONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS..... | 161 |
| B. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS INCLUYENDO CARRETERAS DE ALTAS ESPECIFICACIONES, EMPLEANDO EL PROGRAMA DE COMPUTO DISPAV-5- VERSIÓN 2.0..... | 172 |
| 1. OPCIONES DE CÁLCULO..... | 173 |
| 2. PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL..... | 173 |
| 2.1 ENTRADA DE DATOS DE PROYECTO..... | 173 |

| | | |
|--|--|-----|
| 2.2 | DISEÑO POR DEFORMACIÓN PERMANENTE.----- | 179 |
| 2.3 | REVISIÓN DE DISEÑO POR EFECTOS DE FATIGA.----- | 180 |
| CAPITULO VII ----- | | 181 |
| CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS. | | |
| 1. | TRABAJOS DE CONSERVACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.----- | 181 |
| 1.1 | TRABAJOS DE CONSERVACIÓN RUTINARIA.----- | 183 |
| 1.2 | TRABAJOS DE CONSERVACIÓN PERIÓDICA.----- | 185 |
| 1.3 | TRABAJOS DE RECONSTRUCCIÓN.----- | 193 |
| CONCLUSIONES.----- | | 197 |
| BIBLIOGRAFÍA.----- | | 198 |

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Con la apertura comercial de nuestro país a través de la firma del tratado de libre comercio con otros países, así como el permanente desarrollo de nuestro país México, se tiene la necesidad de contar con Vías Terrestres de Comunicación para el traslado e intercambio de bienes y servicios entre los estados de la república así como, con los países fronterizos.

En la actualidad las carreteras ocupan el primer lugar como vías de comunicación terrestre, así mismo son la infraestructura indispensable del país para lograr su completo desarrollo económico y social que se demanda hoy en día por medio de la comunicación e intercambio cultural y comercial entre sus poblaciones locales y extranjeras.

Por lo anterior, se tiene la necesidad de la construcción de pavimentos tanto para las calles de las zonas urbanas, como en la construcción de carreteras, lo que hace que se requiera de los proyectos y planeación adecuada para la estructuración del pavimento de estos caminos, que tengan la capacidad de soportar los esfuerzos transmitidos por el tránsito de los vehículos y presente una superficie de rodamiento con un buen nivel de servicio que proporcione la seguridad, comodidad y un desplazamiento rápido de los vehículos de transporte terrestre en forma económica.

OBJETIVO

De acuerdo a la necesidad de nuestro País de construir caminos y carreteras de la más alta calidad, es necesario la realización de un proyecto, que contemple y abarque todos los elementos que influyen en éste para lograr su optimización; por lo que en este trabajo, se tiene la finalidad de presentar en forma global, general y completa los procedimientos del desarrollo y análisis de todos los elementos de cada uno de los conceptos que intervienen para realizar un Proyecto, ya sea para la construcción, conservación o modernización de un camino o carretera de altas especificaciones; para que nos permita definir y elegir óptimamente los procedimientos a seguir para la construcción de terracerías, pavimentos y obras complementarias para caminos, desde el inicio hasta su terminación y mantenimiento del mismo.

Así mismo este trabajo de titulación, tiene también como objetivo, proporcionar en forma práctica, guiada y completa, todos los conceptos y elementos que intervienen para realizar el proyecto de construcción y conservación de pavimentos para caminos, así como las normas de calidad que deben cumplirse en general; basándose principalmente en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, de México (SCT), conocida abreviadamente como Normativa SCT, en donde se establecen normas a seguir para la Construcción, Conservación, Características de Calidad de los Materiales empleados y procedimientos de pruebas para llevar a cabo el control de la calidad de los mismos.

Para lograr estos objetivos, en este trabajo de titulación, se plantea primeramente todos los elementos que intervienen en la elaboración de un proyecto ejecutivo, con el fin de que al llevarse a cabo la planeación del proyecto, se consideren y se tenga un panorama general de los factores sociales, económicos, geotécnicos, topográficos, técnicos constructivos, etc., que intervienen en la construcción de un camino normal o una carretera de alto nivel, con el fin de tomar las decisiones más correctas sobre cada uno de estos factores. En seguida, ya teniendo un panorama general de las necesidades que se tienen para la construcción de un camino, se presentan los dos tipos de pavimentos que generalmente se construyen en México, así como su estructuración y construcción, dando el enfoque principal a los pavimentos flexibles, indicando las funciones principales de cada elemento estructural de las terracerías y pavimento que componen una obra vial.

Posteriormente se presentan las características de calidad que deben cumplir todos los agregados pétreos, en forma particular; estabilizados por medio de compactación o estabilizados con algún cementante (cal, cemento Portland o con asfalto), empleados para cada una de las capas que componen la estructura de las terracerías pavimento y carpetas asfálticas, así mismo, se determina el control de calidad que debe realizarse por medio de pruebas de laboratorio realizadas en muestras representativas de los materiales empleados, para verificar que se cumpla con las normas de calidad correspondientes de acuerdo con las normas establecidas en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

Enseguida, se presenta en forma independiente los diferentes productos asfálticos que se emplean en la construcción de pavimentos flexibles de caminos normales o carreteras de altas especificaciones, así como la clasificación de cada uno, además de las características de calidad que deben de cumplir en función del uso que se les dé y de acuerdo a lo que corresponda en lo establecido en la Normativa SCT.

A continuación se indican los procedimientos para la obtención de muestras representativas de los diferentes materiales empleados, así mismo se expresan en forma breve los conceptos básicos de cada uno de los métodos de prueba a que se someten cada una de las muestras para determinar sus características físicas para verificar que cumplan con las normas de calidad correspondientes establecidas en la Normativa SCT. Además se presenta la forma de clasificación de fragmentos de roca y suelos en base a algunas sus características físicas determinadas en base a las pruebas de laboratorio antes referidas. Cabe mencionar que los procedimientos de prueba son bastante detallados y extensos, por lo que se determino solo indicar en cada prueba de laboratorio, el manual del método de prueba correspondiente, en donde se puede consultar ampliamente cada uno de los procedimientos de prueba establecidos en el libro Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales (MMP) de la Normativa SCT.

Al tener conocimiento de todos los factores que influyen en un proyecto de carreteras, de los elementos estructurales que constituyen las terracerías y pavimentos, de las características y requisitos de calidad de los materiales pétreos y mezclas asfálticas, así como la clasificación, características y requisitos de calidad de los materiales asfálticos empleados en pavimentos flexibles; además de los de los conceptos básicos que nos definen las características que nos define cada uno de los métodos de prueba practicados a los materiales. Se considera contar con los conceptos básicos para proceder a la interpretación y comprensión para realizar el Diseño de Pavimentos basado en el método de diseño del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El cual se presenta en forma práctica considerando todos los factores que intervienen en el método diseño de pavimentos antes referido, considerando un ejemplo ilustrativo para su mejor entendimiento de su desarrollo.

Por otra parte, se presenta también el método de diseño actualizado que es simplemente el método para simplificar el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Utilizando un programa interactivo de computo (DISPAV-5) desarrollado por los autores del referido Instituto de Ingeniería, el cual se presenta su procedimiento en forma breve con fines de que se tenga otra alternativa de diseño por medio de computadora que nos simplifica y facilita el cálculo del método tradicional. El programa DISPAV-5, se puede adquirir en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Finalmente se presentan los trabajos de Conservación y Rehabilitación de Pavimentos, basados en las Normas de Conservación (CSV) establecidas en la Normativa SCT. La explicación de los detalles de los procedimientos para el desarrollo de estos trabajos, solo se indican en forma breve, señalando las normas correspondientes en las que se pueden consultar en forma detallada y completa en qué consisten cada uno de los trabajos de conservación correspondientes, así como los requisitos de calidad que deben cumplirse de acuerdo a cada uno de los trabajos referidos.

Por todo lo anterior, se espera se logre la transmisión de los conocimientos completos y básicos para poder conocer los conceptos que se requieren para proyectar, diseñar y comprender la construcción de los caminos normales y carreteras de altas especificaciones que se realizan hoy en día en nuestro País México.

CAPITULO I

PROYECTO EJECUTIVO PARA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

PROYECTO EJECUTIVO.

El proyecto ejecutivo es la parte fundamental para la realización de una obra vial, ya que se integra de toda la información necesaria que se requiere para determinar las características, dimensiones, materiales apropiados y procedimientos constructivos, así como para establecer las Especificaciones Particulares y Complementarias de cada uno de los conceptos de obra que intervienen para la construcción de la misma.

El sistema de carreteras en México, se encuentra en constante evolución, por lo que para obtener adecuadamente la información actual necesaria, para la elaboración del proyecto de una obra vial, es necesario contar con una **planificación**, que nos defina los pasos a seguir para la realización óptima del proyecto.

En la Planeación, para la realización de cualquier proyecto en general y en particular de una carretera, se deben plantear las siguientes etapas operativas:

Etapas 1.- Estudios previos: Realización de varios estudios para recopilar la información y datos de carácter técnico y socioeconómico, que nos permitan justificar la construcción de un nuevo camino, mejoramiento de uno ya existente o rehabilitando algunos detalles de este mismo y lograr los objetivos del proyecto.

Etapa 2.- Anteproyecto: De la información obtenida de los estudios preliminares, se plantean varias alternativas posibles de trazos del eje del camino y de soluciones al problema; analizando cada una de estas en base a distintos criterios y factores condicionantes, procediendo a seleccionar la alternativa más favorable, considerándose a este procedimiento como el Anteproyecto. Debiendo considerar a corto y mediano plazo los problemas consecuentes al llevar a cabo la alternativa elegida.

Etapa 3.- Proyecto de trazado: En esta etapa, se plasma en forma definitiva la alternativa seleccionada, definiendo la geometría del camino y realizando todos los trámites administrativos correspondientes; como son liberación de terrenos afectados, derecho de vía sobre el trazo y permisos legales requeridos para realizar la construcción del camino.

Etapa 4.- Proyecto de construcción. Esta etapa corresponde a la determinación de las características de la obra, obras complementarias, especificaciones particulares y procedimientos constructivos, así como la cuantificación del costo de cada uno de los conceptos de obra a realizar en la construcción de la obra del camino (Proyecto Definitivo de Construcción). También se establecen los términos del documento contractual o contrato de obra que deberá cumplir el contratista a quien se le asigne la construcción de la obra.

Etapa 5.- Proyecto Modificado. En esta etapa se contempla sobre el transcurso de la construcción de la obra, debido a imprevistos que obligan a la modificación de las características del proyecto original, teniendo que adaptarse a las condiciones y circunstancias reales que se presenten.

Etapa 6.- Proyecto Complementario. En esta etapa se consideran las acciones adicionales como son los cambios o modificaciones convenientes o de menor importancia, correspondientes a los proyectos de las obras complementarias.

1. ESTUDIOS PREVIOS

1.1 ESTUDIO SOCIOECONÓMICO

En este estudio **Socioeconómico** se debe contemplar los aspectos más relevantes de la zona de influencia, como información histórica, social demográfica, económica política, orográfica, agrícola, actividades culturales, etc. Además se debe considerar un listado de comunidades beneficiadas directa o indirectamente, así mismo, el análisis de la relación costo- beneficio que se obtendrá con la construcción del camino.

1.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA.

El análisis de factibilidad económica se realiza por medio de los estudios sobre la cuantificación de los costos y beneficios de un programa o proyecto de inversión en donde se muestre que él mismo es susceptible de generar, por sí mismo, beneficios netos bajo supuestos razonables; y debe estar sustentado con información confiable y precisa que permita determinar una cuantificación en términos monetarios de los beneficios y costos en forma detallada. Este análisis, debe contener lo siguiente:

- A) Resumen ejecutivo,** éste deberá presentar una visión global del proyecto, describiendo brevemente sus aspectos más relevantes. Se explicará en forma concisa la necesidad de cubrir la problemática que se pretende resolver, las principales características del proyecto, las razones por las que la alternativa que sea elegida es la más conveniente para resolver dicha problemática o atender esa necesidad, sus indicadores de rentabilidad y los riesgos asociados a su ejecución.
- B) Análisis de la situación actual sin proyecto y posibles soluciones.** En este concepto, se debe presentar un diagnóstico de la situación actual que motiva la realización del proyecto, resaltando la problemática que se pretende resolver, la necesidad que se busca resolver a través del mismo. También se deben señalar y explicar las principales características de las alternativas evaluadas, así como las razones por las que no fueron seleccionadas para atender la problemática o la necesidad. En particular, se deberá describir la situación sin proyecto, considerando las medidas de optimización de la situación actual, esto es las acciones que se realizarían en caso de que el proyecto no se realice. El efecto de las medidas de optimización deberá proyectarse a lo largo de la evaluación, con el fin de asegurar que en ésta solamente se consideren los costos y beneficios atribuibles a la realización del proyecto.
- C) Descripción del proyecto.** En este concepto se deberán señalar las características más importantes del proyecto, incluyendo lo siguiente:
1. Objetivo del proyecto, el cual debe corresponder a uno o más de los objetivos y estrategias establecidas a seguir para su desarrollo y considerando los programas sectoriales, regionales y especiales de la entidad.
 2. Propósito del proyecto. Es decir el resultado inmediato o consecuencia directa que se espera lograr con la ejecución del proyecto y que contribuirá a alcanzar el objetivo a que se refiere el inciso anterior, por ejemplo ahorros en tiempos de desplazamientos al construirse una carretera, facilitar la fluidez en el intercambio comercial, etc.
 3. Componentes. Estos son los activos que resultarían de la realización del proyecto, tales como construcción de edificios, caminos troncales, plantas productivas, mobiliario y equipamiento, generación de empleos o servicios, los cuales son necesarios para alcanzar el propósito del mismo.
 4. Actividades del proyecto. Corresponden a las principales acciones que se requieren para generar los componentes del proyecto.
 5. Tipo de proyecto. Corresponderá de conformidad con lo que se establezca en el Estudio de Ingeniería de tránsito.

6. Se indicará el sector económico y la localización geográfica donde se desarrollará el proyecto, así como su zona de influencia.
7. Señalar la capacidad instalada que se tendría y su evolución en una evaluación futura del proyecto, así como, en el caso de proyectos de infraestructura económica, las metas de producción de bienes y servicios que se alcanzarán con la realización del mismo.
8. En caso que se presente lo referenciado en el inciso anterior, indicar aproximadamente la generación de ingresos o la obtención de ahorros derivados del proyecto.
9. Presentar un resumen de los aspectos más relevantes de las evaluaciones técnica-legal y ambiental del proyecto.
10. Señalar el avance en la obtención de los derechos de vía y afectaciones en el caso de proyectos que requieran contar con ellos.
11. Presentar el costo total del proyecto, considerando por separado las erogaciones a realizar tanto en la etapa de ejecución como en la de operación.
 - a). Para la etapa de ejecución, el calendario de inversiones por año y la distribución del monto total de inversión en los componentes del proyecto o en sus principales rubros.
 - b). Para la etapa de operación, la distribución de las erogaciones a realizar en sus principales rubros.
12. Señalar las fuentes de los recursos, su calendarización estimada y su distribución entre recursos públicos (federales, estatales y municipales) y privados.
13. Supuestos económicos señalando los más importantes para efectos de la evaluación, tales como crecimiento esperado del Producto Interno Bruto y precio de la mezcla del petróleo durante el horizonte de la evaluación, e Infraestructura existente y proyectos en desarrollo que podrían verse afectados por la realización del proyecto.

D) **Análisis de la situación contando con el proyecto.** En este caso se deberá considerar el impacto que tendría sobre el mercado la realización del proyecto. Para dicho análisis deberá compararse la situación sin proyecto optimizada con la situación con proyecto, de tal manera que se identifiquen los impactos atribuibles al proyecto exclusivamente, mismos que deberán reflejarse en el flujo de costos y beneficios. Este análisis deberá basarse en las estimaciones de la oferta y demanda incluidas en el inciso B) anteriormente descrito.

- E) Evaluación del proyecto.** En este concepto se deberán identificar y cuantificar en términos monetarios los costos y beneficios del proyecto, así como el flujo de los mismos, con el objeto de mostrar que el proyecto es susceptible de generar, por si mismo, beneficios netos para la sociedad bajo supuestos razonables.
- En la evaluación del proyecto se deberán tomar en cuenta los efectos directos e indirectos, incluyendo en su caso, los efectos externos y los efectos intangibles, derivados de su realización sobre el mercado relevante, los mercados relacionados de bienes y servicios, y otros agentes económicos, a fin de determinar su impacto final sobre la sociedad.
- F) Análisis de sensibilidad y riesgos.** Mediante este análisis, se deberán identificar los efectos que ocasionaría la modificación de las variables relevantes sobre los indicadores de rentabilidad del proyecto. Entre otros aspectos, deberá considerarse el efecto derivado de variaciones porcentuales en el monto total de inversión y, en su caso, en la demanda y en el precio de los insumos y los bienes que se producirán, y comparar la variación porcentual de estos rubros. Asimismo, se deberán considerar los riesgos asociados a la ejecución del proyecto que puedan afectar su rentabilidad, tanto en su etapa de ejecución como en la de operación.
- G) Conclusiones.** En este último concepto se deberán exponer en forma concisa las principales conclusiones a las que se llega con el análisis realizado y, en su caso, señalar las acciones que se requieren para la ejecución oportuna del proyecto.

1.3 ESTUDIO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO.

Para el caso de un camino nuevo se debe considerar los aforos de los caminos alternos a las poblaciones que se comunicaran y determinar un criterio del TDPA para el área de influencia que se beneficiara con el nuevo camino y el incremento del tránsito futuro, para un horizonte de proyecto de 10 años ó 15 años, aplicando la tasa de crecimiento y el método de extrapolación que resulte más conveniente.

Este estudio es indispensable, ya que es un factor determinante para realizar el diseño del pavimento del camino por construir.

En caso de existir un camino abierto y en servicio, deberán realizarse aforos durante al menos tres días, con duración de 14 horas continuas. Con base en la información obtenida directamente de los aforos realizados por él contratista y la información disponible de la región, deberá analizarse el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) para un horizonte de proyecto de 10 años ó 15 años, aplicando la tasa de crecimiento y el método de extrapolación que resulte más conveniente. Se deberán tomar en cuenta el tránsito inducido y el tránsito desviado de las vías alternas.

En los entronques ya existentes del tramo del proyecto, se deberá realizar aforos direccionales, aforo de tránsito separados cada 15 minutos, velocidad, capacidad, factibilidad, cálculo de la hora máxima y estudio de la velocidad de punto.

1.4 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD AMBIENTAL

El análisis de factibilidad ambiental se realiza por medio de los estudios en donde se determina que un programa o proyecto de inversión cumple con la normatividad aplicable en materia ambiental.

Para la elaboración del dictamen del análisis de factibilidad ambiental, el experto deberá considerar el cumplimiento de la normatividad relacionada con la legislación ambiental.

1.5 ESTUDIO TOPOHIDRÁULICO E HIDROLÓGICO.

Es el que proporciona al proyectista los datos hidráulicos requeridos para el diseño estructural de puentes, alcantarillas, obras complementarias y en general las obras de drenaje, y por medio del conjunto de trabajos de campo y gabinete nos definen su diseño hidráulico, estableciendo las longitudes mínimas de las estructuras y de sus claros, así como el espacio libre vertical mínimo que ha de dejarse entre el nivel de aguas de diseño (NADI) y el lecho inferior de la superestructura. Comprende la recopilación de información fisiográfica e hidrológica, el reconocimiento de campo, el levantamiento topográfico, el procesamiento de la información, y los análisis hidrológicos e hidráulicos, que permitan precisar las características del flujo en el cauce, y la determinación del tipo, número, ubicación y funcionamiento de las obras auxiliares que aseguren el comportamiento satisfactorio del puente.

Las fotografías aéreas de la zona donde se construirá el puente o alcantarilla, a escalas uno a cinco mil (1:5000) o uno a diez mil (1:10000), la información fisiográfica obtenida de cartas topográficas, geológicas, hidrológicas y edafológicas y de uso de suelo, la información hidrológica como lo es la existencia y ubicación de estaciones pluviográficas y pluviométricas dentro de la cuenca y/o de las más cercanas de la región hidrológica, así como estaciones hidrométricas en la corriente en estudio o, en su defecto, en corrientes vecinas con características fisiográficas semejantes, que de existir dichas estaciones, se recabaran los siguientes datos hidrológicos: registros de lluvias en las estaciones pluviográficas y pluviométricas que contengan información, preferentemente de un periodo igual o mayor que la mitad del periodo de retorno que se establezca para el diseño hidráulico del puente.

A mayor número de años de registro y menor área de cuenca, los datos serán más confiables, así como los registros de los escurrimientos de las estaciones hidrométricas, la realización del levantamiento topográfico con el propósito de obtener la pendiente geométrica que corresponde al perfil del fondo por el eje del cauce o la pendiente hidráulica que corresponde al perfil de la superficie del agua al realizar el estudio, y definir la pendiente hidráulica media, así como la magnitud de los tirantes y las elevaciones de dicha superficie en las secciones hidráulicas; conocer el comportamiento hidráulico de los puentes cercanos sobre el cauce en estudio, que por

sus condiciones hidráulicas y topográficas semejantes a las del sitio donde se construirá la nueva estructura, constituyan modelos hidráulicos a escala natural que permitan inferir el comportamiento hidráulicos. Se debe contar con la información detallada de las características de la cuenca de acuerdo a las especificaciones vigentes como son:

Características fisiográficas

Características hidrológicas

Se deberá poner especial atención al efecto de socavación originado por las velocidades que se presentan a lo largo del cauce y realizar las estimaciones del cálculo de la socavación general.

2. ANTEPROYECTO

Ya obtenida la información necesaria, se analizan cada una de las soluciones posibles y en base a la más idónea, se plantea el **anteproyecto** como una fase más elaborada pero aún no definitiva del proyecto definitivo. Su objetivo principal es el análisis detallado de los trazos alternativos de la obra vial. Estos trazos alternativos, son obtenidos previamente mediante vuelos fotogramétricos, tecnología que nos permite delimitar la topografía de la zona de influencia y definir el trazo preliminar más adecuado de acuerdo a la topografía del terreno; considerando las afectaciones a los terrenos propiedad de particulares, accidentes topográficos, y el impacto ambiental generado tanto en la construcción como en la operación. Así mismo del factor económico que generalmente es el que prevalece.

Dictamen: documento a través del cual se manifiesta el fallo sobre los análisis de factibilidad económica, técnica y ambiental y, en su caso, sobre el proyecto ejecutivo de la obra, en los términos de los siguientes lineamientos:

Para dictaminar sobre el proyecto ejecutivo de obra, se deberá considerar si los estudios, proyectos, planos, especificaciones y programas de los trabajos a realizar referentes al proyecto de inversión, son adecuados y suficientes para iniciar la ejecución del mismo.

En el dictamen, se podrá recomendar que se tome una de las siguientes decisiones:

- Ejecutar el proyecto conforme al calendario y características previstas.
- Ejecutar el proyecto sujeto a ciertas condiciones.
- Aplazar la ejecución del proyecto.
- Rechazar el proyecto.
- Realizar más estudios o acciones referentes al proyecto ejecutivo de obra y los análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental, antes de tomar una decisión definitiva.

2.1 TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA.

La topografía, incluye el trazo preliminar y trazo definitivo, nivelación, seccionamiento y drenaje de campo. Es necesario realizar un levantamiento fotográfico sobre el trazo preliminar del camino, obteniendo cuando menos una fotografía a cada 500 m. indicando al pie de ésta el cadenamiento aproximado al que corresponde, si la vista es hacia adelante o hacia atrás, una breve descripción de la problemática observada y la solución propuesta.

También se incluirán fotografías de todas y cada una de las obras de drenaje existentes o que se propongan en el proyecto, zonas urbanas o semiurbanas, instalaciones especiales y de todos aquellos elementos condicionantes o limitantes que infieren para el desarrollo del proyecto.

El levantamiento topográfico podrá ser realizado con estación total o con tránsito y nivel fijo. En ambos casos se recomienda al Proyectista que deberá considerar a lo siguiente:

- a) Cuando la longitud del camino sea mayor a 10 km, se colocarán líneas de control a cada 5 km., formadas por un par de puntos establecidos con GPS estático, sobre tornillos de cruz incrustados en mojoneras de concreto. Estas mojoneras deberán ubicarse en lugares donde no corran el riesgo de ser removidas durante la construcción. En caso de que el levantamiento sea realizado con tránsito, las mojoneras deberán coincidir con algún PI del trazo definitivo.
- b) Cuando la longitud del camino sea mayor a 10 km, el levantamiento topográfico deberán estar referido a las coordenadas obtenidas mediante las líneas de control. En caso contrario, deberá tomarse una línea de arranque con coordenadas UTM establecidas mediante navegador GPS. Deberán verificarse también las coordenadas del punto final del trazo, tomando en cuenta el error del navegador GPS.
- c) Deberán localizarse dos bancos de nivel, como mínimo, por kilómetro, comprobados a cada 500 m aproximadamente con nivel fijo, mediante nivelación diferencial de ida y vuelta, los cuales se ubicarán fuera del derecho de vía y en objetos fijos permanentes que no se deformen con el tiempo. El trazado consistirá en el estacamiento de los puntos principales del alineamiento horizontal (PST, PI, PC, PT, TE, EC, PSCC, CE y ET) y puntos a cada 20 m e intermedios que se requieran por topografía.
- d) Todos los PI de las curvas horizontales deberán contar con cuatro referencias intervisibles, alineadas en pares, de modo que al interceptarse las líneas definidas por cada uno de los pares se obtenga la posición del punto referenciado. En aquellos casos donde el PI sea inaccesible, deberá referenciarse el PC o el PT.
- e) Una vez concluido el levantamiento topográfico, éste deberá ser entregado físicamente en campo al personal que indique el proyectista; debiendo elaborarse una minuta de dicha entrega.

El personal de topografía deberá mostrar físicamente al proyectista, los bancos de nivel, referencias del trazo y las mojoneras correspondientes a los puntos principales del alineamiento horizontal, pudiendo requerirse realizar una verificación de la nivelación entre bancos de nivel para comprobar la veracidad del levantamiento topográfico.

En caso de realizarse el levantamiento con Estación Total, el personal de topografía, deberá entregar al proyectista la siguiente información:

- a) Listado de puntos levantados.- Deberá entregarse un listado conteniendo todos y cada uno de los puntos levantados en formato x, y, z; la descripción de los puntos levantados deben proporcionar información suficiente sobre la configuración del terreno natural, hombros de caminos existentes, localización de paramentos, instalaciones, escurrimientos, obras de drenaje y todos aquellos elementos que resulten relevantes para la elaboración del proyecto.
- b) Se deberá anexar una tabla con el significado de cada una de las descripciones utilizadas.
- c) Expediente de trazo.- deberá entregarse un listado con las coordenadas x, y de los PC, PT, PI y de los cadenamientos a cada 20 m.
- d) Listado de coordenadas x, y, z de la poligonal de apoyo.

3. PROYECTO DEL TRAZADO DEFINITIVO

3.1 TRAZO DEFINITIVO DEL PROYECTO

Los datos de trazo del eje de proyecto se reportarán tanto en libretas de campo como en registros de trazo impresos y electrónicos, donde deberán quedar registrados, con nombre, esviaje y cadenamiento al cm, todos los detalles que se encuentren a lo largo y ancho del eje en estudio, tales como vías de comunicación existentes (caminos, carreteras pavimentadas, vías férreas) registrando su esviaje e igualdades de cadenamiento (operación vs. proyecto), líneas de energía eléctrica con esviaje, voltaje y altura de conductores sobre el terreno, ductos con su diámetro, profundidad y tipo de fluido que conducen, canales, cercas (de alambre y/o piedra), construcciones (tipo y dimensiones), de ríos y arroyos se registrará la elevación del N.A.M.E. observado en campo.

Todas las hojas de los registros de trazo deberán estar numeradas y requisitadas lo que respecta a la identificación completa de la carretera en proyecto, Núm. De contrato y nombre del contratista.

A. Referencias del trazo.

Las referencias al trazo deberán quedar fijas en tornillos de cruz de 4" o varillas de 3/8" ahogados en mojoneras de concreto de 20 cm. de diámetro y 40

cm de profundidad, las referencias se ubicarán fuera del derecho de vía utilizando distanciómetro y miras de poligonación para darles coordenadas (X, Y) de la misma precisión del trazo a partir de los puntos referenciados, los cuales deberán contar con coordenadas (X, Y) calculadas y verificadas con anterioridad.

En las tangentes deberán referenciarse con puntos visibles entre sí distantes 300 m como máximo.

En curvas se referenciarán los PI y los puntos inicial y final de cada curva (PC – PT ó TE – ET).

Cada punto referenciado deberá contar con cuatro referencias intervisibles, alineadas en pares, de modo que al interceptarse las líneas definidas por cada uno de los pares se obtenga la posición del punto referenciado.

B. Nivelación diferencial del terreno sobre el eje del trazo.

La nivelación del terreno natural por el eje de proyecto consistirá en obtener las elevaciones del terreno, mediante nivelación diferencial de los puntos estacados a cada 20 m. los puntos principales del alineamiento horizontal y de los puntos intermedios de quiebre del terreno que presenten desniveles mayores de 0.50 m.

El banco de nivel deberá numerarse con dos cifras, la primera cifra corresponderá al kilometraje cerrado inmediato posterior a donde se ubica el banco de nivel y la segunda cifra corresponderá al número de orden correspondiente del banco de nivel en ese kilómetro.

La nivelación se reportará tanto en libretas de campo como en registros de nivel impresos y electrónicos con el formato autorizado, donde deberán quedar registrados con nombre y cadenamamiento al centímetro todos los detalles que se encuentren a lo largo del eje en estudio, tales como carreteras, vías férreas, canales, etc., nivelando los hombros, centros de línea, fondos de cunetas o canal, hongos de riel, etc.

En canales, arroyos, ríos y embalses se registrará la elevación del N.A.M.E. (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) observado en campo.

C. Seccionamiento transversal del terreno.

Las secciones transversales del terreno se levantarán en todos aquellos puntos estacados a cada 20 m, en puntos principales del alineamiento horizontal e intermedios del trazo, por geometría o por quiebre del terreno; deberá tenerse cuidado de que los cadenamamientos de las secciones transversales coincidan con los cadenamamientos de los quiebres contenidos en la nivelación del terreno levantado.

La longitud mínima de las secciones transversales del terreno será de 40 m; 20 m. a cada lado del eje de trazo. En el caso de que el anteproyecto del alineamiento vertical (perfil deducido) indique excavaciones y/o terraplenes de altura considerable, se deberá determinar la longitud necesaria de la sección transversal para alojar suficientemente el proyecto de la sección de construcción.

Cuando el seccionamiento transversal del terreno abarque una carretera o camino existente, se deberá seccionar utilizando nivel montado o estación total, levantando cada detalle, con nombre, distancia y desnivel respecto al terreno en el eje, o mediante distancia y elevación, los puntos correspondientes o orilla de carpeta (o.c.) hombros de terracerías (h), centros de camino (c.c.), hongos en vías férreas, fondos de cunetas o canales, cercas, bardas, derecho de vía existente, etc., determinados mediante nivelación geométrica. Esto principalmente en las zonas urbanas donde invariablemente deberá determinarse la ubicación y elevación de las entradas de las casas así como sus paramentos los cuales deben aparecer como tales en las secciones levantadas.

4. PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEFINITIVO

4.1 OBRAS DE DRENAJE MENOR.

Se deberá entender como OBRA DE DRENAJE MENOR a todas aquellas obras transversales cuyo gálibo horizontal, de acuerdo al área hidráulica necesaria, sea menor o igual a 6 m. (losas, cajones , bóvedas de concreto armado, tubos de concreto, tubos de lámina).

Se deberá realizar el trazo y nivelación de los ejes longitudinales de todos los cauces, arroyos, escurrimientos, que de acuerdo con el análisis de campo y gabinete requieran de obra de drenaje.

Cuando se trate de obras de drenaje menor a base de Bóvedas de concreto armado y/o concreto ciclópeo, de acuerdo con la autorización de la oficina correspondiente, se deberá de levantar secciones transversales al eje de la obra con el objeto de que en el proyecto correspondiente se cuantifiquen rellenos y excavaciones.

4.2 DELIMITACIÓN DEL DERECHO DE VÍA Y AFECTACIONES.

Para la delimitación del Derecho de Vía (incluye levantamiento topográfico de las afectaciones y elaboración de planos); El proyectista deberá realizar un recorrido conjunto con las autoridades municipales y ejidales, durante el cual se les mostrará el trazo del camino, de modo que las autoridades puedan convocar a los propietarios a fin de que éstos proporcionen información sobre los límites de sus predios, o bien, la información podrá ser obtenida directamente de las autoridades. Este recorrido deberá ser documentado mediante reporte fotográfico y minuta.

Una vez conocidos los linderos, la empresa Proyectista procederá al levantamiento topográfico de los mismos, plasmando en una planta general los límites de cada una de las afectaciones, indicando el nombre del propietario y el área a afectar. Las afectaciones estarán limitadas por el derecho de vía o por los ceros de los cortes y/terraplenes, cuando estos sobrepasen al derecho de vía.

La planta de la delimitación del derecho de vía y afectaciones generalmente se presenta en escala 1:2000.

4.3 PLANTA GEOMÉTRICA.

Para la elaboración de la Planta geométrica (incluye cálculo, elaboración de planos y memoria), se deberán elaborar y tener los planos en archivo electrónico e impresos a cada 2.0 km, con 100 m. de traslape a cada lado conteniendo los siguientes datos:

1. Cuadro General, (con tinta negra) incluyendo nombre de la carretera, tramo, identificación de la entidad proponente, nombre, dirección y cédula profesional del proyectista y sus firmas.
2. Cuadro de datos de proyecto con datos completos
3. Escala 1:2000 ó 1:1000, según la configuración del terreno.
4. Retícula UTM.
5. Cadenamiento de los PI, PST, PC y PT, con coordenadas UTM.
6. Deflexiones.
7. Poligonal del trazo definitivo.
8. Indicar con una pequeña raya transversal el cadenamiento del trazo definitivo cada 20 m.
9. Valores numéricos del cadenamiento del trazo definitivo, cada 100 m y cada Km.
10. Datos de las curvas circulares: PI, Δ , G, ST, LC, R y V.
11. Longitud de la tangente libre horizontal.
12. Equidistancia de las curvas de nivel será de dos, uno o medio metro según las condiciones topográficas del terreno.
13. Localización de escurrimientos como arroyos, ríos, barrancas, así como canales de riego, etc.

14. Detalles de poblados, cruces con otras vías de comunicación (calles, caminos, ferrocarriles, etc.) y obstáculos varios como: alambradas, cercados, construcciones, líneas eléctricas y de teléfonos, Etc.
15. Referencias de trazo con ubicación en puntos inamovibles como construcciones, postes, canales revestidos, elementos de concreto, árboles grandes, etc.
16. Norte y declinación magnética para indicar la orientación del plano.
17. Igualdades de cadenamiento, (cuando existan).
18. Diagrama de flujo con TDPA, obtenido del Estudio de Ingeniería de Transito

4.4 PERFILES DE RASANTE, SECCIONES TRANSVERSALES Y CURVA MASA.

Perfiles de rasante, secciones trasversales y curva masa (incluye cálculo, elaboración de planos y memoria).- Para la etapa del proyecto geométrico del alineamiento vertical (propuesta de subrasante definitiva) “El proyectista” deberá presentar al supervisor de terracerías un perfil de trabajo que contenga los siguientes datos:

Elementos principales del alineamiento horizontal (PST, PC, PT, TE, EC, CE y ET), azimuts (AZAC) y longitud de tangentes libres; perfil del terreno, escalas 1:2,000 horizontal y 1:200 vertical, con la propuesta de la subrasante definitiva; ubicación, tipo y rasante mínima por estructuras y drenaje menor; datos geotécnicos (características de los materiales a lo largo de la línea de proyecto, coeficientes de variabilidad volumétrica, taludes de proyecto, clasificación de pago y recomendaciones de aprovechamiento y tratamiento de los materiales).

Previo a la revisión de proyecto geométrico del alineamiento vertical. “El proyectista”, deberá recabar, del Supervisor del proyecto, el visto bueno de aprobación, de la revisión de los datos de campo, geotecnia, tipo y dimensiones de las estructuras y alcantarillas necesarias, incluyendo rasante mínima y funcionamiento de drenaje.

Una vez que el supervisor de proyecto de terracerías ha revisado y autorizado el alineamiento vertical propuesto por “El proyectista”, se estará en posibilidad de procesar el proyecto de terracerías.

En el perfil de trabajo deberá dibujarse, a una escala adecuada, la ORDENADA DE CURVA-MASA para en base a los bancos de préstamo de materiales y los movimientos de terracerías se ubique la compensadora económica, una vez determinada la compensadora se calcularán los movimientos de terracerías tanto de compensación longitudinal como de los bancos de préstamo, se presentarán las cantidades de obra por kilómetro y parciales por cada 5 kilómetros, además de las cantidades de obra totales para todo el tramo en proyecto.

4.5 ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DE MECÁNICA DE SUELOS.

4.5.1 ESTUDIO GEOTÉCNICO:

Consiste en determinar las características litológicas y estructurales de los materiales existentes en el sitio en estudio mediante un conjunto de técnicas y procedimientos que se utilizan para reconstruir su historia geológica, y tiene como propósito evaluar la ruta del posible trazo definitivo. Identificando en forma general los siguientes aspectos:

- A. Determinación de la relación suelo-roca en cuanto a su proporción existente de estos materiales en todo el trazo, ya que de ésta, depende la definición del proyecto, así como el costo de cortes y terraplenes.
- B. Determinar las características generales y espesores probables de los aluviones en los cruces de ríos o arroyos, que influyan en el costo de alcantarillas y puentes.
- C. Identificar las estructuras mayores, fallas, discordancias, estratificaciones y plegamientos, que influyan en el trazo de la carretera.
- D. Identificar las zonas potencialmente inestables y las que muestren evidencia de fallas que puedan afectar el comportamiento del camino o carretera.
- E. Localizar los sitios que por sus características geológicas sean potencialmente “Bancos de Materiales”, pues la disponibilidad de éstos, es importante en la definición de la ruta.

El estudio geotécnico deberá contener cuando menos la información que a continuación se enlista:

1. Generalidades

- 1.1 Introducción.
- 1.2 Descripción del proyecto.
- 1.3 Objetivo del estudio.
- 1.4 Referencias.
- 1.5 Trabajos de campo

2. Características de la zona

- 2.1 Morfología
- 2.2 Geología
- 2.3 Clima.

3. Geotecnia de la zona

3.1 Características del suelo

3.2 Ensayes de laboratorio

3.3 Datos geotécnicos para el proyecto:

- Taludes recomendados para terraplén y cortes.
- Obras complementarias recomendadas para estabilidad de taludes, sub-drenaje, estabilización de terreno natural y desplante de terraplenes.
- Coeficientes de variabilidad volumétrica para cortes compensados y Bancos de material, de acuerdo al grado de compactación.
- Recomendaciones para sistemas constructivos en sitios específicos, tipo de sección recomendada y nivel de rasante.

3.4 Cortes y terraplenes.

3.5 Capa subrasante.

3.6 Obras de drenaje menor.

3.7 Subdrenaje.

4. Intensidad de muestreo para estudios geotécnicos.

Sondeos de tipo a cielo abierto para proyecto de terracerías.

- 1) A cada doscientos (200) metros para longitud de proyecto hasta de un (1) kilómetro.
- 2) A cada quinientos (500) metros para longitud de proyecto mayor de un (1) kilómetro.

Estudio de bancos de terracerías y pavimentos.

- 3) Dos (2) muestras por banco para caminos secundarios.
- 4) Dos (2) muestras, más una muestra adicional por cada 5,000 m³ de extracción de cada banco, para caminos de primer orden.

Estudios para estructuras especiales y muros.

- 5) De dos (2) a tres (3) sondeos para cada caso en especial, dependiendo de la continuidad de los estratos en el suelo de desplante.
- 6) Se deberá contar con Formatos para el registro de los datos y resultados del estudio geotécnico.

4.5.2 ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

Este estudio tiene por objeto la determinación de las características del sitio donde se construirá el camino, el cual se ejecuta para definir los aspectos geológicos que puedan influir en el diseño de la obra, establecer la capacidad de carga en el nivel de desplante del pavimento, los posibles procedimientos constructivos, y evaluar el costo aproximado de su construcción, determinando los siguientes aspectos:

- La zonificación estratigráfica probable de las diferentes unidades de roca, identificando el tipo y las características de los materiales sobre el eje del trazo en donde se desplantara la estructura del camino y de los que se excavaran en los sitios de apoyo de las obras de drenaje y puentes.
- Las alteraciones de la roca que determinan su contacto con el suelo, y que pueden influir en el desplante de la cimentación.
- Las estructuras mayores como fallas, plegamientos, discordancias, estratificaciones, y las estructuras menores como fracturas, foliación y exfoliación, identificando la influencia que tendrán en el desplante de la cimentación y/o en la estabilidad de la excavación para su construcción.
- Estudios geológicos de detalle.- son los levantamientos geológicos de sitios específicos, que se realizan con base en los reconocimientos geológicos a que se han hecho referencia, apoyados en los planos topográficos, las fotografías aéreas a escala adecuada y/o las imágenes de satélite o mediante inspecciones detalladas a pie y/o en vehículo terrestre, dependiendo del propósito del estudio.
- Trabajos de laboratorio.- los análisis petrográficas u otras pruebas que se ejecuten en las muestras que se obtengan durante el levantamiento geológico, conforme a especificaciones vigentes, foto geología y levantamientos geológicos, a satisfacción de la dependencia o entidad solicitante del proyecto.

4.5.3 TRABAJOS DE GABINETE PARA OBRAS DE DRENAJE Y OBRAS COMPLEMENTARIAS.

Para el diseño de cada una de las obras se debe cumplir lo siguiente:

- A. Para cada obra de drenaje, en los datos de los trabajos de topografía, se deberán entregar las secciones del terreno natural con referencia del banco de nivel auxiliar aguas arriba y aguas abajo del cauce, así como la sección del camino y nivel de sub-rasante considerando los taludes de terraplén y corte, con el esviaje en su caso.
- B. El proyecto de cada obra deberá señalar claramente el kilómetro de ubicación, tipo de obra, especificaciones de materiales, niveles de desplante y volúmenes de obra.

- C. Deberá especificarse la resistencia del terreno de desplante de la obra para losas y bóvedas. Esta resistencia deberá estar plenamente justificada con los estudios de laboratorio correspondientes y asociada a una cota de referencia.
- D. Deberá indicar en su caso excavaciones adicionales para retiro de materiales no apropiados y en su caso indicar dentellones de anclaje en el terreno natural.
- E. El nivel de desplante para las obras de drenaje deberá apoyarse en el terreno natural, evitando que descarguen sobre los taludes de terraplén.
- F. Para las obras de drenaje en cortes deberán proyectarse cajas de captación para cunetas, así como obras complementarias en las descargas.
- G. Deberá entregarse un concentrado de volúmenes de las obra de drenaje por kilómetro y del total del tramo.

Para las obras complementarias se deberá cumplir con lo siguiente:

- 1. Se deberá de cuantificar en forma detallada, las obras complementarias de drenaje (cunetas, contracunetas, bordillos, lavaderos y sub-drenes longitudinales y transversales), presentando especificaciones y las secciones o figuras tipo de dichas obras complementarias, proporcionando, en su caso la siguiente información.
- 2. Ubicación.
- 3. Longitud.
- 4. Material con que deben impermeabilizarse.
- 5. Clasificación para presupuesto del terreno natural.
- 6. Recomendaciones para protecciones en las zonas de descargue.
- 7. Recomendaciones para la construcción.
- 8. Profundidad a la que deben de construirse y pozos de visita, en el caso de sub-drenes.
- 9. Cantidades de obra.

4.5.4 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.

El análisis de factibilidad técnica se realiza por medio de los estudios sobre los materiales, maquinaria, equipo, tecnología y calificación de personal que se requieren para la ejecución del proyecto de inversión, en donde se determine si el proyecto se apega a las normas establecidas por alguna dependencia o entidad, así como a los criterios técnicos de ingeniería por aplicar y a los desarrollos tecnológicos disponibles.

Para dictaminar sobre el análisis de factibilidad técnica, se deberá considerar lo siguiente:

- a) Localización de la obra;
- b) Especificaciones técnicas del proyecto;

- c) Disponibilidad de insumos necesarios para la operación y en su caso, para la realización del proyecto;
- d) Justificación sobre la tecnología propuesta;
- e) Calificación del personal requerido para llevar a cabo el proyecto de inversión;
- f) Capacidad técnica para cumplir con las metas que se propone alcanzar.
- g) Vida útil del activo.
- h) Congruencia del programa o proyecto de inversión con las prácticas aceptadas de la ingeniería y con los desarrollos tecnológicos disponibles.

Los incisos d) a f) anteriores, no se tendrán que considerar cuando, por la naturaleza del programa o proyecto de inversión, no se disponga de la información correspondiente sino hasta después de haber realizado el procedimiento de contratación.

DICTAMEN TÉCNICO:

Es el documento a través del cual se manifiesta una opinión sobre los análisis de factibilidad económica, técnica y ambiental y, en su caso, sobre el proyecto ejecutivo de obra pública, en los términos de éstos lineamientos.

Para dictaminar sobre el proyecto ejecutivo de obra, se deberá considerar si los estudios, proyectos, planos, especificaciones y programas de los trabajos a realizar referentes al proyecto de inversión son adecuados y suficientes para iniciar la ejecución del mismo.

En el dictamen, se podrá recomendar que se tome una de las siguientes decisiones:

- Ejecutar el proyecto conforme al calendario y características previstas.
- Ejecutar el proyecto sujeto a ciertas condiciones.
- Aplazar la ejecución del proyecto.
- Rechazar el proyecto.
- Realizar más estudios o acciones referentes al proyecto ejecutivo de obra y los análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental, antes de tomar una decisión definitiva.

4.5.5 PROYECTO DE SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN DE OBRA.

4.5.5.1 Proyecto de señalamiento.

Se deberán presentar planos en escala legible y de longitud máxima de 1.80 m. En ellos se ubicarán en el plano, todas las señales estándar que se necesiten para indicar claramente los requerimientos operacionales de la carretera, tal y como lo describe la

NORMATIVA PARA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN SU LIBRO: PRY. PROYECTO, PARTE 10 PROYECTO DE SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN CALLES Y CARRETERAS; DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

Las señales estándar deberán ser representadas con precisión a escala de 1:100 y localizadas en el plano en sus apropiadas posiciones relativas a la precisión permitida por la escala del trazo y las señales adyacentes.

En cada plano habrá de incluirse, un listado de todos los señalamientos para cada 5 km. Este listado mostrará las señales para los lados derecho e izquierdo de la carretera por separado; con el lado derecho, mostrando el incremento del kilometraje de distancia a lo largo de la carretera. Las dos listas pueden estar por separado, solo cuando esto sea realmente necesario por limitaciones de espacio.

Los listados incluirán los siguientes detalles:

- Kilometraje en orden ascendente, para el lado derecho comenzando en la parte superior de listado y, en orden descendente para el lado izquierdo, empezando en la parte superior del listado.
- Dimensiones.
- Descripción estándar.

Así como la lista de señalamiento vertical ordenada, deberá haber una lista con la sumatoria de todas las señales, mostrando las cantidades de cada tipo; además de una lista con la sumatoria de todos los señalamientos horizontales, incluyendo las rayas continuas, discontinuas, vialetas y defensas de lamina.

Esta lista deberá mostrar los siguientes detalles: Tipo, Color, Dimensiones (ancho, espaciamiento, etc.), Cantidad y Observaciones relevantes.

Se deberán de incluir especificaciones para señalamiento vertical, acabados, tratamientos, calibre de lámina, anclajes, análisis por viento, diseño estructural de las señales elevadas, las cuales deberán aparecer en la planta general, de acuerdo a un plano que se debe anexar.

La cantidad de defensa (2 Crestas, 3 Crestas) muros divisorios de carriles se deberán de dibujar e indicar sus detalles más importantes (tipo, M-180, terminación, arranque de la defensa, etc.).

El proyecto de dispositivos de seguridad y Protección de Obra será de acuerdo como se indica en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT., antes referida.

5. PROYECTO MODIFICADO.

En esta etapa se contempla sobre el período de construcción de la obra, debido a imprevistos que obligan a la modificación de las características del proyecto original, teniendo que adaptarse a las condiciones y circunstancias reales que se presenten.

6. PROYECTO COMPLEMENTARIO.

En esta etapa se consideran en su momento, las acciones adicionales como son los cambios o modificaciones convenientes o de menor importancia, correspondientes a los proyectos de las obras complementarias.

CAPITULO II

ESTRUCTURACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

1. TIPOS DE PAVIMENTOS

1.1 PAVIMENTO.

Se define un pavimento, como una estructura formada por varias capas (sub-base, base, carpeta y en su caso capa de rodadura) de distintos materiales; que nos permiten distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito a las terracerías (terreno natural, cuerpo de terraplén, subyacente y subrasante); así mismo nos proporciona una superficie cómoda y segura para el rodamiento de los vehículos.

En México se construyen básicamente dos tipos de pavimentos para caminos y carreteras de altas especificaciones, “**Pavimentos Flexibles y Pavimentos Rígidos**”, los cuales están definidos por las diferentes capas de la estructura que los componen, y principalmente por la rigidez de la ultima capa de rodamiento, ya que en el pavimento flexible, la superficie de rodamiento es una carpeta de concreto asfáltico (flexible) y en el pavimento rígido, la superficie de rodamiento está compuesta por losas de concreto hidráulico (rígido).

Debido a la diferencia de características de los materiales que componen a estos dos tipos de pavimento, al módulo de elasticidad de las capas de la superficie de rodamiento y la forma de transmisión de las cargas ejercidas por el tránsito; su comportamiento es diferente.

Actualmente, la infraestructura vial influye mucho en la economía de nuestro país por el gran valor que tiene en ésta, pues al alto costo de construcción, hay que adicionarle también los costos de mantenimiento o rehabilitación que se derivan por el mal estado de las vías terrestres, por eso los nuevos ingenieros que se dediquen a esta rama de la

profesión se enfrentaran a un reto muy importante que es el de proporcionar estructuras de pavimentos eficaces con presupuestos cada vez más restringidos; lo que hace que se tengan que evaluar las ventajas y desventajas que nos proporcionan tanto los pavimentos flexibles como de los pavimentos rígidos, para elegir el más conveniente de acuerdo al presupuesto con que se cuenta y que se cumpla con la máxima calidad y los alcances del proyecto.

1.2 FINALIDAD DE UN PAVIMENTO

- 1.- Soportar y transmitir las cargas que se presentan con el paso de los vehículos.
- 2.- Ser lo suficientemente impermeable.
- 3.- Soportar el desgaste producido por el paso de los vehículos y el clima.
- 4.- Mantener una superficie cómoda y segura (antideslizante) para el rodamiento de Los vehículos.
- 5.- Mantener un grado de flexibilidad para cubrir los asentamientos que presenten las capas inferiores (sub-base o base).
- 6.- Que cumpla con los conceptos de funcionalidad, calidad, comodidad y seguridad Para el usuario, así mismo que tenga una durabilidad esperada en proyecto.

1.3 CLASIFICACIÓN DE CAMINOS (CARRETERAS)

Un camino o carretera se define como la adaptación de una estructura (terracerías y pavimento) sobre la superficie terrestre acondicionada, para que cumpla con características de proyecto como son: Nivel del trazo de la rasante, pendiente especificada, ancho de la sección y alineamiento; para poder desplantar la estructura que debe cumplir con la resistencia, seguridad, conformidad y superficie de rodamiento uniforme y antideslizante que permitan en conjunto el adecuado desplazamiento de los diferentes tipos de autotransportes.

Los Caminos se clasifican de acuerdo a su transitabilidad, por su sistema administrativo y por su clasificación técnica oficial.

1.3.1 CLASIFICACIÓN POR SU TRANSITABILIDAD.

Esta clasificación se debe a las etapas de construcción del camino:

- 1.- **Caminos de terracerías:** son los que se construyen a nivel de sub-rasante.
- 2.- **Camino Revestido:** Son los que sobre la sub-rasante se construye una capa de material granular (capa de revestimiento).

- 3.- **Camino Pavimentado:** Es el que se construye sobre la sub-rasante la estructura de un pavimento.

1.3.2 CLASIFICACIÓN ADMINISTRATIVA:

Esta clasificación depende del sistema de administración de los caminos.

- 1.- **Caminos Federales:** Son los que se construyen con presupuesto federal.
- 2.- **Caminos Estatales:** Son los que se construyen por cooperación con el 50 % del presupuesto federal y 50 % del presupuesto del Estado, en donde se construyen y quedan a cargo de la junta local de caminos del estado.
- 3.- **Caminos Vecinales:** Son los que se construyen con una 3ra. Parte del presupuesto por los vecinos. Otra 3ra. Parte por costo federal y la última 3ra parte costada por el Estado.
- 4.- **De Cuota:** Son las que quedan a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos; y otras, como las autopistas o carreteras concesionadas a la Iniciativa Privada por tiempo determinado, siendo la inversión recuperable a través del cobro de cuotas de paso.

1.3.3 CLASIFICACIÓN TÉCNICA OFICIAL DE CAMINOS:

Es la que toma en cuenta los volúmenes del tránsito al final de la vida útil del camino (10 a 15 años) para la cual fue diseñado; Además nos permite distinguir la geometría del diseño y calidad de la construcción del camino, para un determinado Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA). Esta clasificación es la siguiente:

- 1.- Tipo especial; para un Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), superior a 3000 vehículos.
- 2.- Tipo A: para un Tránsito Diario Promedio Anual, de 1500 a 3000 vehículos.
- 3.- Tipo B: para un Tránsito Diario Promedio Anual, de 500 a 1500 vehículos.
- 4.- Tipo C: para un Tránsito Diario Promedio Anual, de 50 a 500 vehículos.

Dentro del contexto del diseño de pavimentos se acepta que el dimensionamiento de estas estructuras permita que se establezcan las características de los materiales de las distintas capas del pavimento y los espesores; de tal forma que el pavimento mantenga un "índice" de servicio aceptable durante el periodo de vida útil estimada del camino.

1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA TIPO DE PAVIMENTO:

| PAVIMENTO FLEXIBLE | PAVIMENTO RÍGIDO |
|---|---|
| Costo inicial de construcción más bajo. | Costo inicial de construcción mucho más alto. |
| Periodo de vida útil de 10 a 15 años. | Periodo de vida útil de 20 a 40 años. |
| Costo de mantenimiento, mayor. | Costo de mantenimiento, menor. |
| Mayores deformaciones de la superficie | Las deformaciones de la superficie es menor. |
| Procedimiento constructivo más tardado y complejo | Procedimiento constructivo menos tardado y menos complejo |

2 ESTRUCTURACIÓN DE PAVIMENTOS

2.1 ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES; SECCIÓN EN TERRAPLÉN

| | | |
|---|---|-----------------|
| Carpeta de rodadura | Espesor máximo 4 cm. | PAVIMENTO |
| Carpeta asfáltica | Espesor variable de 5 a 15 cm. aprox. Depende del diseño | |
| Base hidráulica, puede ser estabilizada o sin estabilizar | Espesor variable que depende del diseño del pavimento | |
| Sub-base hidráulica | Espesor variable que depende del diseño del pavimento. | |
| Capa sub-rasante | Espesor de 30 cm. mínimo y depende del nivel de la sub-rasante de proyecto y tránsito | TERRACERIAS |
| Capa subyacente | Espesor de 30 cm. mínimo además depende del nivel de la sub-rasante que indique el proyecto. | |
| Cuerpo de terraplén | Espesor variable que depende de la altura que se requiera para que la superficie de la sub-rasante tenga el nivel que indique el proyecto | |
| Terreno natural | Espesor variable | Terreno natural |

2.2 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE; SECCIÓN EN CORTE.

| | | |
|---|---|---|
| Carpeta de rodadura | Espesor máximo 4 cm. | PAVIMENTO |
| Carpeta asfáltica | Espesor variable de 5 a 15 cm. aprox. Depende del diseño | |
| Base hidráulica, puede ser estabilizada o sin estabilizar | Espesor variable que depende del diseño del pavimento | |
| Sub-base hidráulica | Espesor variable que depende del diseño del pavimento. | |
| Capa sub-rasante | Espesor de 30 cm. mínimo y también depende del núm., de ejes equivalentes de 8.2 ton. | Esta capa puede ser el mismo terreno natural si cumple con la calidad requerida |
| Terreno natural | Espesor variable | Terreno Natural |

2.3 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO; SECCIÓN EN TERRAPLÉN

| | | |
|---|--|-------------|
| Carpeta de concreto hidráulico (Losas de concreto hidráulico) | Espesor que depende del diseño del pavimento | PAVIMENTO |
| base hidráulica, puede ser estabilizada o sin estabilizar | Espesor variable que depende del diseño del pavimento | |
| Sub-base hidráulica | Espesor variable que depende del diseño del pavimento. | |
| Capa sub-rasante | Espesor de 30 cm. mínimo y también depende del nivel de proyecto | TERRACERIAS |
| Capa subyacente | Espesor de 30 cm. mínimo además depende del nivel de la sub-rasante que indique el proyecto. | |
| Cuerpo de terraplén | Espesor variable que depende de la altura que se requiera para que la superficie de desplante de la subyacente o la sub-rasante tenga el nivel que indique el proyecto | |
| Terreno natural | Espesor variable | |

2.4 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO; SECCIÓN EN CORTE.

| | | |
|---|---|-----------------|
| Carpeta de concreto hidráulico | Espesor que depende del diseño del pavimento | PAVIMENTO |
| base hidráulica, puede ser estabilizada o sin estabilizar | Espesor variable que depende del diseño del pavimento | |
| Sub-base hidráulica | Espesor variable que depende del diseño del pavimento. | |
| Capa sub-rasante | Espesor de 30 cm. mínimo y también depende del No. de ejes equivalentes de 8.2 ton. | TERRACERIAS |
| Terreno natural | Espesor variable | TERRENO NATURAL |

Los pavimentos también pueden construirse en otro tipo de secciones, como son:

- Sección en balcón o terraza, cuando el pavimento se desplanta en corte de un solo lado.
- Sección mixta, cuando el pavimento se desplanta en sección de corte y terraplén

3. CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

3.1 TERRACERIAS:

Las terracerías como parte estructural de un camino, están compuestas por el cuerpo del terraplén, capa subyacente y la capa de sub-rasante. En el caso que la estructura del pavimento se construya en una sección en corte, el terreno natural puede servir de capa de sub-rasante, siempre y cuando el material del T.N. cumpla con las características de calidad requeridas para una capa sub-rasante, y si sobre el eje del trazo del camino, se requiere la construcción del cuerpo terraplén, capa subyacente y capa de sub-rasante, se definirá en el diseño del pavimento el espesor de cada una de estas capa, con la finalidad de dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas, sobre todo en lo relativo a pendiente longitudinal, la de resistir las cargas del tránsito transferidas y distribuir los esfuerzos a través de su espesor; para transmitirlos en forma adecuada al terreno natural.

La construcción de terracerías deberá llevarse a cabo de acuerdo a lo especificado en la Norma N.CTR-CAR-1-01. Terracerías, así mismo los materiales pétreos empleados deben cumplir con las características de calidad establecidas en la Norma N-CMT-1. Materiales para Terracerías.

3.1.1 EL CUERPO DEL TERRAPLÉN:

El cuerpo del terraplén puede construirse empleando volúmenes de materiales que se extraen de los cortes realizados sobre el eje del camino o de bancos de materiales ya

localizados y estudiados. Si el volumen de material extraído de los cortes sobre el eje del camino se usa en la construcción de los terraplenes, se dice que se tienen terracerías compensadas; el volumen de material de corte que no se usa, se denomina desperdicio.

Si el volumen que se extrae de los cortes sobre el eje del camino, no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, es necesario extraer material fuera de la zona de construcción del camino o sea en zonas de préstamos; si estas zonas están retiradas o cercanas a la obra, del orden de los 10 a los 100 m a partir del pie del talud del terraplén o en su caso de la orilla de la corona del camino, se llaman préstamos laterales; si estas zonas se encuentran a más de 100 m son préstamos de banco.

La construcción de terraplenes, se realizara de acuerdo a lo especificado en la norma N-CTR-CAR-1-01-009/11, Terraplenes, hasta el nivel de desplante de la capa subyacente, o en su caso hasta el nivel de desplante de la capa sub-rasante y los materiales pétreos empleados, deben ser compactables y deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-1-01/02 Materiales para terraplén, ambas normas de la Normativa S.C.T.

3.1.2 LA CAPA SUBYACENTE:

Esta capa, se requiere construir sobre el cuerpo del terraplén cuando el Tránsito Diario Promedio Anual que va a operar sobre el camino equivalga a una intensidad del tránsito sea de 10,000 a un (1) millón ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL); esta capa de subyacente se construirá con material compactable y con un espesor mínimo de 30 cm. los materiales pétreos empleados, deberán cumplir con los requisitos de calidad especificados en la Norma N-CMT-1-02/02 Materiales para Subyacente, de la Normativa S.C.T.

3.1.3 LA CAPA SUBRASANTE:

Es la capa superior de las terracerías y es la capa de cimentación que debe soportar la carga de la estructura del pavimento, así como las cargas aplicadas por el tránsito que circula sobre el pavimento, y las transmite en forma adecuada a las capas inferiores de las terracerías. En algunos casos, esta capa estará formada solo por la superficie natural del terreno y se construyen con un espesor que estará en función del número de ejes equivalentes de 8.2 ton., (20, 30, o más cm.). Los materiales pétreos empleados, deberán ser compactables y cumplir con los requisitos de calidad especificados en la Norma N-CMT-1-03/02. Materiales para Sub-rasante, de la Normativa S.C.T.

3.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS TERRACERÍAS

Para la construcción de las terracerías se deberá cumplir con lo especificado en la Norma N.CTR-CAR-1-01. Terracerías, de la Normativa S.C.T. y se requiere realizar previamente sobre el eje del trazo del camino, los siguientes conceptos de obra:

3.2.1 DESMONTE

Consiste en la remoción de toda la vegetación existente en la zona en donde se desplantara la estructura del camino, considerando las zonas del derecho de vía, así como en las áreas destinadas para la construcción de las obras complementarias.

Cuando lo indique el proyecto, el desmonte se complementa con el trasplante, que consiste en el traslado de un sitio a otro de la vegetación viva. Los trabajos de desmonte, se deberán realizara de acuerdo a lo especificado en la norma N-CTR-CAR-1-01-001/11 de la Normativa S.C.T.

1. **Trabajos previos.**

Previo al inicio de los trabajos de desmonte, se realizara una visita de inspección y recorrido sobre el trazo del proyecto del camino, para programar las actividades y determinar el tipo de equipo que se requiere, de acuerdo con las características de la vegetación. Además se seleccionara y realizara el trasplante de la vegetación indicada en proyecto.

2. **Delimitación de la zona de desmonte.**

El desmonte se hará sobre el área de desplante de la estructura de la carretera y en la zona del derecho de vía en ambos lados de la carretera, además de las áreas en donde se construirán canales, contracunetas y en zonas de bancos de préstamo fuera del derecho de vía.

3. **El desmonte comprende las actividades de:**

- Tala.- que consiste en cortar los árboles y arbustos.
- Rosa.- que consiste en cortar y retirar la maleza, hierba, zacate o residuos de siembras.
- Desenraice.- que consiste en sacar los troncos o tocones con o sin raíces.
- Limpia y disposición final.- que consiste en retirar el producto del desmonte al banco de desperdicio que se indique en el proyecto.

3.2.2 DESPALME:

El despalme es la remoción del material superficial del terreno o capa de tierra de sustento vegetal, en un espesor que se indique en proyecto o se ordene a la vista de los materiales existentes en el lugar de acuerdo a la estratigrafía del terreno; con el fin de evitar mezclar el material de las terracería con materia orgánica o depósitos de material no utilizable. El equipo que se utilice será el adecuado para cada tipo de material que se despalme, así como para el transporte del mismo al banco de desperdicio. Los trabajos de despalme, se deberán realizara de acuerdo a lo especificado en la norma N-CTR-CAR-1-01-002/11, Despalme; de la Normativa S.C.T.

- 1. Trabajos previos al despalme.**
Previo al inicio de los trabajos, se realizara una visita de inspección para programar los trabajos y determinar el tipo de equipo que se requiere, de acuerdo con las características de la vegetación.
- 2. Delimitación de la zona de despalme**
Previo al inicio del despalme y una vez ejecutado el desmonte, se delimitara la zona de despalme de acuerdo con lo indicado en el proyecto.

3.2.3 CORTES

Los Cortes son las excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes, con objeto de preparar y formar geométricamente la sección de la obra, así como dar el nivel topográfico del eje del trazo del camino de acuerdo al proyecto.

Para la construcción de cortes en roca, generalmente se requiere el uso de explosivos, por lo que se deberá contar con el permiso y supervisión en su empleo de la Secretaría de la Defensa Nacional. Los trabajos de cortes, se deberán realizar de acuerdo a lo especificado en la norma N-CTR-CAR-1-01-003/11, Cortes; de la Normativa S.C.T.

1. Equipo:

El equipo que se utilice para la construcción de cortes, será el adecuado de acuerdo al tipo de material por cortar y se pueda obtener la geometría y sección de la obra generalmente se requiere el equipo siguiente:

- a) Barrenadoras.
- b) Tractores.
- c) Motoescrepas.
- d) Cargadores frontales
- e) Camiones de volteo

2. Trabajos previos

Previamente a los trabajos de corte, se debe realizar el desmonte, despalme y la delimitación de las zonas de corte mediante estacas en las líneas de ceros de acuerdo a las líneas de proyecto.

3. Ejecución

Los cortes se realizarán de acuerdo con las líneas geométricas del proyecto sin alterar las áreas fuera de los límites de la construcción indicadas por las líneas de ceros del proyecto, cumpliendo con el alineamiento, perfil y sección en su forma, anchura, profundidad y acabado.

3.2.4 ESCALONES DE LIGA

Son secciones en forma de escalón, construidas por medio de cortes laterales a lo largo de la sección transversal del camino, ya sea en el terreno natural o en el cuerpo de un terraplén ya construido que presente una pendiente transversal mayor del 25 %, con el objeto de proporcionar un apoyo más firme al material que se colocará para ampliar la corona de los terraplenes nuevos o ya construidos.

Previamente a la construcción de los escalones de liga, se delimitaran éstos, por medio de estacas u otro señalamiento, de acuerdo a lo que indique el proyecto. La construcción de Escalones de liga, se realizara de acuerdo a lo especificado en la Norma N-CTR-CAR-1-01-004/11, Escalones de liga; de la Normativa S.C.T.

3.2.5 AFINAMIENTO

El afinamiento consiste en perfilar y afinar las secciones y superficies ya cortadas anteriormente, con el fin de que se eliminen las irregularidades que se presenten, así como la remoción de todo el material suelto, para que se cumpla con las líneas y niveles establecidos en el proyecto. Los trabajos de afinamiento, se realizaran de acuerdo a lo especificado en la norma N-CTR-CAR-1-01-006/00, Afinamiento; de la Normativa S.C.T.

3.2.6 TERRAPLENES

Un terraplén es parte de la estructura de las terracerías que se construye con el objeto de obtener el nivel de la sub-rasante que se indique en el proyecto, y se conforma de materiales compactables, producto de cortes o procedentes de bancos y se compactarán al grado indicado en proyecto. Cuando los materiales sean no compactables, se colocará en capas de espesor mínimo que permita el tamaño máximo del material y se bandeas, previa aplicación de un riego de agua a razón de 100 L /m³, dando como mínimo tres (3) pasadas en toda la superficie en cada capa, con un tractor de orugas, con peso de 36 toneladas.

Los terraplenes también pueden construirse para cimentar estructuras, formar bermas y bordos. La construcción de terraplenes, se realizara de acuerdo a lo especificado en la norma N-CTR-CAR-1-01-009/11 y los materiales pétreos empleados, deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-1-01/02 Materiales para terraplén ambas normas de la Normativa S.C.T.

3.3 PAVIMENTO.

El elemento principal de la estructura de una obra vial, es **el pavimento**, el cual está conformado por una capa de sub-base (no siempre se usa), una base, una carpeta asfáltica y en su caso de una capa de rodadura y como cimentación de ésta estructura se tienen las terracerías. Cada una de las capas del pavimento, se construyen con diferentes materiales pétreos que varían en su composición granulométrica,

características físicas y que se tienden y compactan en etapas y operaciones de construcción independientes.

En muchos pavimentos de alta resistencia, es frecuente que se coloque una capa de **sub-base** entre la base y la terracería, empleando material pétreo seleccionado. Su principal propósito es el de distribuir o "repartir" los esfuerzos creados por las cargas de la base, la carpeta asfáltica y de las aplicadas por el tránsito que actúan sobre la superficie de rodamiento; para que los esfuerzos transmitidos a la sub-rasante no sean tan grandes que den por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de las terracerías de cimentación.

La base es una capa de alta estabilidad y densidad. Su principal función es proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta de concreto asfáltico y capa asfáltica de rodadura. Además de distribuir o "repartir" los esfuerzos creados por las cargas de la carpeta asfáltica y de las aplicadas por el tránsito que actúan sobre la superficie de rodamiento; para que los esfuerzos transmitidos a la sub-base, no sean tan grandes que den por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de las terracerías de cimentación.

La base debe ser también de tales características para que no sea dañada por el agua capilar ni por la acción de las heladas, ya sea que actúen por separado o en forma conjunta. Generalmente se emplean los materiales que se dispongan en la localidad y se utilizaran ampliamente en la construcción de capas de base, siempre y cuando cumplan con la calidad requerida, ya que los materiales preferidos para este tipo de construcción varían de manera notable en las diferentes partes del país.

La carpeta asfáltica o capa de rodamiento debe tener en su superficie la capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por el impulso y las rodadas bajo la carga de tránsito. Además, debe ser casi impermeable para impedir la entrada de cantidades excesivas del agua superficial a la base y las terracerías directamente desde arriba.

Las capas superficiales pueden variar en un espesor menor de 1 pulgada (2.54 cm) en el caso del tratamiento bituminoso superficial, usados por su bajo costo en caminos de tránsito ligero; y de hasta 4 cm. en el caso de capas de rodamiento y hasta 6 pulgadas (15.24 cm.) o más, en carpetas de concreto asfáltico, empleadas cuando se trata de caminos de tránsito intenso y pesado.

3.4 CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

En la construcción de pavimentos intervienen varios conceptos que se indican a continuación y para su desarrollo, podrán consultarse ampliamente en la Norma N-CTR-CAR-1-04. Pavimentos, de la Normativa S.C.T.

3.4.1 REVESTIMIENTOS ESTABILIZADOS Y NO ESTABILIZADOS

El revestimiento es una capa que tiene el objetivo de servir como superficie de rodamiento y se construye con materiales pétreos seleccionados con una composición

granulométrica determinada que pueden ser estabilizados con algún cementante (cal o cemento portland), o sin estabilizar; construida sobre las terracerías.

Para la construcción de la capa de revestimiento debe considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-001/03, de la Normativa S.C.T. y los materiales pétreos empleados deben de cumplir con las características de calidad especificadas en la Norma N-CMT-4-01/02. Materiales para Revestimiento, de la Normativa S.C.T.

3.4.2 SUB-BASE HIDRÁULICA.

La sub-base es una capa construida con material pétreo seleccionado con características granulométricas y de calidad determinadas, y sus funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la capa de base de un pavimento asfáltico, soportar las cargas transmitidas por la estructura superior del pavimento, así como los esfuerzos inducidos por el tránsito; distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior (sub-rasante). También tiene la función de ser una capa drenante cuando se construye empleando material pétreo con pocos finos.

Esta capa de sub-base, puede construirse o no, dependiendo de la suficiente capacidad de carga que tengan las capas de sub-rasante y de base, de acuerdo a lo determinado en el diseño del pavimento.

Para la construcción de la capa de sub-base deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-002/11. Sub-bases y Bases, de la Normativa S.C.T.

Los materiales que se empleen en la construcción de sub-bases deberán cumplir con las características de calidad especificadas en la Norma N-CMT-4-02-001/11. Materiales para Sub-bases de la Normativa S.C.T.

3.4.3 BASE HIDRÁULICA.

La base es una capa construida con material pétreo seleccionado con características granulométricas y de calidad determinadas, y sus funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas transmitidas por la carpeta y la capa de rodadura si se tiene, así como los esfuerzos inducidos por el tránsito; distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior (sub-base o sub-rasante, según sea el caso). También tiene la función de ser una capa drenante cuando se emplea material pétreo con pocos finos para evitar la ascensión capilar de agua subterránea.

Para la construcción de la capa de base deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-002/11. Sub-bases y Bases, de la Normativa S.C.T.

Los materiales que se empleen en la construcción de bases deberán cumplir con las características de calidad especificadas en la Norma N-CMT-4-02-002/11 Materiales para Bases Hidráulicas, de la Normativa S.C.T.

3.4.4 CAPAS ESTABILIZADAS.

Las Capas Estabilizadas se construyen con el fin de mejorar sus características físicas y mecánicas que ya tendidas y compactadas, nos proporcionen una mayor resistencia y mejor comportamiento de la estructura del pavimento.

La estabilización de capas para Sub-rasante, Revestimiento, Sub-base y bases; consiste en incorporar un producto estabilizador a los materiales pétreos de la capa que se trate, para que modifique algunas características físicas de los mismos, mejorando su comportamiento mecánico e hidráulico

Los productos más comúnmente utilizados para estabilizar los materiales de las capas ya indicadas, son materiales asfálticos, cemento Portland, cal hidratada y materiales puzolánicos.

Para la Construcción de las Capas Estabilizadas, deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-003. Capas Estabilizadas, de la Normativa S.C.T.

Los materiales que se empleen en la construcción de Capas Estabilizadas deberán cumplir con las características de calidad aplicables de acuerdo a la capa por estabilizar, indicadas en el libro CMT Características de los Materiales.

Para el caso de bases tratadas los materiales deben cumplir con la Norma CMT-4-02-003/04 Materiales para Bases Tratadas y en la Norma N-CMT-4-03-001/02. Materiales para Estabilizaciones, de la Normativa S.C.T.

3.4.5 RIEGOS DE IMPREGNACIÓN.

Este Riego de Impregnación consiste en la aplicación de un producto asfáltico, sobre la superficie de material ya tendido y compactado de una capa de sub-base o base con el objeto de impermeabilizarla y favorecer la adherencia con la carpeta asfáltica que se coloque encima.

El material asfáltico que se utiliza normalmente es una Emulsión Asfáltica de rompimiento lento o especial para impregnación.

La aplicación de este riego puede omitirse si la capa por construir encima, es una carpeta asfáltica con espesor igual o mayor de 10 cm.

Para la aplicación de este riego de impregnación, se emplea una petrolizadora, que debe contar con un sistema de calentamiento con un termostato para controlar y mantener a una temperatura constante la emulsión asfáltica, un termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque. Además debe contar con una barra de circulación que pueda ajustarse vertical y lateralmente, con espreas y con una bomba que permita una aplicación a una presión adecuada y con flujo uniforme, sobre la superficie por cubrir en anchos variables y dosificaciones controladas.

La petrolizadora, debe estar equipada con odómetros, medidores de presión y dispositivos adecuados para la medición del volumen de emulsión aplicada.

Para la ejecución de Riegos de Impregnación, deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-004. Riegos de Impregnación, de la Normativa S.C.T.

Los materiales Asfálticos que se empleen en la aplicación de Riegos de Impregnación deberán cumplir con las características de calidad especificadas en la Norma N-CMT-4-05-001. Calidad de Materiales Asfálticos, de la Normativa S.C.T.

3.4.6 RIEGOS DE LIGA.

Este Riego de Liga, consiste en la aplicación de un producto asfáltico, sobre la superficie de material ya tendido y compactado de una capa de pavimento con el objeto de lograr una adecuada adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima. El material asfáltico que se utiliza normalmente es una Emulsión Asfáltica de Rompimiento Rápido. La aplicación de este riego de liga puede omitirse si la capa por construir encima, es una carpeta asfáltica con espesor igual o mayor de 10 cm.

Para la aplicación de este riego de Liga, se emplea una petrolizadora, que debe contar con un sistema de calentamiento con un termostato para controlar y mantener a una temperatura constante la emulsión asfáltica, un termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque.

Además debe contar con una barra de circulación que pueda ajustarse vertical y lateralmente, con espreas y con una bomba que permita una aplicación a una presión adecuada y con flujo uniforme, sobre la superficie por cubrir en anchos variables y dosificaciones controladas.

La petrolizadora, debe estar equipada con odómetros, medidores de presión y dispositivos adecuados para la medición del volumen de emulsión aplicada.

Para la ejecución de Riegos de Liga, deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-005/00. Riegos de Liga, de la Normativa S.C.T.

Los materiales Asfálticos que se empleen en la aplicación de riegos de Liga, deberán cumplir con las características de calidad especificadas en la Norma N-CMT-4-05-001. Calidad de Materiales Asfálticos, de la Normativa S.C.T.

3.4.7 CARPETAS ASFÁLTICAS

Son las carpetas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla asfáltica elaborada con un producto asfáltico y agregados pétreos con granulometría determinada.

Para la construcción de los diferentes tipos de carpetas asfálticas y capas de rodadura, tanto en caliente como en frío, se deberán considerar las Normas de construcción especificadas en la Norma N-CTR-CAR-1-04 Pavimentos, así como las normas de calidad de los materiales utilizados especificadas en las Norma N-CMT-4 Materiales para Pavimentos, de la Normativa S.C.T.

Las carpetas asfálticas, pueden elaborarse con mezclas asfálticas de diferentes tipos, las cuales se clasifican de acuerdo al tipo de producto asfáltico empleado, características de los materiales pétreos utilizados, al procedimiento constructivo y la forma de mezclado, ya sea en **caliente** o en **frío**; y básicamente se clasifican en función de estos dos últimas características de mezclado, por lo que se definen como:

- A. CARPETAS ASFÁLTICAS CON MEZCLA EN CALIENTE.
- B. CAPAS DE RODADURA CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.
- C. CARPETAS ASFÁLTICAS CON MEZCLA EN FRÍO.
- D. CAPAS DE RODADURA CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.
- A. CARPETAS ASFÁLTICAS CON MEZCLA EN CALIENTE.**

Son las carpetas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla asfáltica elaborada por medio de calor a temperaturas de entre 160°C y 180 °C, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista de un sistema de calentamiento para calentar los componentes de la mezcla; empleando materiales pétreos con granulometría determinada y cemento asfáltico sin modificar o modificado; con el objeto de proporcionar al usuario de la carretera, una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Estas carpetas, generalmente son de espesores mayores de 4 cm, y tienen la función estructural de soportar y distribuir las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

Para la Construcción de Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente, deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-006/09, de la Normativa S.C.T.

Los materiales que se empleen en Construcción de Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente, deberán cumplir con lo establecido en las en las Normas N-CMT-4-04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, N-CMT-4-05-001. Calidad de Materiales Asfálticos, y N-CMT-4-05-002. Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, N-CMT-4-05-003. Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, y N-CMT-4-05-003. Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG.; de la Normativa S.C.T.

A su vez, las Mezclas Asfálticas en Caliente, se clasifican de acuerdo a la granulometría de los agregados pétreos empleados como son:

A.1 Mezclas asfálticas de granulometría densa:

Es la mezcla asfáltica procesada en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados con un tamaño nominal de entre 37.5 mm (1½”) y 9.5 mm (¾”). Normalmente estas mezclas se utilizan en carpetas asfálticas de pavimentos nuevos, en las que se requiere alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzos de pavimentos existentes.

A.2 Mezclas asfálticas de granulometría abierta:

Es la mezcla asfáltica procesada en caliente, uniforme y homogénea, y con un alto porcentaje de vacíos; elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme con tamaño nominal de entre 12.5 mm. (½”) y 6.3 mm. (¼”). Normalmente estas mezclas se utilizan en capas asfálticas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con el objeto de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, permitiendo que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos. Las mezclas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento, ni donde la precipitación sea menor de 600 milímetros por año.

A.3 Mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA.

Es la mezcla asfáltica procesada en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría discontinua con tamaño nominal de entre 19.0 mm (¾”) y 9.5 mm (¾”). Normalmente estas mezclas se utilizan en carpetas o capas de rodadura aunque también pueden utilizarse en capas inferiores, con espesores mayores a 4 cm., en carretera de alto tránsito.

Cuando son utilizadas como capa de rodadura, su finalidad principal es mejorar las condiciones de circulación de los vehículos, respecto a una carpeta asfáltica convencional.

Este tipo de carpetas elaboradas con mezcla asfáltica de granulometría discontinua, presentan una macro-textura que evita que el agua de lluvia forme una película continua sobre la superficie del pavimento, con lo que se incrementa la fricción de las llantas, se minimiza el acuaplaneo; se reduce la cantidad de agua que se proyecta sobre los vehículos adyacentes; se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal y se reduce el ruido hacia el entorno por fricción entre las llantas y la superficie de rodadura

B. CAPAS DE RODADURA CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

Son las capas de rodadura que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla asfáltica elaborada por medio de calor a temperaturas de entre 160°C y 180 °C, en una planta mezcladora estacionaria o

móvil, provista de un sistema de calentamiento para calentar los componentes de la mezcla; empleando materiales pétreos con granulometría determinada y cemento asfáltico sin modificar o modificado; con el objeto de proporcionar al usuario de la carretera, una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Estas capas de rodadura no tienen función estructural, pues generalmente se construyen con espesores menores o iguales a 4 cm., sobre una carpeta asfáltica, con la finalidad principal de evitar que el agua de lluvia forme una película continua sobre la superficie del pavimento, con lo que se incrementa la fricción de las llantas, se minimiza el acuaplaneo; se reduce la cantidad de agua que se proyecta sobre los vehículos adyacentes; se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal y se reduce el ruido hacia el entorno por fricción entre las llantas y la superficie de rodadura.

Para la Construcción de Capas de Rodadura con Mezcla Asfáltica en Caliente, deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-010/09, de la Normativa S.C.T.

Los materiales que se empleen en Construcción de Capas de Rodadura con Mezcla Asfáltica en Caliente, deberán cumplir con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04/08. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, N-CMT-4-05-001. Calidad de Materiales Asfálticos, y N-CMT-4-05-002. Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, N-CMT-4-05-003. Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, y N-CMT-4-05-003. Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG.; de la Normativa S.C.T.

De acuerdo con la granulometría del material pétreo empleado, se clasifican las capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente en:

- B.1 Capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría abierta.
- B.2 Capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua, tipo SMA.
- B.3 Capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua, tipo CASAA.

C.- CARPETAS ASFÁLTICAS CON MEZCLA EN FRÍO.

Son las carpetas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla asfáltica elaborada en frío en una planta mezcladora móvil, empleando materiales pétreos con granulometría determinada y emulsión asfáltica o asfalto rebajado con solventes; con el objeto de proporcionar al usuario de la

carretera, una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Estas carpetas, generalmente son de espesores mayores de 4 cm, y tienen la función estructural de soportar y distribuir las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

Para la Construcción de este tipo de carpetas, deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-007/09, Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío, de la Normativa S.C.T.

Los materiales que se empleen en Construcción de Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío, deberán cumplir con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04/08. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, N-CMT-4-05-001. Calidad de Materiales Asfálticos, y N-CMT-4-05-002. Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, y N-CMT-4-05-003. Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras; de la Normativa S.C.T.

A su vez, las mezclas asfálticas en frío, se clasifican de acuerdo a la granulometría de los agregados pétreos empleados como son:

C.1 Mezcla asfáltica de granulometría densa.

Es la mezcla asfáltica elaborada en frío con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos con tamaño nominal entre 37.5 mm (1½”) y 9.5 mm (¾”). Este tipo de mezclas normalmente se utilizan en los casos en que la intensidad del tránsito (ΣL) es menor o igual a un millón de ejes equivalentes, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural para la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas para el refuerzo de pavimentos existentes, así como para la reparación de baches.

C.2 Mortero asfáltico

Es la mezcla asfáltica procesada en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de 2.36 mm (malla No. 8). Este mortero normalmente se coloca sobre una carpeta de base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

D. CAPAS DE RODADURA CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.

Son las capas de rodadura que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla asfáltica elaborada en frío en una planta mezcladora móvil, empleando materiales pétreos con granulometría

determinada y emulsión asfáltica o asfalto rebajado con solvente; con el objeto de proporcionar al usuario de la carretera, una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Estas capas de rodadura no tienen función estructural, pues generalmente se construyen con espesores menores o iguales de 4 cm., sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica.

Para la Construcción de Capas de Rodadura con Mezcla Asfáltica en Frío, deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-008/09, de la Normativa S.C.T.

Los materiales que se empleen en Construcción de Capas de Rodadura con Mezcla Asfáltica en Frío, deberán cumplir con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04/08. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, N-CMT-4-05-001. Calidad de Materiales Asfálticos, y N-CMT-4-05-002. Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, y N-CMT-4-05-003. Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras; de la Normativa S.C.T.

De acuerdo con su función, la granulometría del material pétreo empleado y el procedimiento constructivo; las capas de rodadura con mezcla asfáltica en frío, se clasifican en:

D.1 Capas de rodadura de mortero asfáltico

Las capas de rodadura de mortero asfáltico, son las que se construyen mediante el tendido y compactado de una mezcla asfáltica elaborada en frío, de materiales pétreos de granulometría fina y emulsión asfáltica o asfalto rebajado con solventes; con el objeto de mejorar las características de resistencia al derrapamiento y de la seguridad, así como corregir desprendimientos menores.

D.2 Capas de rodadura por el sistema de riegos.

Las capas de rodadura por el sistema de riegos, son las que se construyen mediante la aplicación de uno, dos o tres riegos de material asfáltico intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de una composición granulométrica determinada; con el objeto de hacer la superficie de rodamiento resistente al derrapamiento y de protegerla contra el desgaste.

Estas capas de rodadura por el sistema de riegos, pueden ser de uno, dos o tres riegos según el número de capas de material pétreo que se apliquen. Las capas de rodadura de un riego, o la última capa de dos o tres riegos, pueden ser premezcladas o no.

En general, para consultar en una forma más amplia y detallada los temas antes expuestos en este capítulo, como son: Para realizar la construcción de Terracerías y Pavimentos, se deberán considerar las Normas de Construcción N-CTR-CAR-1-01, Terracerías y N-CTR-CAR-1-04 Pavimentos, así como las Normas de Calidad de los materiales utilizados, Normas N-CMT-1-01, Materiales para Terracerías y N-CMT-1-04, Materiales para Pavimentos. Además para verificar las características de calidad de los materiales, se realizaran las pruebas de laboratorio conforme se establece en el libro MMP, METODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES, correspondiente a los Manuales M-MMP-1, Suelos y Materiales para terracerías y M-MMP-4, Materiales para Pavimentos. Todas las Normas y Manuales indicados anteriormente, están contenidos en la Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT), de la SCT.

CAPITULO III

AGREGADOS PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

1. MATERIALES PÉTREOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TERRACERIAS.

Las terracerías como parte estructural de un camino, están compuestas por el cuerpo del terraplén, capa subyacente y la capa sub-rasante; y cada una de estas capas se construye con materiales pétreos de diferentes características físicas y de calidad, por lo que se deberá determinar y analizar los materiales pétreos que se empleen en la construcción de terracerías en forma independiente, para verificar que cumpla cada uno con las características de calidad establecidas en la Norma N.CMT-1 Materiales Para Terracerías, de la Normativa S.C.T.

1.1 MATERIALES PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES.

Son los materiales pétreos compuestos de suelo y fragmentos de roca, producto de cortes o de extracciones en bancos, que se utilizan para formar el cuerpo del terraplén, hasta el nivel de desplante de la capa subyacente.

La clasificación de los suelos y fragmentos de roca se describen ampliamente y detalladamente en el Manual M-MMP-1-02. Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos; o en el capítulo V de este trabajo.

1.1.1 REQUISITOS DE CALIDAD.

Los materiales que se utilicen en la formación de terraplenes, cumplirán con los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.1 siguiente:

Tabla III.1 Requisitos de Calidad de Materiales para Terraplén,

| CARACTERÍSTICAS | VALOR ESPECIFICADO | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|---|--------------------|-------------------------|
| Límite Líquido; %, máximo. | 50 % máximo | M-MMP-1-07/07 |
| Valor Soporte California (CBR), (1); %, mínimo. | 5% mínimo | M-MMP-1-11/08 |
| Expansión; %, máxima. | 5% máximo | M-MMP-1-11/08 |
| Grado de Compactación (2); %. | 90 ± 2 % mínimo | M-MMP-1-08/03; J |

(1). Este CBR o VRS determinado en especímenes compactados dinámicamente al 90 ± 2 %, con un contenido de agua igual al óptimo de su PVSM., del material.

(2). El grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máxima (PVSM) obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba.

1.1.2 CONTROL DE CALIDAD.

Para el empleo de materiales pétreos en la construcción de terraplenes deberá verificarse que se cumplan con los requisitos de calidad establecidos, por lo que se debe llevar un control de calidad, determinando sus características mediante las pruebas de laboratorio realizadas de acuerdo a los procedimientos de prueba especificados para cada una de las pruebas, en el LIBRO MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales; Manual M-MMP.1. Suelos y Materiales para Terracerías, de la Normativa S.C.T.

El contratista o encargado de la ejecución de la obra es el único responsable de la Calidad total de la obra, por lo que es el responsable de que el material para terraplén, cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla III.1 anterior o lo que indique el proyecto; debiendo presentar un certificado de calidad expedido por un laboratorio certificado, ya sea propio o externo.

Durante la ejecución de la obra, el Contratista, por cada **300 m³** o fracción, producidos de material para terraplén, debe certificar que se cumple con el valor especificado para la prueba de Límite Líquido y por cada **1000 m³** o fracción, de material producido, realizará las pruebas necesarias para asegurar que se cumple con todos los valores de los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.1 anterior, debiendo entregarse los resultados de las pruebas, Las pruebas de laboratorio se realizarán sobre muestras obtenidas como se establece en el manual M-MMP-1-01, Muestreo de Materiales para Terracerías., de la Normativa S.C.T.

Cada capa de terraplén ya tendida y compactada (de material compactable), se deberá verificar que se cumpla con el grado de compactación establecido en la Tabla III.1 anterior o lo que indique el proyecto, por medio de calas realizadas de acuerdo al

procedimiento de prueba M-MMP.1-08/03; inciso J; Determinación de la masa volumétrica en estado natural por el método de la Trompa y Arena.

El número de calas a realizar, se determinará dividiendo la longitud en metros de la capa tendida y compactada en un día de trabajo, entre 50 (L/50) de acuerdo como se indica en la Norma N-CTR-CAR-1-01-009/11, Inciso H.3.1.2. Localizadas las calas al azar mediante tablas de números aleatorios, conforme lo indicado en el manual M-CAL-1-02, Criterios Estadísticos de Muestreo y se cumpla con lo establecido en proyecto.

Cuando el terraplén se construya con material “no compactable”, se colocará en capas con espesor mínimo que permita el tamaño máximo del material y se conformará mediante bandeado, previa aplicación de un riego de agua a razón de 150 L/m³, dando como mínimo 3 pasadas de un tractor montado sobre orugas, que tenga un peso de 36.7 toneladas mínimo, en toda la superficie de cada capa que conforme el terraplén.

1.2 MATERIALES PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE CAPA SUBYACENTE.

Son los materiales pétreos compuestos de suelo y fragmentos de roca, producto de cortes o de extracciones en bancos, que se utilizan para formar la capa de Subyacente, inmediatamente encima del cuerpo del terraplén, hasta el nivel de desplante de la capa sub-rasante.

1.2.1 REQUISITOS DE CALIDAD.

De acuerdo a las características de los materiales que se utilicen en la construcción de capas de subyacente, y en función de la intensidad del tránsito representado por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) estimado en el número de ejes equivalentes de 8.2 ton., acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL); cumplirán con los requisitos siguientes:

- A. Cuando el TPDA (ΣL), sea menor de 10,000 ejes equivalentes; no se requiere la construcción de capa subyacente.
- B. Cuando el TPDA (ΣL), sea de diez mil (10,000) a un millón (1'000,000) de ejes equivalentes, el material pétreo deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.2, siguiente, y la capa subyacente tendrá un espesor mínimo de 30 cm.
- C. Cuando el TPDA (ΣL), sea de un millón (1'000,000) a diez millones (10'000,000) de ejes equivalentes, el material pétreo deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.2, y la capa subyacente deberá tener un espesor mínimo de 70 cm.
- D. Cuando el TPDA (ΣL), sea mayor de diez millones (10'000,000) de ejes equivalentes, la capa de subyacente requerirá de un diseño especial.

Tabla III.2 Requisitos de Calidad de Materiales para capa subyacente,

| CARACTERÍSTICAS | VALOR ESPECIFICADO | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Tamaño máximo y Granulometría | QUE SEA (1) COMPACTABLE | M-MMP-1-02 |
| Límite Líquido; %, máximo. | 50 % máximo | M-MMP-1-07/07 |
| Valor Soporte California (CBR), (1); %, mínimo. (2) | 10 % mínimo | M-MMP-1-11/08 |
| Expansión; %, máxima. | 3 % máximo | M-MMP-1-11/08 |
| Grado de Compactación (3); %. | 95 ± 2 % mínimo | M-MMP-1-08/03;J |

- (1) De acuerdo a lo indicado en el manual M-MMP-1.02, Clasificación de fragmentos de roca y suelos.
- (2) Este CBR o VRS determinado en especímenes compactados dinámicamente al 90 ± 2 %, con un contenido de agua igual al óptimo de su PVSM., del material.
- (3) El grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máxima (PVSM) obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba.

E. Si la capa subyacente se desplanta directamente sobre el terreno natural, y su espesor es menor de 30 o 70 cm. según corresponda, a lo indicado en los párrafos B y C anteriores, cuando el material del terreno natural de cimentación no cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.2, anterior, se excavará una caja a la profundidad necesaria para completar el espesor mínimo requerido correspondiente.

1.2.2 CONTROL DE CALIDAD.

Para el empleo de materiales pétreos en la construcción de capas de subyacente, se deberá verificar que se cumplan con los requisitos de calidad establecidos, por lo que se debe llevar un control de calidad, determinando sus características mediante las pruebas de laboratorio realizadas de acuerdo a los procedimientos de prueba especificados para cada una de las pruebas, en el LIBRO MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales; Manual M-MMP.1. Suelos y Materiales para Terracerías, de la Normativa S.C.T.

El contratista o encargado de la ejecución de la obra es el único responsable de la Calidad total de la obra, por lo que es el responsable de que el material para capas de subyacente, cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la Normativa S.C.T., o lo que indique el proyecto; debiendo presentar un certificado de calidad expedido por un laboratorio certificado, ya sea propio o externo.

Durante la ejecución de la obra, el Contratista, por cada **300 m³** o fracción, producidos de material para capa subyacente, debe certificar que se cumple con el valor especificado para la prueba de Límite Líquido y por cada **800 m³** o fracción, de material producido, realizará la pruebas necesarias para asegurar que se cumple con todos los valores de los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.2 anterior, debiendo entregarse los resultados de las pruebas, Las pruebas de laboratorio se realizarán sobre muestras obtenidas como se establece en el manual M-MMP-1-01, Muestreo de Materiales para Terracerías., de la Normativa S.C.T.

Cada capa de subyacente ya tendida y compactada (material compactable), se deberá verificar que se cumpla con el grado de compactación establecido en la Tabla III.2 anterior o lo que indique el proyecto, por medio de calas realizadas de acuerdo al procedimiento de prueba M-MMP.1-08/03; inciso J; Determinación de la masa volumétrica en estado natural por el método de la Trompa y Arena. El número de calas a realizar, se determinará dividiendo la longitud en metros de la capa tendida y compactada en un día de trabajo, entre 50 (L/50) de acuerdo como se indica en la Norma N-CTR-CAR-1-01-009/11, Inciso H.3.1.2. Localizadas las calas al azar mediante tablas de números aleatorios, conforme lo indicado en el manual M-CAL-1-02, Criterios Estadísticos de Muestreo y se cumpla con lo establecido en proyecto.

1.3 MATERIALES PÉTREOS PARA CONSTRUCCIÓN DE CAPA SUB-RASANTE.

Son los suelos naturales, seleccionados y cribados, producto de cortes o de extracciones en bancos; que se utilizan para formar la capa Sub-rasante, inmediatamente encima de la cama de cortes, de la capa subyacente o sobre el cuerpo del terraplén cuando no se construya la capa subyacente; con el objeto que sirva como capa de desplante para la estructura del pavimento.

1.3.1 REQUISITOS DE CALIDAD.

De acuerdo a las características de los materiales que se utilicen en la construcción de capas de sub-rasante, y en función de la intensidad del tránsito representado por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) estimado en el número de ejes equivalentes de 8.2 ton., acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL); cumplirán con los requisitos siguientes:

- A.- Cuando el TPDA (ΣL), sea igual a un millón 1'000,000 ejes equivalentes o menor, el material pétreo deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.3, siguiente, y la capa sub-rasante tendrá un espesor mínimo de 20 cm.
- B.- Cuando el TPDA (ΣL), sea de un millón 1'000,000 a diez millones de ejes equivalentes, el material pétreo deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.3, siguiente, y la capa sub-rasante tendrá un espesor mínimo de 30 cm.

- C.- Cuando el TPDA (ΣL), sea mayor de diez millones (10'000,000) de ejes equivalentes, la capa de sub-rasante requerirá de un diseño especial.
- D.- Si la capa de sub-rasante se desplanta directamente sobre el terreno natural, y su espesor es menor de 20 o 30 cm. según corresponda, a lo indicado en los párrafos A y B anteriores, cuando el material del terreno natural de cimentación no cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.3, se excavará una caja a la profundidad necesaria para completar el espesor mínimo requerido correspondiente.

Tabla III.3 Requisitos de Calidad de Materiales para capa sub-rasante.

| CARACTERÍSTICAS | VALOR ESPECIFICADO | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|--------------------|-------------------------|
| Tamaño máximo y Granulometría | 76 mm. (3") máx. | M-MMP-1-06/03 |
| Límite Líquido; %, máximo. | 40 % máximo | M-MMP-1-07/07 |
| Índice Plástico; %, máximo. | 12 % máximo | M-MMP-1-07/07 |
| Valor Soporte California (CBR), %, mínimo. (1) | 20 % mínimo | M-MMP-1-11/08 |
| Expansión; %, máxima. | 2 % máximo | M-MMP-1-11/08 |
| Grado de Compactación (2); %. | 100 \pm 2 % mín. | M-MMP-1-08/03;J |

(1) Este CBR o VRS determinado en especímenes compactados dinámicamente al 90 \pm 2 %, con un contenido de agua igual al óptimo de su PVSM., del material.

(2) El grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máxima (PVSM) obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba.

1.3.2 CONTROL DE CALIDAD.

Para el empleo de materiales pétreos en la construcción de la capa sub-rasante, se deberá verificar que se cumplan con los requisitos de calidad establecidos, por lo que se debe llevar un control de calidad, determinando sus características mediante las pruebas de laboratorio realizadas de acuerdo a los procedimientos de prueba especificados para cada una de las pruebas, en el LIBRO MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales; Manual M-MMP.1. Suelos y Materiales para Terracerías, de la Normativa S.C.T.

El contratista o encargado de la ejecución de la obra es el único responsable de la Calidad total de la obra, por lo que es el responsable de que el material para capas de sub-rasante, cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla III.3 anterior o lo que indique el proyecto; debiendo presentar un certificado de calidad expedido por un laboratorio certificado, ya sea propio o externo.

Durante la ejecución de la obra, el Contratista, por cada 200 m³ o fracción, producidos de material para capa sub-rasante, debe certificar que se cumple con el valor especificado para la prueba de Límite Líquido e Índice Plástico y por cada 500 m³ o fracción, de material producido, realizará las pruebas necesarias para asegurar que se cumple con todos los valores de los requisitos de calidad establecidos en la tabla III.3 anterior, debiendo entregarse los resultados de las pruebas. Las pruebas de laboratorio se realizarán sobre muestras obtenidas como se establece en el manual M-MMP-1-01, Muestreo de Materiales para Terracerías., de la Normativa S.C.T.

Cada capa de sub-rasante ya tendida y compactada (material compactable), se deberá verificar que se cumpla con el grado de compactación establecido en la Tabla III.3 anterior o lo que indique el proyecto, por medio de calas realizadas de acuerdo al procedimiento de prueba M-MMP.1-08/03; inciso J; Determinación de la masa volumétrica en estado natural por el método de la Trompa y Arena.

El número de calas a realizar, se determinará dividiendo la longitud en metros de la capa tendida y compactada en un día de trabajo, entre 50 (L/50) de acuerdo como se indica en la Norma N-CTR-CAR-1-01-009/11, Inciso H.3.1.2. Localizadas las calas al azar mediante tablas de números aleatorios, conforme lo indicado en el manual M-CAL-1-02, Criterios Estadísticos de Muestreo y se cumpla con lo establecido en proyecto.

2. MATERIALES PÉTREOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

El elemento principal de la estructura de una obra vial, es **el pavimento**, el cual está conformado por una capa de de una sub-base (no siempre se usa), una base, una carpeta asfáltica y en su caso, de una capa de rodadura y como cimentación de ésta estructura se tienen las terracerías. Cada una de las capas del pavimento, se construyen con diferentes materiales pétreos que varían en su composición granulométrica, características físicas y que se tienden y compactan en operaciones de construcción separadas.

2.1 MATERIALES PÉTREOS PARA CAPAS DE REVESTIMIENTO.

La capa de revestimiento se considera independiente de una estructura de pavimento, la cual se construye sobre las terracerías como una capa de rodamiento, en caminos de baja intensidad de tránsito, con objeto de distribuir las cargas del tránsito a las terracerías y evitar que éstas se deformen o destruyan por el mismo tránsito.

Los materiales pétreos empleados son suelos seleccionados con características específicas para formar la capa de revestimiento; y los cuales deben cumplir con los requisitos de calidad y de granulometría indicados en las tablas III.4 y III.5, respectivamente.

2.1.1 REQUISITOS DE CALIDAD

Tabla III.4 Requisitos de Calidad de Materiales para Revestimientos.

| CARACTERÍSTICAS | VALOR ESPECIFICADO | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|--------------------|-------------------------|
| Tamaño máximo y Granulometría | 76 mm. (3") máx. | M-MMP-4-01-003 |
| Límite Líquido; %, máximo. | 30 % máximo | M-MMP-4-01-006 |
| Índice Plástico; %, máximo. | 15 % máximo | M-MMP-4-01-006 |
| Equivalente de Arena; %, mínimo | 30 % mínimo | M-MMP-4-01-008 |
| Valor Soporte California (CBR), %, mínimo. (1) | 50 % mínimo | M-MMP-4-01-007 |
| Grado de Compactación (2); %, mínimo | 95 % mínimo. | M-MMP-4-01-011 |

- (1) CBR determinado con el grado de compactación indicado en esta tabla
 (2) El grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máxima (PVSM) obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar.
 (3)

Tabla III.5 Requisitos de granulometría de material para Revestimientos.

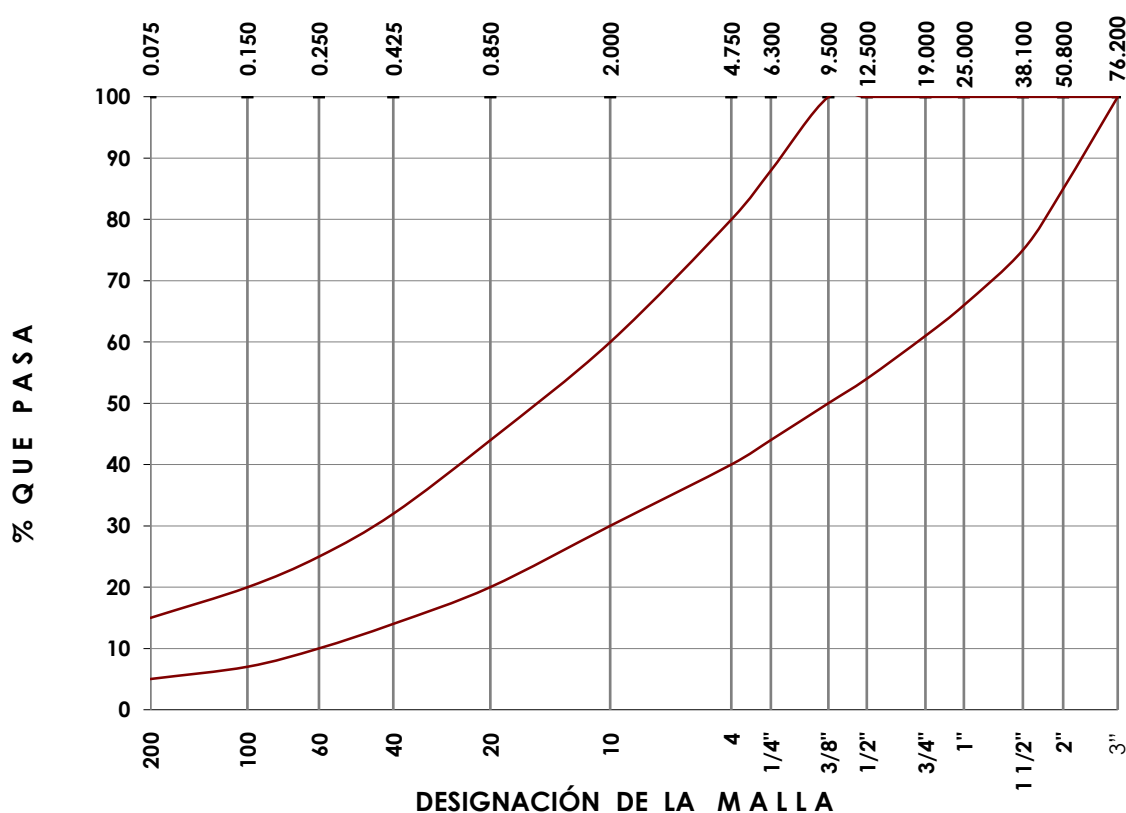
| M A L L A | | Porcentaje que pasa (%) |
|-------------------|-------------|-------------------------|
| Abertura en (mm.) | Designación | |
| 75 | 3" | 100 |
| 50 | 2" | 85 - 100 |
| 37.5 | 1 ½" | 75 - 100 |
| 25 | 1" | 66 - 100 |
| 19 | ¾" | 61 - 100 |
| 9.5 | ⅜" | 50 - 100 |
| 4.75 | Núm. 4 | 40 - 80 |
| 2.0 | Núm. 10 | 30 - 60 |
| 0.85 | Núm. 20 | 20 - 44 |
| 0.425 | Núm. 40 | 14 - 32 |
| 0.15 | Núm. 100 | 7 - 20 |
| 0.075 | Núm. 200 | 5 - 15 |

Para el empleo de materiales pétreos en la construcción de capas de Revestimientos, se deberá verificar que se cumplan con los requisitos de calidad indicados en las Tablas III.4 y III.5 anteriores, como se establece Norma N-CMT-4-01/02, Materiales para Revestimiento, por lo que se debe llevar un control de calidad, determinando sus características mediante las pruebas de laboratorio, realizadas de acuerdo a los procedimientos de prueba indicados en el Manual M-MMP-4-01, Materiales para Revestimiento, de la Normativa de la S.C.T.

2.1.2 CONTROL DE CALIDAD.

El contratista o encargado de la ejecución de la obra es el único responsable de la Calidad total de la obra, por lo que es el responsable de que el material para Revestimiento, cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-01/02. Materiales para Revestimiento, de la normativa de la S.C.T. o lo que indique el proyecto; debiendo presentar un certificado de calidad expedido por un laboratorio certificado, ya sea propio o externo.

Figura: 1.III Zona granulométrica recomendable, de los materiales para Revestimientos construidos sobre terracerías.



Durante la ejecución de la obra, el Contratista, por cada 100 m³ o fracción, producidos de material para revestimiento, debe certificar que se cumple con el valor especificado para las pruebas de granulometría y equivalente de arena, y por cada 1000 m³ o fracción, de material producido, realizará las pruebas necesarias para asegurar que se cumple con todos los valores de los requisitos de calidad establecidos en la tablas III.4 y III.5 anteriores, debiendo entregarse los resultados de las pruebas, avalados por un laboratorio certificado, ya sea propio o externo.

Las pruebas de laboratorio se realizarán sobre muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, Muestreo de Materiales para Revestimiento, Sub-base y Base.

La capa de Revestimiento ya tendida y compactada, se deberá verificar que cumpla con el grado de compactación establecido en la Tabla III.4 anterior, por medio del procedimiento indicado en el Manual M-M-MMP-4-01-011, Grado de Compactación; realizando las calas con la intensidad de una prueba por cada 50 metros lineales por cada carril como lo establece la Norma N-CTR-CAR-1-04-001/03, Revestimientos Estabilizados y no Estabilizados, fracción H.3.1., realizando las calas ubicadas al azar, mediante tablas de números aleatorios, conforme lo indicado en el manual M-CAL-1-02, Criterios Estadísticos de Muestreo y se cumpla con lo establecido en proyecto.

2.2 MATERIALES PÉTREOS PARA SUB-BASE.

La sub-base es una capa construida con material pétreo seleccionado con características granulométricas y de calidad determinada, y sus funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la capa de base de un pavimento asfáltico, soportar las cargas transmitidas por la estructura superior del pavimento, así como los esfuerzos inducidos por el tránsito; distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior (sub-rasante). También tiene la función de ser una capa drenante cuando se emplea material pétreo con pocos finos.

Los materiales que se empleen en la construcción de sub-bases deberán cumplir con las características de calidad especificadas en la Norma N-CMT-4-02-001/11. Materiales para Sub-bases de la Normativa S.C.T.

2.2.1 REQUISITOS DE CALIDAD

Tabla III.6 Requisitos de Calidad de Materiales para Sub-bases de Pavimentos Asfálticos.

| CARACTERÍSTICAS | VALOR EN % | | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| | $\Sigma L \leq 10^6$ ⁽¹⁾ | $\Sigma L > 10^6$ ⁽¹⁾ | |
| Tamaño máximo y Granulometría | 50.8 mm. (2") máx. | 50.8 mm. (2") máx. | M-MMP-4-01-003 |
| Límite Líquido ⁽²⁾ ; %, máximo. | 30 % máximo | 25 % máximo | M-MMP-4-01-006 |
| Índice Plástico ⁽²⁾ ; %, máximo. | 10 % máximo | 6 % máximo | M-MMP-4-01-006 |
| Valor Soporte California (CBR) ⁽²⁻³⁾ , %, mínimo. | 50 % mínimo | 60 % mínimo | M-MMP-4-01-007 |
| Equivalente de Arena ⁽²⁾ ; %, mínimo | 30 % mínimo | 40 % mínimo | M-MMP-4-01-008 |
| Desgaste Los Ángeles ⁽²⁾ , %, máximo | 50 % máximo | 40 % máximo | M-MMP-4-01-009 |
| Grado Compactación ⁽²⁻⁴⁾ %, mínimo. | 100 %. | 100 %. | M-MMP-4-01-011 |

(1) Número de ejes equivalentes de 8.2 ton., esperados durante la vida útil del pavimento

(2) Determinado mediante el procedimiento de prueba que correspondan en los manuales de pruebas M-MMP-4-02, Materiales para Sub-bases y Bases.

(3) Con el grado de compactación indicado en esta tabla III.6

Tabla III.7 Requisitos de granulometría de los materiales para sub-bases de pavimentos asfálticos.

| M A L L A | | PORCENTAJE QUE PASA (%) | |
|-------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Abertura en (mm.) | Designación | $\Sigma L \leq 10^6$ ⁽¹⁾ | $\Sigma L > 10^6$ ⁽¹⁾ |
| 75 | 3" | 100 | 100 |
| 50 | 2" | 85 - 100 | 85 - 100 |
| 37.5 | 1 ½" | 75 - 100 | 75 - 100 |
| 25 | 1" | 62 - 100 | 62 - 100 |
| 19 | ¾" | 54 - 100 | 54 - 100 |
| 9.5 | ⅜" | 40 - 100 | 40 - 100 |
| 4.75 | Núm. 4 | 30 - 100 | 30 - 80 |
| 2.0 | Núm. 10 | 21 - 100 | 21 - 60 |
| 0.85 | Núm. 20 | 13 - 92 | 13 - 45 |
| 0.425 | Núm. 40 | 8 - 75 | 8 - 33 |
| 0.25 | Núm. 60 | 5 - 60 | 5 - 26 |
| 0.15 | Núm. 100 | 3 - 45 | 3 - 20 |
| 0.075 | Núm. 200 | 0 - 25 | 0 - 15 |

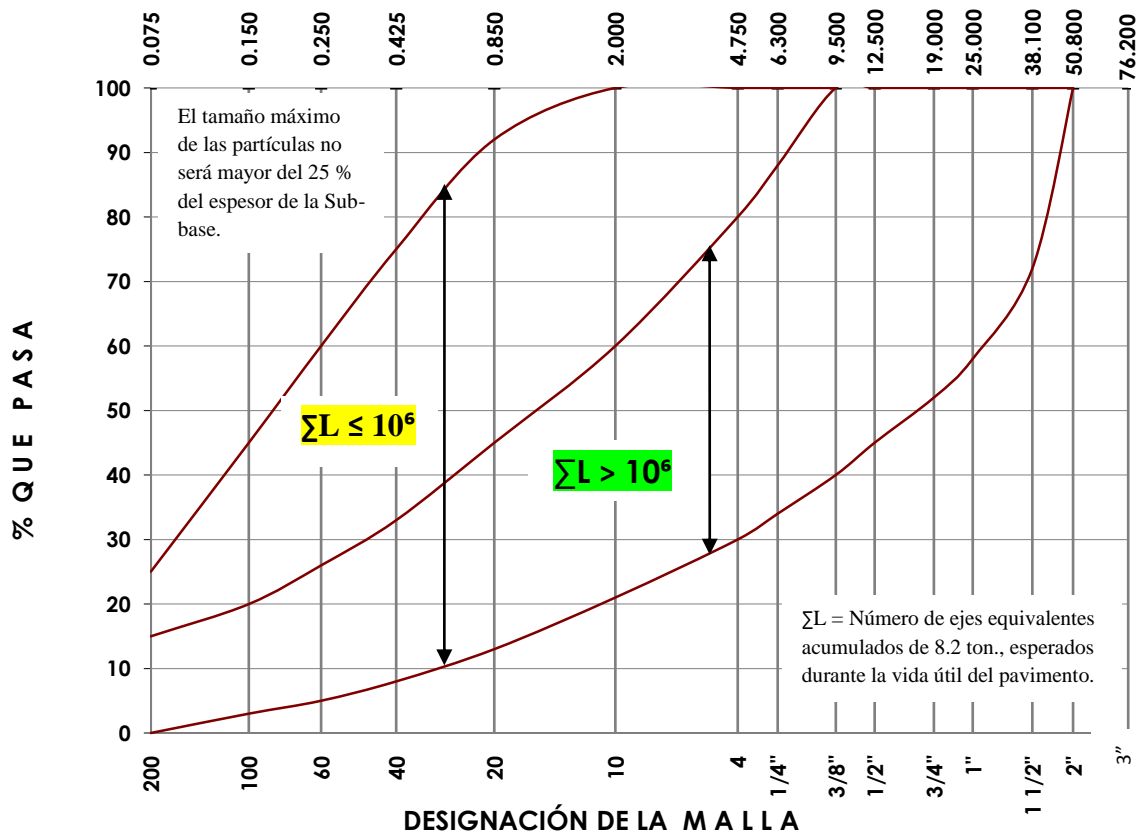
2.2.2 CONTROL DE CALIDAD.

Para el empleo de materiales pétreos en la construcción de capas de Sub-base, se deberá verificar que se cumplan con los requisitos de calidad indicados en las TABLAS III.6 y III.7 anteriores, como se establece Norma N-CMT-4-02-001/04, Materiales para Sub-bases, por lo que se debe llevar un control de calidad, determinando sus características mediante las pruebas de laboratorio, realizadas de acuerdo a los procedimientos de prueba indicados en el Manual M-MMP-4-02, Materiales para Sub-bases y Bases, de la Normativa de la S.C.T.

El contratista o encargado de la ejecución de la obra es el único responsable de la Calidad total de la obra, por lo que es el responsable de que el material para Sub-bases, cumpla con los requisitos de calidad establecidos en las Tablas III.6 y Tabla III.7, anteriores, o lo que indique el proyecto; debiendo presentar un certificado de calidad expedido por un laboratorio certificado, ya sea propio o externo.

Durante la ejecución de la obra, el Contratista, por cada 200 m³ o fracción, producidos de material para Sub-base, debe certificar que se cumple con el valor especificado para las pruebas de granulometría y equivalente de arena, y por cada 2,000 m³ o fracción, de material producido, realizará la pruebas necesarias para asegurar que se cumple con todos los valores de los requisitos de calidad establecidos en la tablas III.6 y III.7 anteriores, debiendo entregarse los resultados de las pruebas.

Figura: 2.III Zonas granulométricas recomendables, de los materiales para Sub-bases de pavimentos asfálticos.



Las pruebas de laboratorio se realizarán sobre muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, Muestreo de Materiales para Revestimiento, Sub-base y Base.

La capa de Sub-base ya tendida y compactada, se deberá verificar que cumpla con el grado de compactación establecido en la Tabla III.6 anterior, por medio del procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-01-011, Grado de Compactación; Realizando las calas con la intensidad de una prueba por cada 50 metros lineales por cada carril como lo establece la Norma N-CTR-CAR-1-04-02/11, Sub-bases y Bases, fracción H.3.1., realizando las calas ubicadas al azar, mediante tablas de números aleatorios, conforme lo indicado en el manual M-CAL-1-02, Criterios Estadísticos de Muestreo y se cumpla con lo establecido en proyecto.

2.3 MATERIALES PÉTREOS PARA BASES HIDRÁULICAS Y BASES TRATADAS.

La base hidráulica es una capa construida con material pétreo seleccionado con características granulométricas y de calidad determinadas, y sus funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas transmitidas por la carpeta y la capa de rodadura (si se tiene); así como los esfuerzos inducidos por el tránsito; distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior (sub-base o sub-rasante, según sea el caso).

También tiene la función de ser una capa drenante cuando se emplea material pétreo con pocos finos para evitar la ascensión capilar de agua subterránea.

Para la construcción de la capa de sub-base deberá considerarse lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-04-002/11. Sub-bases y Bases y Norma N-CTR-CAR-1-04-003/00, Capas estabilizadas, de la Normativa S.C.T.

Los materiales que se empleen en la construcción de la capa de base, deberán cumplir con las características de calidad especificadas en la Norma N-CMT-4-02-002/11 Materiales para Bases Hidráulicas, y Norma N-CMT-4-02-003/04, Materiales para Bases Tratadas, de la Normativa S.C.T.

2.3.1 REQUISITOS DE CALIDAD

Tabla III.8 Requisitos de Calidad de Materiales para Bases Hidráulicas de Pavimentos Asfálticos.

| CARACTERÍSTICAS | VALOR EN % | | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| | $\Sigma L \leq 10^6$ ⁽¹⁾ | $\Sigma L > 10^6$ ⁽¹⁾ | |
| Tamaño máximo y Granulometría | 75.0 mm. (3") máx. | 75.0 mm. (3") máx. | M-MMP-4-01-003 |

| | | | |
|--|-------------|--------------|----------------|
| Límite Líquido ⁽²⁾ ; %, máximo. | 25 % máximo | 25 % máximo | M-MMP-4-01-006 |
| Índice Plástico ⁽²⁾ ; %, máx. | 6 % máximo | 6 % máximo | M-MMP-4-01-006 |
| Valor Soporte California (CBR) ⁽²⁻³⁾ , %, mínimo. | 80 % mínimo | 100 % mínimo | M-MMP-4-01-007 |
| Equivalente de Arena ⁽²⁾ ; %, mínimo | 40 % mínimo | 50 % mínimo | M-MMP-4-01-008 |
| Desgaste Los Ángeles ⁽²⁾ , %, máximo | 35 % máximo | 30 % máximo | M-MMP-4-01-009 |
| Partículas Alargadas y Lajeadas, %, máximo | 40 % máximo | 35 % máximo | M-MMP-4-01-016 |
| Grado Compactación ⁽²⁻⁴⁾ %, mínimo. | 100 %. | 100 %. | M-MMP-4-01-011 |

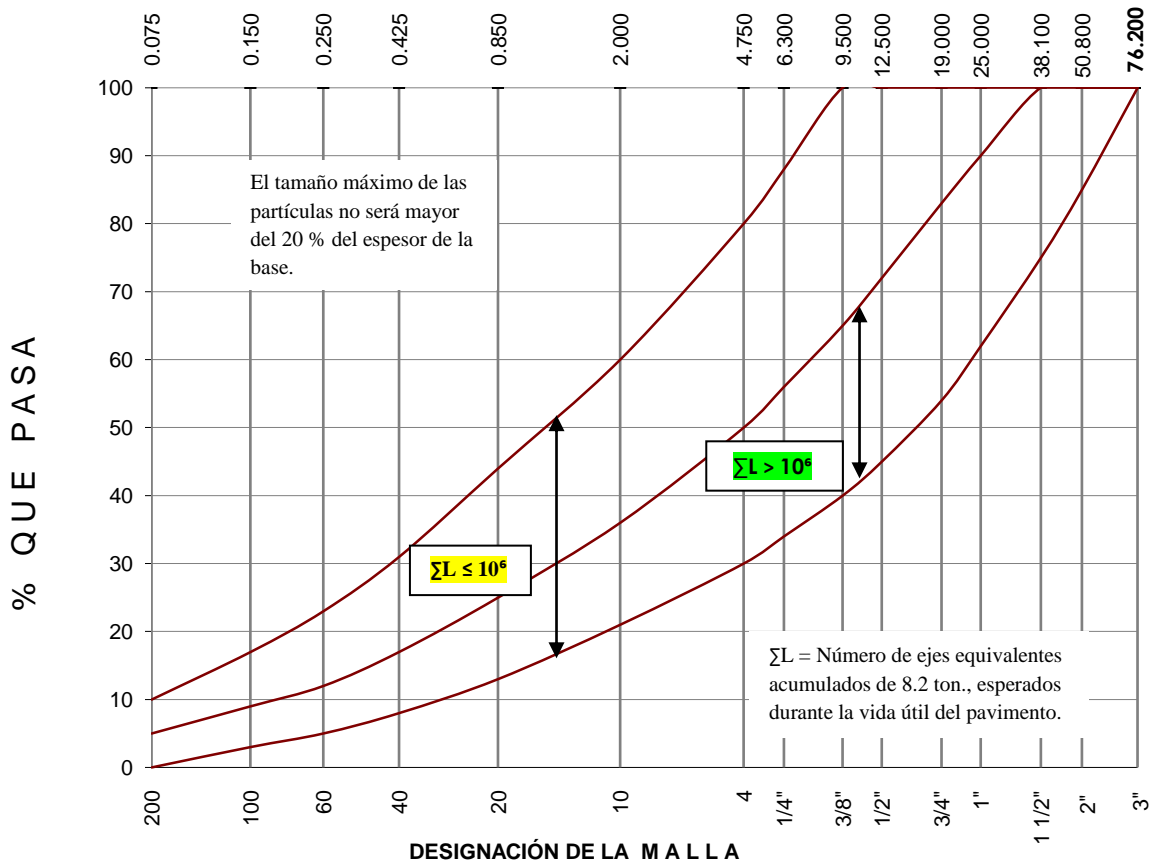
- (1) Número de ejes equivalentes de 8.2 ton., esperados durante la vida útil del pavimento
(2) Determinado mediante el procedimiento de prueba que correspondan en los manuales de pruebas M-MMP-4-02, Materiales para Sub-bases y Bases.
(3) Con el grado de compactación indicado en esta tabla III.8
(4) Respecto a la masa volumétrica seca máxima, obtenida mediante la prueba AASHTO, Modificada o la que indique el proyecto.

Tabla III.9 Requisitos de granulometría de los materiales para Bases de pavimentos Asfálticos, con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa.

| M A L L A | | PORCENTAJE QUE PASA ⁽¹⁾ (%) | |
|-------------------|-------------|--|----------------------------------|
| Abertura en (mm.) | Designación | $\Sigma L \leq 10^6$ ⁽²⁾ | $\Sigma L > 10^6$ ⁽²⁾ |
| 75 | 3" | 100 | 100 |
| 50 | 2" | 85 - 100 | 85 - 100 |
| 37.5 | 1 ½" | 75 - 100 | 75 - 100 |
| 25 | 1" | 62 - 100 | 62 - 90 |
| 19 | ¾" | 54 - 100 | 54 - 83 |
| 9.5 | ⅜" | 40 - 100 | 40 - 65 |
| 4.75 | Núm. 4 | 30 - 80 | 30 - 50 |
| 2.0 | Núm. 10 | 21 - 60 | 21 - 36 |
| 0.85 | Núm. 20 | 13 - 44 | 13 - 25 |
| 0.425 | Núm. 40 | 8 - 31 | 8 - 17 |
| 0.25 | Núm. 60 | 5 - 23 | 5 - 12 |
| 0.15 | Núm. 100 | 3 - 17 | 3 - 9 |
| 0.075 | Núm. 200 | 0 - 10 | 0 - 5 |

- (1) El tamaño máximo de las partículas no será mayor del 20 % del espesor de la Base.
- (2) ΣL = Número de ejes equivalentes de 8.2 ton., esperado durante la vida útil del pavimento.

Figura: 3.III Zonas granulométricas recomendables, de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa.



2.3.2 CONTROL DE CALIDAD.

Para el empleo de materiales pétreos en la construcción de capas de Base, se deberá verificar que se cumplan con los requisitos de calidad indicados en las Tablas III.8 y III.9 anteriores, como se establece Norma N-CMT-4-02-002/11, Materiales para Bases Hidráulicas, por lo que se debe llevar un control de calidad, determinando sus características mediante las pruebas de laboratorio, realizadas de acuerdo a los procedimientos de prueba indicados en los Manuales M-MMP-1. Suelos y Materiales para Terracerías y M-MMP-4. Materiales para Pavimentos, de la Normativa de la S.C.T.

El contratista o encargado de la ejecución de la obra es el único responsable de la Calidad total de la obra, por lo que es el responsable de que el material para Bases Hidráulicas, cumpla con los requisitos de calidad establecidos en las Tablas III.8 y Tabla III.9, anteriores, o lo que indique el proyecto; debiendo presentar un certificado de calidad expedido por un laboratorio certificado, ya sea propio o externo.

Durante la ejecución de la obra, el Contratista, por cada 300 m³ o fracción, producidos de material para Base, debe certificar que se cumple con el valor especificado para las pruebas de granulometría y equivalente de arena, y por cada

3,000 m³ o fracción, de material producido, realizará la pruebas necesarias para asegurar que se cumple con todos los valores de los requisitos de calidad establecidos en la tablas III.8 y III.9 anteriores, debiendo entregarse los resultados de las pruebas. Las pruebas de laboratorio se realizarán sobre muestras representativas obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, Muestreo de Materiales para Revestimiento, Sub-base y Base.

La capa de Base ya tendida y compactada, se deberá verificar que cumpla con el grado de compactación establecido en la Tabla III.8 anterior, por medio del procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-01-011, Grado de Compactación; Realizando las calas con la intensidad de una prueba por cada 50 metros lineales por cada carril como lo establece la Norma N-CTR-CAR-1-04-02/11, Sub-bases y Bases, fracción H.3.1., realizando las calas ubicadas al azar, mediante tablas de números aleatorios, conforme lo indicado en el manual M-CAL-1-02, Criterios Estadísticos de Muestreo y se cumpla con lo establecido en proyecto.

2.4 MATERIALES PARA BASES TRATADAS.

Las bases tratadas son las que se construyen con los materiales pétreos que no cumplen con algún requisito de calidad establecido para bases hidráulicas o que, por razones estructurales, requieren la incorporación de un producto que modifique alguna de sus características físicas, generalmente haciéndolos más rígidos y resistentes, mejorando su comportamiento mecánico e hidráulico; para ser colocados sobre la sub-base o la sub-rasante y formar una capa de base tratada para apoyo de una carpeta asfáltica.

Estos materiales, de acuerdo al producto modificador que se utilice en su tratamiento, se clasifican como:

- 1. Materiales modificados con Cal,**
Cuando se les incorpora de 2 % a 3 % en masa de cal, para modificar su plasticidad o reducir el efecto de la materia orgánica en los suelos.
- 2. Materiales modificados con Cemento Portland.**
Cuando se les incorpora de 3% a 4% en masa de Cemento Portland, para modificar su plasticidad o incrementar su resistencia.
- 3. Materiales estabilizados con Cemento Portland.**
Cuando se les incorpora del 8% al 10% en masa de Cemento Portland, para obtener una resistencia a la compresión simple a los 28 días de edad, no menor de 25 Kg /cm², e incrementar su rigidez, reduciendo así el efecto de fatiga sobre la carpeta asfáltica.
- 4. Materiales estabilizados con asfalto.**
Cuando se les incorpora mediante una emulsión asfáltica o un asfalto rebajado, de 3 % a 4 % en masa, de Cemento Asfáltico, para mejorar su comportamiento y el efecto de plasticidad.

Los materiales pétreos una vez estabilizados con producto asfáltico se compactarán al 100 % respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, conforme al procedimiento establecido en la Norma M-MMP-4-01-010, Compactación AASHTO, de la Normativa S.C.T.

5. Base de mezcla asfáltica (Base Negra).

Cuando a los materiales se les incorpora en caliente o en frío, de 4 % a 5 % en masa de Cemento Asfáltico, para formar una capa de concreto asfáltico magro o de baja resistencia.

6. Base de Concreto Hidráulico magro o de baja resistencia.

Cuando a los materiales se les incorpora el Cemento Portland necesario, para obtener una resistencia a la compresión simple a los 28 días de edad, de 150 Kg/cm² a 200 Kg/cm², y transformar un pavimento flexible en un pavimento rígido.

2.4.1 REQUISITOS DE CALIDAD.

Los materiales pétreos empleados en bases tratadas, deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos para Bases Hidráulicas ya indicados el inciso 2.3.1 anterior.

Los productos modificadores como son la Cal y el Cemento Portland, deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos en las Normas, N-CMT-4-03-001, Cal para Estabilizaciones de Suelo y la Norma N-CMT-2-02-001, Calidad de Cemento Portland; de la Normativa de la S.C.T.

El producto asfáltico que se utilice en la estabilización de materiales para bases tratadas, cumplirán con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, según su tipo.

2.4.2 REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA BASE DE MEZCLA ASFÁLTICA (BASE NEGRA)

Los materiales que se empleen en la construcción de bases de mezcla asfáltica (Bases Negras), cumplirán con los requisitos de calidad que se indican a continuación en la Tabla III.10 siguiente.

El producto asfáltico que se utilice cumplirá con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, según su tipo.

Tabla III.10 Requisitos de Calidad de Materiales Pétreos para Bases de Mezclas Asfálticas (Bases Negras).

| CARACTERÍSTICAS | VALOR EN % | | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| | $\Sigma L \leq 10^6$ ⁽¹⁾ | $\Sigma L > 10^6$ ⁽¹⁾ | |
| Tamaño máximo y Granulometría ⁽²⁾ | 37.5 mm. (1½") máx. | 37.5 mm. (1½") máx. | M-MMP-4-01-003 |
| Límite Líquido ⁽²⁾ ; %, máximo. | 30 % máximo | 25 % máximo | M-MMP-4-01-006 |
| Índice Plástico ⁽²⁾ ; %, máx. | 6 % máximo | 6 % máximo | M-MMP-4-01-006 |
| Contenido de agua en mezclas asfált. , %, máx. | 1 % máximo | 1 % máximo | M-MMP-4-05-039 |
| Equivalente de Arena ⁽²⁾ ; %, mínimo | 40 % mínimo | 50 % mínimo | M-MMP-4-01-008 |
| Desgaste Los Ángeles ⁽²⁾ , %, máximo | 30 % máximo | 30 % máximo | M-MMP-4-01-009 |
| Partículas Alargadas y Lajeadas ⁽²⁾ , %, máximo | 50 % máximo | 40 % máximo | M-MMP-4-04-005 |
| Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, %, máx. | 25 % máximo | 25 % máximo | M-MMP-4-05-042 |
| Grado Compactación ⁽²⁾ %, mínimo. De su Peso vol. Máx. MARSHALL | 95 % . Mín. | 95 % . Mín. | M-MMP-4 Extracción de Corazones en Carpetas Asfálticas. |

(1).-Número de ejes equivalentes de 8.2 ton., esperados durante la vida útil del pavimento.

(2).-Determinado mediante el procedimiento de prueba que correspondan en los manuales de pruebas M-MMP-4-02, Materiales para Sub-bases y Bases.

Tabla III.11 Requisitos de Granulometría del material pétreo para Base de Mezcla Asfáltica (Base Negra)

| M A L L A | | PORCENTAJE QUE PASA ⁽¹⁾ (%) | |
|-------------------|-------------|--|----------------------------------|
| Abertura en (mm.) | Designación | $\Sigma L \leq 10^6$ ⁽¹⁾ | $\Sigma L > 10^6$ ⁽¹⁾ |
| 75 | 3" | 100 | 100 |
| 50 | 2" | 100 | 100 |
| 37.5 | 1 ½" | 100 | 100 |
| 25 | 1" | 90 - 100 | 90 - 100 |
| 19 | ¾" | 76 - 100 | 76 - 100 |
| 9.5 | ⅜" | 42 - 100 | 42 - 100 |
| 4.75 | Núm. 4 | 24 - 100 | 24 - 70 |

| | | | |
|--------------|----------|----------------|----------------|
| 2.0 | Núm. 10 | 10 - 90 | 10 - 27 |
| 0.85 | Núm. 20 | 5 - 65 | 5 - 14 |
| 0.425 | Núm. 40 | 4 - 47 | 4 - 10 |
| 0.25 | Núm. 60 | 2 - 35 | 2 - 8 |
| 0.15 | Núm. 100 | 1 - 25 | 1 - 7 |
| 0.075 | Núm. 200 | 0 - 15 | 0 - 6 |

(1) ΣL = Número de ejes equivalentes de 8.2 ton., esperado durante la vida útil del pavimento.

Figura: 4.III Zonas granulométricas recomendables, del material pétreo para bases de Mezcla asfáltica (Base Negra)

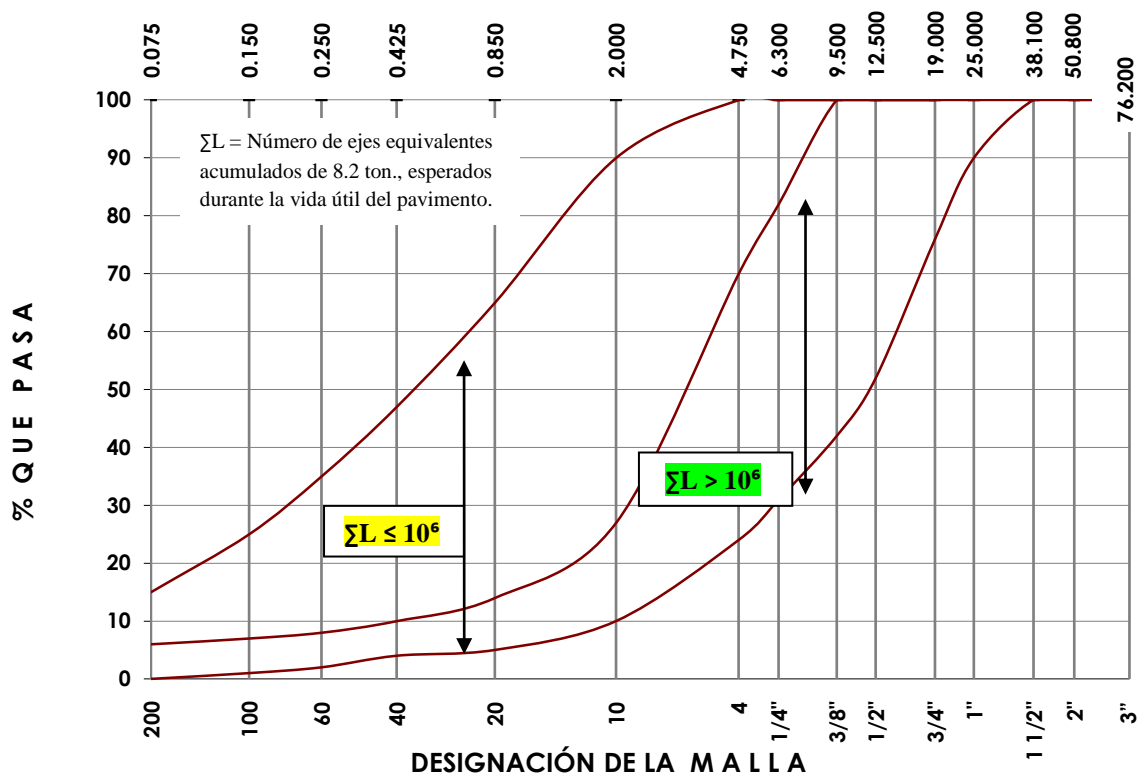


Tabla III.12 Requisitos de Calidad para bases de mezcla asfáltica (Base Negra), diseñadas mediante el Método Marshall

| CARACTERÍSTICAS | VALOR EN % | | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| | $\Sigma L \leq 10^6$ ⁽¹⁾ | $\Sigma L > 10^6$ ⁽¹⁾ | |
| Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta (espécimen). | 50 golpes/cara | 75 golpes/cara | Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall establecido en la Norma M-MMP-4-05-034, Método Marshall para |
| Estabilidad, lf, Kg. | 990 lbf=450 Kg. | 1540 lbf=700Kg | |
| Flujo, mm. | 2 a 4.5 mm. | 2 a 4 mm. | |
| Vacios en la mezcla asfáltica, VMC, % | 3 a 8 % | 3 a 8 % | |
| Contenido de asfalto óptimo, % | Varía | Varía | |

| | | | |
|---|-------------|-------------|--|
| Peso Volumétrico Máximo Marshall, Kg./ m ³ | Varía | Varía | mezclas asfálticas |
| Grado de compactación de la mezcla ya tendida y compactada, % de su P.V. Máximo Marshall. | 95 % mínimo | 95 % mínimo | Extracción de Corazones al azar Norma N-CTR-CAR-1-04-006-/09 |

Tabla III.13 Vacios del agregado mineral (VAM) para bases de mezcla asfáltica diseñadas mediante el método Marshall.

| Tamaño Máximo del material pétreo utilizado en la mezcla | | Vacios en el agregado mineral (VAM), %, mínimo |
|--|-------------|--|
| mm. | Designación | |
| 37.5 | 1 ½" | 18 |
| 25.0 | 1" | 17 |
| 19.0 | ¾" | 16 |
| 12.5 | ½" | 15 |
| 9.5 | ⅜" | 14 |
| 6.3 | ¼" | 13 |
| 4.75 | Número 4 | 12 |

2.4.3 CONTROL DE CALIDAD.

Para el empleo de materiales pétreos en la construcción de capas de Base de mezcla asfáltica (Base Negra), se deberá verificar que se cumplan con los requisitos de calidad indicados en las Tablas III.10 y III.11 anteriores, como se establece Norma N-CMT-4-02-002, Materiales para Sub-bases, Bases Hidráulicas y Bases tratadas, por lo que se debe llevar un control de calidad, determinando sus características mediante las pruebas de laboratorio, realizadas de acuerdo a los procedimientos de prueba indicados en el Manual M-MMP-4-02, Materiales para Sub-bases y Bases, de la Normativa de la S.C.T.

El contratista o encargado de la ejecución de la obra es el único responsable de la Calidad total de la obra, por lo que es el responsable de que el material para Bases Hidráulicas, cumpla con los requisitos de calidad establecidos en las Tablas III.8, III.9, Y Tablas III.10 y III.11, anteriores, o lo que indique el proyecto; debiendo presentar un certificado de calidad expedido por un laboratorio certificado, ya sea propio o externo.

Durante la ejecución de la obra, el Contratista, por cada 300 m³ o fracción, producidos de material para Base, debe certificar que se cumple con el valor especificado para las pruebas de granulometría y equivalente de arena, y por cada

3,000 m³ o fracción, de material producido, realizará la pruebas necesarias para asegurar que se cumple con todos los valores de los requisitos de calidad establecidos en la tablas III.8, III.9, y Tablas III.10 y III.11 anteriores, debiendo entregarse los resultados de las pruebas.

3. MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los materiales pétreos que se emplean en la elaboración de mezclas asfálticas, son los materiales seleccionados o sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, que aglutinados con un material asfáltico conforman las mezclas asfálticas. Estos materiales pétreos deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04/08, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas y las cuales se indican a continuación:

Los Materiales Pétreos para mezclas asfálticas, se clasifican de acuerdo al tipo de mezcla que se vaya a elaborar, esta clasificación es la siguiente:

1. Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa.
2. Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta.
3. Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA.
4. Materiales pétreos para mortero asfáltico
5. Materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos.
6. Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones

3.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA

Tabla III.14 Requisitos de calidad de materiales pétreos para mezcla asfáltica de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10^6$)

| CARACTERÍSTICAS | VALOR | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Densidad relativa ton./m ³ , mínimo. | 2.4 ton./m ³ | M-MMP-4-04-003 |
| Equivalente de arena, %, mínimo. | 50 % mínimo | M-MMP-4-04-004 |
| Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo. | 40 % máximo | M-MMP-4-04-005 |
| Desgaste Los Ángeles, % máximo. | 35 % máximo | M-MMP-4-04-006 |
| Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, %, máximo. | 25 % máximo | M-MMP-4-05-042 |

Tabla III.15 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezcla asfáltica de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10^6$).

| MALLA | | TAMAÑO NOMINAL DEL MATERIAL PÉTREO | | | | |
|---------------------|-------------|------------------------------------|--------------|------------|----------|----------------|
| Abertura mm. | Designación | mm. (in) | | | | |
| | | 9.5, (3/8") | 12.5, (1/2") | 19, (3/4") | 25, (1") | 37.5, (1 1/2") |
| PORCENTAJE QUE PASA | | | | | | |
| 50 | 2" | -- | -- | -- | -- | 100 |
| 37.5 | 1 1/2" | -- | -- | -- | 100 | 90 – 100 |
| 25 | 1" | -- | -- | 100 | 90 - 100 | 76 – 90 |
| 19 | 3/4" | -- | 100 | 90 – 100 | 79 – 92 | 66 – 83 |
| 12.5 | 1/2" | 100 | 90 – 100 | 76 – 89 | 64 – 81 | 53 – 74 |
| 9.5 | 3/8" | 90 -100 | 79 – 82 | 67 – 82 | 56 – 75 | 47 – 68 |
| 6.3 | 1/4" | 76 – 89 | 66 – 81 | 56 – 71 | 47 – 65 | 39 – 59 |
| 4.75 | Núm. 4 | 68 – 82 | 59 – 74 | 50 – 64 | 42 – 58 | 35 – 53 |
| 2.0 | Núm. 10 | 48 – 64 | 41 - 55 | 36 - 46 | 30 – 42 | 26 – 38 |
| 0.85 | Núm. 20 | 33 – 49 | 28 – 42 | 25 – 35 | 21 - 31 | 19 – 28 |
| 0.425 | Núm. 40 | 23 – 37 | 20 – 32 | 18 – 27 | 15 – 24 | 13 – 21 |
| 0.25 | Núm. 60 | 17 – 29 | 15 – 25 | 13 – 21 | 11 – 19 | 9 – 16 |
| 0.15 | Núm. 100 | 12 – 21 | 11 – 18 | 9 – 16 | 8 – 14 | 6 – 12 |
| 0.075 | Núm. 200 | 7 - 10 | 6 - 9 | 5 - 8 | 4 - 7 | 3 - 6 |

Tabla III.16 Requisitos de calidad de materiales pétreos para mezcla asfáltica de granulometría densa (para cualquier valor de ΣL)

| CARACTERÍSTICAS | VALOR | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Densidad relativa ton./m ³ , mínimo. | 2.4 ton./m ³ | M-MMP-4-04-003 |
| Equivalente de arena, %, mínimo. | 50 % mínimo | M-MMP-4-04-004 |
| Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo. | 35 % máximo | M-MMP-4-04-005 |
| Desgaste Los Ángeles, % máximo. | 30 % máximo | M-MMP-4-04-006 |
| Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, %, máximo. | 25 % máximo | M-MMP-4-05-042 |

Tabla III.17 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezcla asfáltica de granulometría densa (para cualquier valor de ΣL).

| MALLA | | TAMAÑO NOMINAL DEL MATERIAL PÉTREO | | | | |
|---------------------|-------------|------------------------------------|--------------|------------|----------|----------------|
| Abertura mm. | Designación | mm. (in) | | | | |
| | | 9.5, (3/8") | 12.5, (1/2") | 19, (3/4") | 25, (1") | 37.5, (1 1/2") |
| PORCENTAJE QUE PASA | | | | | | |
| 50 | 2" | -- | -- | -- | -- | 100 |
| 37.5 | 1 1/2" | -- | -- | -- | 100 | 90 – 100 |
| 25 | 1" | -- | -- | 100 | 90 - 100 | 74 – 90 |
| 19 | 3/4" | -- | 100 | 90 – 100 | 79 – 90 | 62 – 79 |
| 12.5 | 1/2" | 100 | 90 – 100 | 72 – 90 | 58 – 71 | 46 – 60 |
| 9.5 | 3/8" | 90 -100 | 76 – 90 | 60 – 76 | 47 – 60 | 39 – 50 |
| 6.3 | 1/4" | 70 – 81 | 56 – 69 | 44 – 57 | 36 – 46 | 30 – 39 |
| 4.75 | Núm. 4 | 56 – 69 | 45 – 59 | 37 – 48 | 30 – 39 | 25 – 34 |
| 2.0 | Núm. 10 | 28 – 42 | 25 - 35 | 20 - 29 | 17 – 24 | 13 – 21 |
| 0.85 | Núm. 20 | 18 – 27 | 15 – 22 | 12 – 19 | 9 - 16 | 6 – 13 |
| 0.425 | Núm. 40 | 13 – 20 | 11 – 16 | 8 – 14 | 5 – 11 | 3 – 9 |
| 0.25 | Núm. 60 | 10 – 15 | 8 – 13 | 6 – 11 | 4 – 9 | 2 – 7 |
| 0.15 | Núm. 100 | 6 – 12 | 5 – 10 | 4 – 8 | 2 – 7 | 1 – 5 |
| 0.075 | Núm. 200 | 2 – 7 | 2 - 6 | 2 - 5 | 1 - 4 | 0 - 3 |

3.2 REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA.

Tabla III.18 Requisitos de calidad del material pétreo para mezcla asfáltica de granulometría abierta.

| CARACTERÍSTICAS (1) | VALOR | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Densidad relativa ton./m ³ , mínimo. | 2.4 ton./m ³ | M-MMP-4-04-003 |
| Equivalente de arena, %, mínimo. | 50 % mínimo | M-MMP-4-04-004 |
| Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo. | 25 % máximo | M-MMP-4-04-005 |
| Desgaste Los Ángeles, % máximo. | 30 % máximo | M-MMP-4-04-006 |
| Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, %, máximo. | 25 % máximo | M-MMP-4-05-042 |

(1) El material debe ser 100 % producto de trituración de roca sana.

Tabla III.19 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta

| MALLA | | PORCIENTO QUE PASA | |
|-----------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|
| Abertura en mm. | Designación | Para espesores ≤ 4 cm. | Para espesores > 4 cm. |
| 25 | 1" | -- | 100 |
| 19 | ¾" | 100 | 62 – 100 |
| 12.5 | ½" | 65 – 100 | 45 – 70 |
| 9.5 | ⅜" | 48 – 72 | 33 – 58 |
| 6.3 | ¼" | 30 – 52 | 22 – 43 |
| 4.75 | Núm. 4 | 18 – 38 | 14 – 33 |
| 2.0 | Núm. 10 | 5 – 19 | 5 – 19 |
| 0.075 | Núm. 200 | 2 - 4 | 2 - 4 |

3.3 REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DISCONTINUA, TIPO SMA.

Tabla III.20 Requisitos de calidad del material pétreo para mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA.

| CARACTERÍSTICAS | VALOR | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|------------------------|-------------------------|
| GRAVA | | |
| Desgaste Los Ángeles, % máximo. | 25 % máx. | M-MMP-4-04-006 |
| Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo. | 25 % máx. | M-MMP-4-04-005 |
| Intemperismo acelerado, %, máximo | En sulfato de sodio | M-MMP-4-04-008 |
| | En sulfato de magnesio | |
| Partículas trituradas, %, mínimo | Una cara | M-MMP-4-04-013 |
| | Dos o más caras | |
| Absorción, % , máximo | 2 % máx. | M-MMP-4-04-011 Y 012 |
| Desprendimiento por fricción (método B), %, máximo | 10 % máx. | M-MMP-4-04-009 |
| ARENA Y FINOS | | |
| Equivalente de arena, %, mínimo | 55 % mín. | M-MMP-4-04-004 |
| Índice plástico, %, máximo | No plástico | M-MMP-4-01-006 |
| Azul de metileno, mg/g, máximo | 12 % máx. | M-MMP-4-04-014 |

Tabla III.21 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA.

| MALLA | | TAMAÑO NOMINAL DEL MATERIAL PÉTREO mm. | | |
|----------------|-----------------|--|---------------------------|-------------------------|
| | | 9.5, ($\frac{3}{8}$ ") | 12.5, ($\frac{1}{2}$ ") | 19, ($\frac{3}{4}$ ") |
| Abertura en mm | Designación | PORCIENTO QUE PASA, (EN VOLUMEN) | | |
| 25 | 1" | -- | -- | 100 |
| 19 | $\frac{3}{4}$ " | -- | 100 | 90 – 100 |
| 12.5 | $\frac{1}{2}$ " | 100 | 90 – 100 | 50 – 88 |
| 9.5 | $\frac{3}{8}$ " | 70 – 100 | 50 – 80 | 25 – 60 |
| 6.3 | $\frac{1}{4}$ " | 43 – 68 | 29 - 50 | 20 – 38 |
| 4.75 | Núm. 4 | 30 – 50 | 20 – 35 | 18 – 28 |
| 2.0 | Núm. 10 | 19 – 27 | 15 – 23 | 15 – 23 |
| 0.850 | Núm. 20 | 16 – 20 | 13 – 20 | 13 – 20 |
| 0.075 | Núm. 200 | 8 - 12 | 8 - 11 | 8 - 11 |

3.4 REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MORTERO ASFÁLTICO.

Tabla III.22 Requisitos de calidad del material pétreo para morteros asfálticos.

| CARACTERÍSTICAS (1) | VALOR | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|--|-------------|-------------------------|
| Desgaste por abrasión en húmedo, %, mín. | 10 % mínimo | M-MMP-4-05-041 |
| Equivalente de arena, %, mínimo. | 50 % mínimo | M-MMP-4-04-004 |
| Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, %, máximo. | 25 % máximo | M-MMP-4-05-042 |

Tabla III.23 Requisitos de granulometría de material pétreo para morteros asfálticos.

| M A L L A | | Porcentaje que pasa |
|-------------------|-------------|---------------------|
| Abertura en (mm.) | Designación | (%) |
| 4.75 | Núm. 4 | 100 |
| 2.0 | Núm. 10 | 89 – 100 |
| 0.85 | Núm. 20 | 43 – 72 |
| 0.425 | Núm. 40 | 26 – 53 |
| 0.25 | Núm. 60 | 17 – 41 |
| 0.15 | Núm. 100 | 10 – 30 |
| 0.075 | Núm. 200 | 5 – 15 |

3.5 REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS

Tabla III.24 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas por el sistema de riegos.

| CARACTERÍSTICAS (1) | VALOR | PROCEDIMIENTO DE PRUEBA |
|---|-------------|-------------------------|
| Desgaste Los Ángeles, % máximo. | 30 % máximo | M-MMP-4-04-006 |
| Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo. | 35 % máximo | M-MMP-4-04-005 |
| Intemperismo acelerado, %, máximo | 12 % máximo | M-MMP-4-04-008 |
| Desprendimiento por fricción, %, máximo | 25 % máximo | M-MMP-4-04-009 |
| Cubrimiento con asfalto, método ingles, % | 90 % mínimo | M-MMP-4-04-010 |

Tabla III.25 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpeta por el Sistema de riegos.

| MALLA | | DENOMINACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO. | | | | |
|--------------|-------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Abertura mm. | Designación | 1 | 2 | 3-A | 3-B | 3-E |
| | | PORCENTAJE QUE PASA | | | | |
| 31.5 | 1¼" | 100 | -- | -- | -- | -- |
| 25 | 1" | 95 % mín. | -- | -- | -- | -- |
| 19 | ¾" | -- | 100 | -- | -- | -- |
| 12.5 | ½" | 5 % máx. | 95 % mín. | 100 | -- | 100 |
| 9.5 | ⅜" | -- | -- | 95 % mín. | 100 | 95 % mín. |
| 6.3 | ¼" | 0 | 5 % máx. | -- | 95 % mín. | |
| 4.75 | Núm. 4 | -- | -- | -- | -- | 5 % máx. |
| 2.0 | Núm. 10 | -- | 0 | 5 % máx. | 5 % máx. | 0 |
| 0.425 | Núm. 40 | -- | -- | 0 | 0 | -- |

3.6 REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA GUARNICIONES.

El material pétreo que se utilice en la elaboración de mezclas asfálticas para guarniciones, deberán tener un Equivalente de Arena mínimo del 50 % y características granulométricas que se establecen en la tabla III.26, siguiente:

Tabla III.26 Requisitos de granulometría de material pétreo que se utilice en mezclas asfálticas para guarniciones.

| M A L L A | | Porcentaje que pasa (%) |
|-------------------|-----------------|----------------------------|
| Abertura en (mm.) | Designación | |
| 19 | ¾" | 100 |
| 12.5 | ½" | 87 – 100 |
| 9.5 | ⅜" | 79 – 100 |
| 6.3 | ¼" | 68 – 100 |
| 4.75 | Núm. 4 | 60 – 100 |
| 2.0 | Núm. 10 | 40 – 91 |
| 0.850 | Núm. 20 | 28 – 61 |
| 0.425 | Núm. 40 | 20 – 42 |
| 0.250 | Núm. 60 | 14 - 33 |
| 0.150 | Núm. 100 | 10 – 25 |
| 0.075 | Núm. 200 | 3 - 15 |

3.7 CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para el empleo de materiales pétreos en la construcción de Mezclas Asfálticas, se deberá verificar que se cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa S.C.T. indicados anteriormente en las Tablas correspondientes anteriores.

Así mismo se deberá llevar un control de calidad para cada tipo de material pétreo, determinando sus características que deben cumplir cada uno de estos tipos, mediante

las pruebas de laboratorio requeridas, realizadas de acuerdo a los procedimientos de prueba indicados en el Manual M-MMP-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

El contratista o encargado de la ejecución de la obra es el único responsable de la Calidad total de la obra, por lo que está comprometido de que el material para Mezclas Asfálticas, cumpla con los requisitos de calidad establecidos anteriormente, o lo que indique el proyecto; debiendo presentar un certificado de calidad expedido por un laboratorio certificado que haya realizado las pruebas de laboratorio; ya sea propio o externo.

Durante la ejecución de la obra, el Contratista, por cada 250 m³ o fracción, producidos de material para Mezclas Asfálticas, debe certificar que se cumple con el valor especificado para las pruebas de granulometría y equivalente de arena, y por cada 2,500 m³ o fracción, de material producido, realizará la pruebas necesarias para asegurar que se cumple con todos los valores de los requisitos de calidad establecidos en este Capítulo III, para cada uno de los tipos de materiales pétreos indicados anteriormente.

Las pruebas de laboratorio se realizarán sobre muestras representativas, obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-04-001-, Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la normativa S.C.T.

4.0 PROGRAMA GENERAL DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD, DURANTE LA CONSTRUCCIÓN O CONSERVACIÓN DE CAMINOS

En este inciso, se refiere y se presenta de la página 73 á la pagina 78 de este trabajo; en forma de resumen la cantidad y tipo de pruebas de laboratorio a realizar para llevar a cabo el control de calidad y verificación de calidad durante la construcción o conservación de la obra; en función del volumen de materiales pétreos, productos asfálticos, mezclas asfálticas, etc., de cada concepto de obra. Lo anterior, de acuerdo a lo establecido en la Norma N-CAL-1-01/05, ejecución de la Normativa, SCT.

**PROGRAMA GENERAL DE PRUEBAS DE LABORATORIO
PARA CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD**

| | |
|----------------------------|--------------------------|
| OBRA: | |
| No. DE LICITACIÓN : | FECHA DE INICIO: |
| SUPERVISORA: | FECHA DE TÉRMINO: |
| CONTRATISTA: | |

| Prueba ó ensaye a realizar. | Norma o especificación de prueba o ensaye | Frecuencia de prueba para control de calidad | Norma ó Especificación | Volumen de Obra | No. De pruebas para control Cal. | No. De pruebas de verificación | Observaciones |
|-----------------------------|---|--|------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------|
|-----------------------------|---|--|------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------|

01. TERRACERIAS

TERRAPLENES, (P.U.O.T.)

Compactación de terreno descubierto para el desplante de terraplenes o al abrir caja de 20 cm. de espesor al 90 % AASHTO estándar

DETERMINACIÓN DE LA COMPACTACIÓN DEL TERRENO NATURAL

| | | | | | | | |
|--|-----------------------|---------------|-----------------------|--|--|----------------------------|--|
| Determinación del grado de compact. en el lugar respecto a su P.V.S.M. | M.MMP.1.08, inciso J) | 1 Pba. / 50 m | N.CTR.CAR.1.01.009/11 | | | N-CAL-1-01 / 05 inciso E.4 | compactada al 90% mínimo, norma N-CMT-1- |
|--|-----------------------|---------------|-----------------------|--|--|----------------------------|--|

Formación y compactación de terraplén en capas de 20 cm. De espesor. Compactado al 90 % de su P.V.S.Máx. determinado por la prueba AASHTO estándar

CALIDAD DE MATERIAL PÉTREO PARA TERRAPLÉN

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|------------------|---------------|--|--|----------------------------|--|
| Límites de plasticidad | M.MMP.1.07/03 | 1 Pba. / 300 m³ | N.CMT.1.01/02 | | | N-CAL-1-01 / 05 inciso E.4 | |
| Valor Soporte de California (CBR) | M.MMP.1.11/03 | 1 Pba. / 1000 m³ | | | | | |
| Expansión | M.MMP.1.11/03 | 1 Pba. / 1000 m³ | | | | | |

DETERMINACIÓN DE LA COMPACTACIÓN DE CAPAS DEL CUERPO DE TERRAPLÉN

| | | | | | | | |
|--|-----------------------|---------------|-----------------------|--|--|--|--|
| Determinación del grado de compact. en el lugar respecto a su P.V.S.Máx. | M.MMP.1.08, inciso J) | 1 Pba. / 50 m | N.CTR.CAR.1.01.009/11 | | | | compactada al 90% mínimo, norma N-CMT-1- |
|--|-----------------------|---------------|-----------------------|--|--|--|--|

CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CAPA SUBYACENTE

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--|--|----------------------------|--|
| Límites de plasticidad | M.MMP.1.07/03 | 1 Pba. / 300 m³ | N.CMT.1.02/02 | | | N-CAL-1-01 / 05 inciso E.4 | |
| Granulometría; tam. Máx. 3" (76 mm.) | M.MMP.1.06/03-E | 1 Pba. / 800 m³ | | | | | |
| Valor Soporte de California (CBR) | M.MMP.1.11/03 | 1 Pba. / 800 m³ | | | | | |
| Expansión | M.MMP.1.11/03 | 1 Pba. / 800 m³ | | | | | |

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN EN CAPAS DE SUBYACENTE, TENDIDA Y COMPACTADA

| | | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------|-----------------------|--|--|--|---|
| Grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máx. obtenida en pba. de compact. AASHTO estándar | M.MMP.1.08, inciso J) | 1 Pba. / 50 m | N.CTR.CAR.1.01.009/11 | | | | compactada al 95% mínimo, norma N-CMT-1-02/02 |
|---|-----------------------|---------------|-----------------------|--|--|--|---|

CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CAPA SUBRASANTE

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--|--|----------------------------|--|
| Límites de plasticidad | M.MMP.1.07/03 | 1 Pba. / 200 m³ | N.CMT.1.03/02 | | | N-CAL-1-01 / 05 inciso E.4 | |
| Granulometría; tam. Máx. 3" (76 mm.) | M.MMP.1.06/03-D | 1 Pba. / 500 m³ | | | | | |
| Valor Soporte de California (CBR) | M.MMP.1.11/03 | 1 Pba. / 500 m³ | | | | | |
| Expansión | M.MMP.1.11/03 | 1 Pba. / 500 m³ | | | | | |

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN EN CAPAS DE SUBRASANTE TENDIDA Y COMPACTADA

| | | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------|-----------------------|--|--|--|---|
| Grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máx. obtenida en pba. de compact. AASHTO estándar | M.MMP.1.08, inciso J) | 1 Pba. / 50 m | N.CTR.CAR.1.01.009/11 | | | | compactada al 100% mínimo norma N-CMT-1-03/02 |
|---|-----------------------|---------------|-----------------------|--|--|--|---|

04. PAVIMENTOS

CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CAPA DE REVESTIMIENTO

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|------------------|--------------|--|--|----------------------------|--|
| Granulometría | M.MMP.4.01.003 | 1 Pba. / 100 m³ | N.CMT.4.0102 | | | N-CAL-1-01 / 05 inciso E.4 | |
| Equivalente de Arena. | M.MMP.4.01.008 | 1 Pba. / 1000 m³ | | | | | |
| Valor Soporte de California (CBR) | M.MMP.4.01.007 | 1 Pba. / 1000 m³ | | | | | |
| Límites de plasticidad | M.MMP.4.01.006 | 1 Pba. / 1000 m³ | | | | | |
| Desgaste los Angeles | M.MMP.4.01.009 | 1 Pba. / 1000 m³ | | | | | |

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN EN CAPA DE REVESTIMIENTO, TENDIDA Y COMPACTADA

| | | | | | | | |
|---|----------------|---------------|------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| Grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máx. obtenida en pba. de compact. AASHTO estándar | M.MMP.4.01.011 | 1 Pba. / 50 m | N.CTR.CAR.1.04.001/03; H.3.1 | | | | COMPACTADA AL 95 % DE SU P.V.S.Máx. |
|---|----------------|---------------|------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|

**PROGRAMA GENERAL DE PRUEBAS DE LABORATORIO
PARA CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD**

OBRA:

No. DE LICITACIÓN :

FECHA DE INICIO:

SUPERVISORA:

FECHA DE TÉRMINO:

CONTRATISTA:

| Prueba ó ensaye a realizar. | Norma o especificación de prueba o ensaye | Frecuencia de prueba para control de calidad | Norma ó Especificación | Volumen de Obra | No. De pruebas para control Cal. | No. De pruebas de verificación | Observaciones |
|---|---|--|--------------------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA SUB - BASE HIDRÁULICA | | | | | | | |
| Granulometría | M.MMP.4.01.003 | 1 Pba. / 200 m ³ | N.CMT.4.02.001/0 4 | | | N-CAL-1-01 / 05 inciso E.4 | |
| Equivalente de Arena. | M.MMP.4.01.008 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |
| Valor Soporte de California (CBR) | M.MMP.4.01.007 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |
| Límites de plasticidad | M.MMP.4.01.006 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |
| Desgaste los Angeles | M.MMP.4.01.009 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN EN CAPA DE SUB-BASE, TENDIDA Y COMPACTADA | | | | | | | |
| Grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máx. obtenida en pba. de compact. AASHTO modifíc- | M.MMP.4.01.011 | 1 Pba. / 50 m | N.CTR.CAR.1.04. 002/11; H.3.1 | | | | COMPACTADA AL 100 % DE SU P.V.S.Máx. |
| CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA BASE HIDRÁULICA | | | | | | | |
| Granulometría | M.MMP.4.01.003 | 1 Pba. / 300 m ³ | N.CMT.4.02. .002 / 11 | | | N-CAL-1-01 / 5 INCISO E.4 | |
| Equivalente de Arena. | M.MMP.4.01.008 | 1 Pba. / 300 m ³ | | | | | |
| Valor Soporte de California (CBR) | M.MMP.4.01.007 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Límites de consistencia | M.MMP.4.01.006 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Desgaste los Angeles | M.MMP.4.01.009 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Partículas alargadas y Lajeadas | M.MMP.4.01.016 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN EN CAPA DE BASE HIDRÁULICA, TENDIDA Y COMPACTADA | | | | | | | |
| Grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máx. obtenida en pba. de compact. AASHTO modifíc. | M.MMP.4.01.011 | 1 Pba. / 50 m | N.CTR.CAR.1.04. 002/11; H3.1 | | | | COMPACTADA AL 100 % DE SU P.V.S. Máx. |
| CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA BASE HIDRÁULICA ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND. | | | | | | | |
| Granulometría | M.MMP.4.01.003 | 1 Pba. / 300 m ³ | N.CMT.4.02. .003 / 04 | | | N-CAL-1-01 / 5 INCISO E.4 | |
| Límites de consistencia | M.MMP.4.01.006 | 1 Pba. / 300 m ³ | | | | | |
| Equivalente de Arena. | M.MMP.4.01.008 | 1 Pba. / 300 m ³ | | | | | |
| Valor Soporte de California (CBR) | M.MMP.4.01.007 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Desgaste los Angeles | M.MMP.4.01.009 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Partículas alargadas y Lajeadas | M.MMP.4.01.016 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE ESPECIMENES DE BASE HIDRÁULICA ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND | | | | | | | |
| Ensaye a Compresión simple de una muestra compuesta de dos cilindros, compactados con ASSHTO modificada y ensavados a los 28 días | M.MMP..2.02.058 | 1 Muerstra / 3000 m ³ | N.CMT-4-02- 003/04 | | | | Resistencia a la compresión simple a 28 días de edad, será mayor de 25 Kg/cm2 |
| DETERMINACIÓN DE COMPACTACIÓN DE CAPAS DE BASE HIDRÁULICA ESTABILIZADA TENDIDA Y COMPACTADA | | | | | | | |
| Grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máx. obtenida en pba. de compact. AASHTO modifíc. | M.MMP.4.01.011 | 1 Pba. / 50 m | N-CTR-CAR-1-04- 003/00 inciso H.3 | | | N-CAL-1-01 / 05 inciso E.4 | COMPACTADA AL 100 % DE SU P.V.S. Máx. |
| CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA BASE DE MEZCLA ASFÁLTICA (BASE NEGRA) | | | | | | | |
| Granulometría | M.MMP.4.01.003 | 1 Pba. / 300 m ³ | N.CMT-4-02- .003 / 04 INCISO F | | | N-CAL-1-01 / 5 INCISO E.4 | |
| Equivalente de Arena. | M.MMP.4.01.008 | 1 Pba. / 300 m ³ | | | | | |
| Límites de consistencia | M.MMP.4.01.006 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Desgaste los Angeles | M.MMP.4.01.009 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Partículas alargadas y Lajeadas | M.MMP.4.04.005 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Contenido de agua en la mezcla asfáltica | M.MMP.4.05.039 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Pérdida de estabilidad por inmersión/agua | M.MMP.4.01.042 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| CALIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE GRANULOMETRÍA Densa ($\Sigma L \geq 1'000,000$ de ejes equivalentes) | | | | | | | |
| Contenido de asfalto | M.MMP.4.05.038 | 1 Pba. / 200 m ³ | N.CMT.4.05.003/0 4 | | | | |
| Peso volumétrico máximo Marshall | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |
| Estabilidad | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |
| Flujo | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |
| Vacíos en el agregado mineral (VAM) | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |
| Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m ³ | | | | | |

| PROGRAMA GENERAL DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD | | | | | | | |
|---|---|--|------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|
| OBRA: | | | | | | | |
| No. DE LICITACIÓN: | | | | FECHA DE INICIO: | | | |
| SUPERVISORA: | | | | FECHA DE TÉRMINO: | | | |
| CONTRATISTA: | | | | | | | |
| Prueba ó | Norma o especificación de prueba o ensaye | Frecuencia de prueba para control de calidad | Norma ó Especificación | Volumen de Obra | No. De pruebas para control Cal. | No. De pruebas de verificación | Observaciones |
| DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN DE LA CAPA DE BASE ASFÁLTICA (BASE NEGRA), TENDIDA Y COMPACTADA | | | | | | | |
| Grado de volumet. menes | N-CTR-CAR-1-04-006/ 09-H.1.4.1 | Núm. de extracción de | N.CTR.CAR.1.04. | | | | COMPACTADA AL 95 % DE SU P.V.S. Máx. Marshall |
| CARPETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA DE GRANULOMETRÍA DENSA, ELABORADA EN CALIENTE | | | | | | | |
| CALIDAD DE AGREGADOS PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA | | | | | | | |
| Granulometría | M.MMP.4.04.002/02 | 1 Pba. / 250 m³ | | | | | |
| Equivalente de Arena. | M.MMP.4.04.004/02 | 1 Pba. / 250 m³ | | | | | |
| Densidad relativa y absorción | M.MMP.4.04.003/02 | 1 Pba. / 2500 m³ | N.CMT.4.04/08 | | | | N-CAL-1-01 / 5 INCISO E.4 |
| Desgaste los Angeles | M.MMP.4.04.006/02 | 1 Pba. / 2500 m³ | | | | | |
| Partículas alargadas y Lajeadas | M.MMP.4.04.005/08 | 1 Pba. / 2500 m³ | | | | | |
| Pérdida de estabilidad por inmersión | M.MMP.4.05.042 | 1 Pba. / 2500 m³ | | | | | |
| CALIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE GRANULOMETRÍA DENSA ($\Sigma L \geq 1'000,000$ de ejes equivalentes) | | | | | | | |
| Contenido de asfalto | M.MMP.4.05.038 | 1 Pba. / 200 m³ | N.CMT.4.05.003/0 | | | | |
| Peso volumétrico máximo Marshall | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m³ | | | | | |
| Estabilidad | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m³ | | | | | |
| Flujo | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m³ | | | | | |
| Vacíos en el agregado mineral (VAM) | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m³ | | | | | |
| Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) | M.MMP.4.05.034 | 1 Pba. / 2000 m³ | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA DE GRANULOMETRÍA DENSA, TENDIDA Y COMPACTADA | | | | | | | |
| Grado de compact. respecto al peso volumet. máximo Marshall en especímenes elaborados con 75 golpes/ cara | N-CTR-CAR-1-04-006/ 09-H.1.4.1 | Núm. de extracción de | N.CTR.CAR.1.04. | | | | COMPACTADA AL 95 % DE SU P.V.S. Máx. Marshall |
| Permeabilidad | 6.01.03.012-L | 1 Pba. / 200 m | | | | | |
| PRODUCTOS ASFÁLTICOS PARA PAVIMENTOS. | | | | | | | |
| CALIDAD DE CEMENTO ASFÁLTICO TIPO AC-20 PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE | | | | | | | |
| Viscosidad dinámica a 60 °C | M.MMP.4.05.002 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Viscosidad Cinemática a 135 °C | M.MMP.4.05.003 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C | M.MMP.4.05.004 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Penetración a 25 °C, 100 g, 5 seg. | M.MMP.4.05.006 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Punto de inflamación Cleveland | M.MMP.4.05.007 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | N-CMT-4-05-001 / 06 | | | | |
| Solubilidad, % mínimo | M.MMP.4.05.008 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Punto de reblandecimiento, °C | M.MMP.4.05.009 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Pruebas en el residuo de la película delgada | | | | | | | |
| Pérdida por calentamiento, % máximo | M.MMP.4.05.010 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Viscosidad dinámica a 60 °C | M.MMP.4.05.002/02 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Ductilidad a 25 °C y 5 cm. / minuto | M.MMP.4.05.011 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| Penetración retenida a 25 °C, 100g, 5 s | M.MMP.4.05.010 | 1 Pba. / 40000 Ltrs. | | | | | |
| CALIDAD DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA DE ROMPIMIENTO RÁPIDO TIPO ECR-65 PARA RIEGO DE LIGA | | | | | | | |
| Contenido de cemento asfáltico en masa, %, mínimo. | M-MMP-4-05-012 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 50 °C, segundos, mínimo | M-MMP-4-05-004 | 1 Pba. / 40000 lts. | N-CMT-4-05-001/06 | | | | |
| Asentamiento en 5 días, % máximo | M-MMP-4-05-013 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Retenido en malla No. 20, % máx. a No. 20 y se retiene en 60, en la Pba. Del tamiz. | M-MMP-4-05-014 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Carga eléctrica de la partícula (+) | M-MMP-4-05-017 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Disolvente en volumen, % máx. | M-MMP-4-05-012 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Índice de ruptura, % | M-MMP-4-05-019 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| DEL RESIDUO DE LA DESTILACIÓN | | | | | | | |
| Viscosidad dinámica a 60 °C | M-MMP-4-05-002 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| n a 25 °C, en 100 grs. y 5 seg. 0.10 mm. | M-MMP-4-05-006 | 1 Pba. / 40000 lts. | N-CMT-4-05-001/06 | | | | |
| Solubilidad, % mínimo | M-MMP-4-05-008 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Ductilidad a 25 °C, cm, mínimo | M-MMP-4-05-011 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |

**PROGRAMA GENERAL DE PRUEBAS DE LABORATORIO
PARA CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD**

OBRA:

No. DE LICITACIÓN :

SUPERVISORA:

CONTRATISTA:

FECHA DE INICIO:

FECHA DE TÉRMINO:

| Prueba ó ensaye a realizar. | Norma o especificación de prueba o ensaye | Frecuencia de prueba para control de calidad | Norma ó Especificación | Volumen de Obra | No. De pruebas para control Cal. | No. De pruebas de verificación | Observaciones |
|---|---|---|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------|
| CALIDAD DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA TIPO ECI-60 PARA IMPREGNACIÓN | | | | | | | |
| Contenido de cemento asfáltico en masa, %, mínimo. | M-MMP-4-05-012 | 1 Pba. / 40000 lts. | N.CMT.4.05. .001/06 | | | | |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 25 °C, segundos, mínimo | M-MMP-4-05-004 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Asentamiento en 5 días, % máximo | M-MMP-4-05-013 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Retenido en malla No. 20, % máx. | M-MMP-4-05-014 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Pasa malla No. 20 y se retiene en malla No. 60, en la Pba. Del tamiz, | M-MMP-4-05-014 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Carga eléctrica de la partícula (+) | M-MMP-4-05-017 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Disolvente en volumen, % máx. | M-MMP-4-05-012 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| DEL RESIDUO DE LA DESTILACION | | | | | | | |
| Viscosidad dinámica a 60 °C | M-MMP-4-05-002 | 1 Pba. / 40000 lts. | N-CMT-4-05- 001/06 | | | | |
| Penetración a 25 °C, en 100 grs. y 5 seg. 0.10 mm. | M-MMP-4-05-006 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Solubilidad, % mínimo | M-MMP-4-05-008 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| Ductilidad a 25 °C, cm, mínimo | M-MMP-4-05-011 | 1 Pba. / 40000 lts. | | | | | |
| CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA BASE HIDRÁULICA ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND. | | | | | | | |
| Granulometría | M.MMP.4.01.003 | 1 Pba. / 300 m ³ | N.CMT.4.02. .003 / 04 | | | | |
| Equivalentae de Arerna. | M.MMP.4.01.008 | 1 Pba. / 300 m ³ | | | | | |
| Valor Soporte de California (CBR) | M.MMP.4.01.007 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Límites de consistencia | M.MMP.4.01.006 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Desgaste los Angeles | M.MMP.4.01.009 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| Partículas alargadas y Lajeadas | M.MMP.4.01.016 | 1 Pba. / 3000 m ³ | | | | | |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE ESPECIMENES DE BASE HIDRÁULICA ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND | | | | | | | |
| Ensaye a Compresión simple de una muestra compuesta de dos cilindros, compactados con ASSHTO modificada y ensavados a los 28 días | M.MMP..2.02.058 | 1 Muestra / 300 m ³ | N.CMT-4-02- 003/04 | | | | |
| DETERMINACIÓN DE COMPACTACIÓN DE CAPAS DE BASE HIDRÁULICA ESTABILIZADA TENDIDA Y COMPACTADA | | | | | | | |
| Grado de compactación respecto a la masa volumétrica seca máx. obtenida en pba. de compact. AASHTO modific. | M.MMP.4.01.011 | 1 Pba. / 50 m | N-CMT-4-02- 003/04 H.3.1 | | | | |
| DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE CONCRETO HIDRÁULICO | | | | | | | |
| PRUEBAS DE CALIDAD EN GRAVA PARA CONCRETO HIDRÁULICO PARA LOSAS DE CONCRETO HCO. | | | | | | | |
| Granulometría | M.MMP.2.02.020 | 1 Pba. / 100 m ³ | N.CMT.2.02. .002 / 02 | | | | |
| Intemperismo acelerado | M.MMP.2.02.028 | 1 Pba. / 1000 m ³ | | | | | |
| Desgaste los angeles | M.MMP.4.04.006/02 | 1 Pba. / 1000 m ³ | | | | | |
| Sanidad (Intemperismo acelerado) | M.MMP.2.02.028 | 1 Pba. / 1000 m ³ | | | | | |
| Masa Volumétrica o Especifica | M.MMP.2.02.023 | 1 Pba. / 1000 m ³ | | | | | |
| PRUEBAS EN ARENA PARA CONCRETO HIDRÁULICO. | | | | | | | |
| Granulometría, reportando mod./finura | M.MMP.2.02.020 | 1 Pba. / 100 m ³ | N.CMT.2.02. .002 / 02 | | | | |
| Terrones y partículas de carbón y lignito | M.MMP.2.02.031 | 1 Pba. / 1000 m ³ | | | | | |
| Intemperismo acelerado | M.MMP.2.02.028 | 1 Pba. / 1000 m ³ | | | | | |
| Impurezas orgánicas | M.MMP.2.02.026 | 1 Pba. / 1000 m ³ | | | | | |
| VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO DETERMINANDO EL MÓDULO DE RUPTURA | | | | | | | |
| Ensaye para la determinación del módulo de ruptura, muestra de 4 especímenes de 15x15x50 cm. ensavando 2 a 7 días, y otros 2 a 28 | NMX-191-ONNCE- 2004 | 1 Muestra de 4 vigas por cada 150 M3 de concreto. | N-CMT-2-02- 005/04 | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | Página 76 |
| | | | | | | | |

CAPITULO IV

MATERIALES ASFÁLTICOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

1. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES ASFÁLTICOS.

En este Capítulo se define la clasificación y las características de calidad que deben cumplir los materiales asfálticos empleados en la estabilización de bases o sub-bases, en la elaboración de mezclas asfálticas para carpetas, capas de rodadura y tratamientos superficiales de pavimentos. Así mismo en riegos de impregnación y riegos de liga.

El asfalto es un material bituminoso derivado de la refinación del petróleo (residuo), de color negro, constituido principalmente por “asfáltenos”, “resinas” y “aceites”, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido y semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientes normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.

Los materiales asfálticos se clasifican en Cementos Asfálticos, Emulsiones Asfálticas y Asfaltos Rebajados, dependiendo del medio que se emplee para su aplicación, como se indica en la siguiente tabla IV.1

Tabla IV.1 Clasificación de Materiales Asfálticos.

| Material Asfáltico | Medio para su aplicación. | Usos más comunes en la construcción de pavimentos |
|--------------------|---------------------------|--|
| Cemento Asfáltico | Calor | Se utiliza en la elaboración en caliente, de mezclas para carpetas, capas de rodadura, morteros, estabilizaciones; así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados. |
| Emulsión Asfáltica | Agua y emulsificante | Se utiliza en la elaboración en frío de mezclas para carpetas, morteros, riegos de impregnación, de liga y en estabilizaciones. |
| Asfalto Rebajado | Solventes | Se utiliza en la elaboración en frío de mezclas para carpetas, y para la impregnación de sub-bases y bases hidráulicas. |

2. CEMENTOS ASFÁLTICOS.

Los cementos asfálticos son los que se obtienen del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles, parte de sus aceites y resinas. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licúan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a 60 °C, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la siguiente tabla IV.2

Tabla IV.2 Clasificación de cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60 °C.

| Clasificación | Viscosidad a 60 °C | USOS MÁS COMUNES |
|---------------|------------------------|--|
| AC-5 | 50 ± 10 (500±100) | + En la elaboración de mezclas en caliente, dentro de las regiones indicadas como zona 1 en la figura 1-IV. + En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones. |
| AC-10 | 100 ± 20 (1000±200) | + En la elaboración de mezclas en caliente, dentro de las regiones indicada en la zona 2 en la figura 1-IV. + En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezclas en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como zona 1 en la figura 1.IV. |
| AC-20 | 200 ± 40 (2000±400) | + En la elaboración de mezclas en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 3 en la figura 1.IV. + En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como zona 2 en la figura 1.IV |
| AC-30 | 300 ± 60 (3000±600) | + En la elaboración de carpetas mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 4 en la figura 1.IV + En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como zonas 3 y 4 en la figura 1.IV + En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación. |

2.1 REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS.

Tabla IV.3 Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por viscosidad Dinámica a 60 °C

| Características | Clasificación | | | |
|--|--------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | AC-5 | AC-10 | AC-20 | AC-30 |
| Del cemento asfáltico original: | | | | |
| Viscosidad dinámica a 60 °C, Pa·s (Poises) | 50 ± 10 500±100 | 100 ± 20 1000±2000 | 200 ± 40 2000±400 | 300±60 3000±600 |
| Viscosidad cinemática a 135 °C, mm ² /s, mínimo. (1 mm ² /s = 1 centistoke) | 175 | 250 | 300 | 350 |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo | 80 | 110 | 120 | 150 |
| Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm., mínimo | 140 | 80 | 60 | 50 |
| Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo. | 177 | 219 | 232 | 232 |
| Solubilidad; %, mínimo | 99 | 99 | 99 | 99 |
| Punto de reblandecimiento; °C. | 37 - 43 | 45 - 52 | 48 - 56 | 50 - 58 |
| Del residuo de la prueba de la película delgada: | | | | |
| Pérdida por calentamiento; %, máximo | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Viscosidad dinámica a 60 °C; Pa·s (Poises), máximo. | 200 (2000) | 400 (4000) | 800 (8000) | 1200 (12000) |
| Ductilidad a 25 °C; y 5 cm/minuto; cm., mínimo | 100 | 75 | 50 | 40 |
| Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo. | 46 | 50 | 54 | 58 |

3. EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas son materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles (no se mezclan) entre si, en los que la fase continua de la emulsión está formada por agua y un agente emulsificante, y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico.

Se denominan emulsiones asfálticas “aniónicas” cuando el agente emulsificante confiere polaridad electronegativa (-) a los glóbulos y emulsiones asfálticas “catiónicas”, cuando les confiere polaridad electropositiva (+).

Las emulsiones asfálticas se clasifican de los siguientes tipos:

- **De rompimiento rápido**, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60 que no se utilizará en la elaboración de éstas últimas.
- **De rompimiento medio**, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual a dos (2) por ciento o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.

- **De rompimiento lento**, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- **Para impregnación**, que particularmente se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.
- **Superestables**, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Según su contenido de cemento asfáltico en masa, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se indica en la siguiente tabla IV.4

Tabla IV.4 Clasificación de las emulsiones asfálticas.

| Clasificación | Contenido de cemento asfáltico en masa en % | Tipo | Polaridad |
|---------------|---|--------------------|-----------|
| EAR-55 | 55 % | Rompimiento rápido | ANIÓNICA |
| EAR-60 | 60 % | | |
| EAM-60 | 60 % | Rompimiento medio | |
| EAM-65 | 65 % | | |
| EAL-55 | 55 % | Rompimiento lento | |
| EAL-60 | 60 % | | |
| EAI-60 | 60 % | Para impregnación | |
| ECR-60 | 60 % | Rompimiento rápido | CATIÓNICA |
| ECR-65 | 65 % | | |
| ECR-70 | 70 % | | |
| ECM-65 | 65 % | Rompimiento medio | |
| ECL-65 | 65 % | Rompimiento lento | |
| ECI-60 | 60 % | Para impregnación | |
| ECS-60 | 60 % | Sobrestabilizada | |

3.1 REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS.

Tabla IV.5 Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas.

| CARACTERÍSTICAS | CLASIFICACIÓN | | | | | | |
|--|-------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| | EAR-55 | EAR-60 | EAM-60 | EAM-65 | EAL-55 | EAL-60 | EAI-60 |
| De la emulsión: | | | | | | | |
| Contenido de cemento asfáltico en masa, %, mínimo | 55 | 60 | 60 | 65 | 55 | 60 | 60 |
| Viscosidad Saybolt-Furol, a 25 °C; s, mínimo | 5 | -- | -- | -- | 20 | 20 | 5 |
| Viscosidad Saybolt-Furol, a 50 °C; s, mínimo | -- | 40 | 50 | 25 | -- | -- | -- |
| Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Retenido en malla No.20 en la prueba del tamiz, %, máximo. | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Pasa malla No. 20 y se retiene en malla No. 60 en la prueba del tamiz, %, máximo | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Cubrimiento del agregado seco, %, mínimo. | -- | -- | 90 | 90 | 90 | 90 | -- |
| Cubrimiento del agregado húmedo, %, mínimo. | -- | -- | 75 | 75 | 75 | 75 | -- |
| Miscibilidad con cemento Portland; %, máximo. | -- | -- | -- | -- | 2 | 2 | -- |
| Carga eléctrica de las partículas. | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) |
| Demulsibilidad, %. | 60 mín. | 50 mín. | 30 máx | 30 máx | -- | -- | -- |
| Del residuo de la destilación: | | | | | | | |
| Viscosidad dinámica a 60 °C, Pa·s (Poises) | 50 ±10 500±100 | 100 ±20 1000±200 | 50 ±10 500±100 | 100 ±100 1000±200 | 50 ±10 500±100 | 100 ±20 1000±200 | 50 ±10 500±100 |
| Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm. | 100 - 200 | 50 - 90 | 100 - 200 | 50 - 90 | 100 - 200 | 50 - 90 | 150-250 |
| Solubilidad, %, mínimo. | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 |
| Ductilidad a 25 °C; cm., mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |

3.2 REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS.

Tabla IV.6 Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas cationicas.

| CARACTERÍSTICAS | CLASIFICACIÓN | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ECR-60 | ECR-65 | ECR-70 | ECM-65 | ECL-55 | ECL-60 | ECS-60 |
| De la emulsión: | | | | | | | |
| Contenido de cemento asfáltico en masa, %, mínimo | 60 | 65 | 68 | 65 | 65 | 60 | 60 |
| Viscosidad Saybolt-Furol, a 25 °C; s, mínimo | -- | -- | -- | -- | 25 | 5 | 25 |
| Viscosidad Saybolt-Furol, a 50 °C; s, mínimo | -5 | 40 | 50 | 25 | -- | -- | -- |
| Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 5 |
| Retenido en malla No.20 en la prueba del tamiz, %, máximo. | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Pasa malla No. 20 y se retiene en malla No. 60 en la prueba del tamiz, %, máximo | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Cubrimiento del agregado seco, %, mínimo. | -- | -- | -- | 90 | 90 | -- | 90 |
| Cubrimiento del agregado húmedo, %, mínimo. | -- | -- | -- | 75 | 75 | -- | 75 |
| Carga eléctrica de las partículas. | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| Disolvente en volumen; %, máximo | -- | 3 | 3 | 5 | -- | 15 | -- |
| Índice de ruptura, % | < 100 | < 100 | < 100 | 80 - 140 | > 120 | -- | > 120 |
| Del residuo de la destilación: | | | | | | | |
| Viscosidad dinámica a 60 °C, Pa·s (Poises) | 50 ±10 500±100 | 50 ±10 500±100 | 50 ±10 500±100 | 50 ±10 500±00 | 50 ±10 500±100 | 50 ±10 500±100 | 50 ±10 500±100 |
| Penetración ⁽¹⁾ a 25 °C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm. | 110 - 250 | 110 - 250 | 110 - 250 | 100 - 250 | 100 - 250 | 100 - 400 | 100-250 |
| Solubilidad, %, mínimo. | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | -- |
| Ductilidad a 25 °C; cm., mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | -- |

⁽¹⁾ En climas que alcancen temperaturas iguales o mayores a 40 °C, la penetración en el residuo de la destilación de las Emulsiones ECR-65, ECR-70, ECM-65, ECL-65 Y ECS-60, en el proyecto se puede considerar de 50 a 90 x 10⁻¹ mm.

4. ASFALTOS REBAJADOS

Los asfaltos rebajados que regularmente se utilizan para la elaboración de carpetas de mezcla en frío, así como en impregnaciones de bases y sub-bases hidráulicas, son los materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según su velocidad de fraguado como se indica en la siguiente tabla IV.7

Tabla IV.7 Clasificación de asfaltos rebajados.

| Clasificación | Velocidad de fraguado | Tipo de solvente |
|---------------|-----------------------|------------------|
| FR - 3 | Rápida | Nafta, gasolina |
| FM - 1 | Media | Queroseno |

4.1 REQUISITOS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS

Tabla IV.8 Requisitos de calidad para asfaltos rebajados.

| CARACTERÍSTICAS | GRADO | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| | FM - 1 | FR - 3 |
| Del asfalto rebajado: | | |
| Punto de inflamación Tag; °C, mínimo | 38 | 27 |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 50 °C; s, | 75 - 150 | -- |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 60 °C; s, | -- | 250 - 500 |
| Contenido de solvente por destilación a 360 °C, en volumen, %. | | |
| Hasta 225 °C | 20 máx. | 25 mín. |
| Hasta 260 °C | 25 - 65 | 55 mín. |
| Hasta 315 °C | 70 - 90 | 83 mín. |
| Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360 °C, en volumen, %, mínimo. | 60 | 73 |
| Contenido de agua por destilación a 360 °C, en volumen, %, máximo. | 0.2 | 0.2 |
| Del residuo de la destilación | | |
| Viscosidad dinámica a 60 °C, Pa·s (Poises), máximo | 200 ± 40 (2000 ± 400) | 200 ± 40 (2000 ± 400) |
| Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm. | 120 - 300 | 80 - 120 |
| Ductilidad a 25 °C; y 5 cm/minuto; cm., mínimo | 100 | 100 |
| Solubilidad; %, mínimo | 99.5 | 99.5 |

5. MATERIALES ASFÁLTICOS MODIFICADOS.

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia de agua.

También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico antes de mezclarlo con el material pétreo.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples).

El objetivo que se pretende con la adición de polímero al asfalto, es cambiar las propiedades físicas y reológicas del ligante asfáltico, que nos permitan determinar cuáles son las más factibles aprovechar de acuerdo a los diferentes factores que influyen en el diseño de una obra vial.

Los cambios que infiere el polímero en el ligante asfáltico, principalmente son los siguientes:

- Aumenta la viscosidad, por ejemplo: AC-20 sin polímero = 380 cP; un AC-20 con Polímero aumenta desde 625 hasta 1120 cP., dependiendo de la cantidad y tipo de polímero.
- Disminuye la penetración.
- Aumenta el punto de reblandecimiento del asfalto, (entre 8 y 12 grados).
- Aumenta el punto de inflamación.
- Disminuye la susceptibilidad a las variaciones de temperatura.
- Sube entre 1 y 2 grados la clasificación PG (Grado de penetración) del asfalto.
- Eleva la recuperación elástica del asfalto hasta arriba del 30 %.
- Eleva la resiliencia del asfalto por encima de 25.
- Amplía el rango de temperatura en el manejo y almacenamiento.
- Mayor intervalo de plasticidad.
- Mayor cohesión.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Este cambio de propiedades depende de los siguientes factores:

1. Tipo, cantidad y composición del polímero incorporado.
2. Características y estructura coloidal del asfalto base.
3. Proporción relativa del asfalto base.

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

➤ **POLÍMERO TIPO I.**

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto en altas como en bajas temperaturas.

Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno- Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Este Polímero tipo I se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

➤ **POLÍMERO TIPO II.**

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas.

Es fabricado con base sean polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Latex o Neopreno-Latex. Este polímero tipo II se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos, en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

➤ POLÍMERO TIPO III.

Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperatura.

Es fabricado con base en un polímero de tipo plastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o poliestireno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE), entre otras.

Este polímero tipo III se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

➤ HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS.

Es un modificador de asfaltos que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura.

El hule molido es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos.

Este modificador, se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta y tratamientos superficiales.

El empleo de los modificadores está condicionado al análisis de las ventajas que se obtengan de ellos para mejorar el comportamiento mecánico y la duración de los trabajos de pavimentación en cada caso específico y de acuerdo con las condiciones climáticas, de tránsito, la rigidez de la estructura del pavimento, la disponibilidad de los materiales, el periodo de vida útil considerado en el diseño, la estrategia de mantenimiento y el costo de operación de los vehículos.

Su uso depende de la evaluación económica de su aplicación, en comparación con otras opciones y corresponde al proyectista la selección del tipo de modificador a emplear y su dosificación, para cumplir con los parámetros de comportamiento deseados.

5.1 REQUISITOS DE CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO

Los cementos asfálticos clasificados como AC-5 y AC-20 según su viscosidad dinámica a 60 °C, que cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, una vez modificados cumplirán con los requisitos de calidad establecidos en Tabla IV.9 siguiente:

Tabla IV.9 Requisitos de calidad para cementos asfálticos AC-5 y AC-20 Modificados.

| CARACTERÍSTICAS | Tipo de cemento asfáltico (Tipo de modificador) | | | | |
|---|--|-------------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| | AC-5 (Tipo I o II) | AC-20 (Tipo I) | AC-20 (Tipo II) | AC-20 (Tipo III) | AC-20 (Hule molido) |
| Del cemento asfáltico modificado: | | | | | |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, máximo. | 500 | 1000 | 1000 | 1000 | -- |
| Viscosidad rotacional Brookfield a 135 °C; Pa-s, máximo | 2 | 4 | 3 | 4 | -- |
| Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177 °C; Pa-s, máximo | | | | | 7 |
| Penetración: A 25 °C 100 g, 5 S; 10 ⁻¹ mm, mín. | 80 | 40 | 40 | 30 | 30 |
| A 4 °C 200 g, 60 S; 10 ⁻¹ mm, mín. | 40 | 25 | 25 | 20 | 15 |
| Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo. | 220 | 230 | 230 | 230 | 230 |
| Punto de reblandecimiento; °C, mínimo. | 45 | 55 | 55 | 53 | 57 |
| Separación, diferencia anillo y esfera; °C, máx. | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| Recuperación elástica por torsión a 25 °C, %, mínimo | 25 | 35 | 30 | 15 | 40 |
| Resiliencia, a 25 °C; %, mínimo. | 20 | 20 | 20 | 25 | 30 |
| Del residuo de la prueba de la película delgada, (3.2 mm., 50g) | | | | | |
| Pérdida por calentamiento a 163 °C; %, máx. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Penetración a 4 °C, 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm, mín. | -- | -- | -- | -- | 10 |
| Penetración retenida a 4°C, 200 g, 60 s; %, mín. | 65 | 65 | 65 | 55 | 75 |
| Recuperación elástica en ductilómetro a 25 °C; %, mínimo. | 50 | 60 | 60 | 30 | 55 |
| Incremento de temperatura anillo y esfera; °C, mínimo. | -- | -- | -- | -- | 10 |
| Módulo reológico de corte dinámico a 76 °C, (G*/sen δ); kPa, mínimo | -- | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| Módulo reológico de corte dinámico a 64 °C, (G*/sen δ); kPa, mínimo | 2.2 | -- | -- | -- | -- |
| Angulo de fase (δ) [visco-elasticidad], a 76 °C, ° (grados), máximo. | -- | 75 | 70 | 75 | -- |
| Angulo de fase (δ) [visco-elasticidad], a 64 °C, ° (grados), máximo. | 75 | -- | -- | -- | -- |

5.2 REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA

Las emulsiones elaboradas con asfalto AC-5 modificado con polímero tipo I ó II, cumplirán con las características de calidad establecidas en la Tabla IV.10 siguiente:

Tabla IV.10 Requisitos de calidad para emulsión asfáltica modificada.

| CARACTERÍSTICAS | VALOR |
|--|-----------|
| De la emulsión | |
| Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo. | 50 |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 50 °C; s. | 50 - 200 |
| Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo. | 3 |
| Retenido de peso en malla No. 20, en la prueba del tamiz; %, máximo. | 0.1 |
| Carga eléctrica de las partículas. | (+) |
| Disolvente en volumen; %, máximo. | 3 |
| Demulsibilidad; %, mínimo. | 60 |
| Índice de ruptura; %. | 80 - 40 |
| Del residuo de la destilación: | |
| Penetración ⁽¹⁾ a 25 °C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm. | 100 - 200 |
| Ductilidad a 4 °C, 5 cm/minuto; cm., mínimo. | 30 |
| Recuperación elástica en ductilómetro a 25 °C, 20 cm, 5 min; %, mínimo. | 40 |
| Recuperación elástica en ductilómetro a 25 °C, 20 cm, 5 min; %, mínimo. | 50 |

⁽¹⁾ En climas que alcancen temperaturas iguales que 40°C o mayores, la penetración en el residuo de la destilación de las emulsiones asfálticas modificadas con polímero, en el proyecto se puede considerar de 50 a 90 x 10⁻¹ mm.

5.3 REQUISITOS DE CALIDAD PARA ASFALTOS MODIFICADOS CON HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS

El cemento asfáltico por modificar deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, y el Hule Molido empleado, deberá cumplir con los requisitos de granulometría establecidos en la Tabla IV.11 siguiente:

Tabla IV.11 Requisitos de granulometría para hule molido.

| MALLA | | TAMAÑO NOMINAL | | |
|--|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Abertura mm. | Designación | H 20 % Que pasa | H 40 % Que pasa | H 80 % Que pasa |
| 2 | No. 10 | 100 | -- | -- |
| 1.18 | No. 16 | 75 - 100 | -- | -- |
| 0.85 | No. 20 | 59 - 90 | 100 | -- |
| 0.6 | No. 30 | 25 - 60 | 75 - 100 | 100 |
| 0.425 | No. 40 | 10 - 40 | 55 - 90 | 80 - 100 |
| 0.3 | No. 50 | 0 - 20 | 25 - 60 | 60 - 100 |
| 0.15 | No. 100 | 0 - 10 | 0 - 30 | 4 - 70 |
| 0.075 | No. 200 | 0 - 5 | 0 - 10 | 0 - 20 |
| Contenido mínimo de hule en el asfalto en masa; %. | | 17 | 15 | 12 |

6. MATERIALES ASFÁLTICOS GRADO PG.

Los cementos asfálticos Grado PG, son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, dentro de las cuales se asegura un desempeño adecuado en condiciones de trabajo que se han correlacionado con ensayos especiales y simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estos ensayos miden propiedades físicas que pueden ser directamente relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento de obra y forma parte de los productos del Programa de Investigación de Carreteras, desarrollado por la Unión Americana, conocida como la tecnología SHRP.

El grado de desempeño o Grado PG es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente. El grado PG permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante y de la magnitud del tránsito a que estará sujeta durante su vida útil.

6.1 CLASIFICACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO PG.

Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-22 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como 64 °C y tan bajas como (-22 °C). Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de 6 grados. Sin embargo, generalmente las temperaturas máximas se consideran de 64 a 88 °C y las mínimas de (-40) a (-22) °C.

Los grados PG pueden ser tantos y tan amplios como la gama de temperaturas que se registren en el país, sin embargo, para fines prácticos, es recomendable seleccionar un cemento asfáltico que corresponda a uno de los tres grados PG que se indican en la figura 2.IV de acuerdo con el clima de la zona geográfica donde se le pretenda utilizar, de entre las zonas en que se ha dividido la Republica Mexicana que se muestran en la misma figura 2.IV.

Pero considerando que dentro de una misma zona, las condiciones del clima en un área determinada pueden variar, lo que se debe tomar en cuenta para elegir el Grado PG adecuado es la temperatura máxima del Grado PG seleccionado según el clima y se ajusta de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados durante el periodo de servicio del pavimento de 10 años (ΣL_{10}) y de acuerdo con la velocidad de operación; como se indica en la Tabla IV.12 siguiente:

Tabla IV.12 Ajustes del Grado PG seleccionado por el clima de acuerdo a la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación.

| Intensidad del tránsito (ΣL_{10}) ⁽¹⁾ | Grado PG Seleccionado por clima | Ajuste por Intensidad del tránsito | Ajuste por Velocidad lenta Entre 10 y 30 Km/h | Ajuste por Tránsito detenido (Cruceos) |
|--|---------------------------------|------------------------------------|---|--|
| $\Sigma L_{10} < 10^6$ | PG 64 | PG 64 | PG 70 | PG 76 |
| | PG 70 | PG 70 | PG 76 | PG 82 |
| | PG 76 | PG 76 | PG 82 | PG 88 |
| $10^6 \leq \Sigma L_{10} \leq 10^7$ | PG 64 | PG 70 | PG 76 | PG 82 |
| | PG 70 | PG 76 | PG 82 | PG 88 |
| | PG 76 | PG 82 | PG 88 | PG 88 |
| $\Sigma L_{10} > 10^7$ | PG 64 | PG 76 | PG 82 | PG 88 |
| | PG 70 | PG 82 | PG 88 | PG 88 |
| | PG 76 | PG 88 | PG 88 | PG 88 |

(1) ΣL_{10} = Número de ejes equivalentes de 8.2 ton., esperado durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años.

6.2 REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO PG.

1.- Los cementos asfálticos Grado PG, que se utilizan en la elaboración de mezclas asfálticas o para la elaboración de emulsiones asfálticas, que se utilicen en la construcción de carpetas estructurales o carpetas delgadas de rodadura, ya sea como cementos asfálticos convencionales o modificados, deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla IV.13 siguiente.

Tabla IV.13 Requisitos de calidad para cementos asfálticos Grado PG.

| Grado de comportamiento | PG 64 | | | | PG 70 | | | | PG 76 | | | PG 82 | | | PG 88 | | |
|--|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|
| | -22 | -28 | -34 | -40 | -22 | -28 | -34 | -40 | -22 | -28 | -34 | -22 | -28 | -34 | -22 | -28 | -34 |
| Temperatura máxima de diseño del pavimento (promedio del 7 días), °C | 64 | | | | 70 | | | | 76 | | | 82 | | | 88 | | |
| Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > |
| | -22 | -28 | -34 | -40 | -22 | -28 | -34 | -40 | -22 | -28 | -34 | -22 | -28 | -34 | -22 | -28 | -34 |
| Asfalto original | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto de inflamación Cleveland, °C, mínimo | 230 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Viscosidad dinámica a 135°C, Pa·s, (Poises), máx | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ); kPa, mínimo | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C. | 64 | | | | 70 | | | | 76 | | | 82 | | | 88 | | |
| Después de prueba de película delgada y aire de horno | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida por calentamiento, %, máx. | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
| Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ); kPa, mínimo -Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C. | 2.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 64 | | | | 70 | | | | 76 | | | | 82 | | | | 88 | | | |
| Después de envejecimiento en vasija de presión temperatura aire | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura de envejecimiento PAV; °C _- En climas normales _- En climas desérticos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 100 | | | | 100 | | | | 100 | | | | 100 | | | | 100 | | | |
| 100 | | | | 110 | | | | 110 | | | | 110 | | | | 110 | | | | |
| Índice de endurecimiento físico, máximo. | Reportar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rigidización (G*/sen δ); kPa, máxima -Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C. | 5000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 25 | 22 | 19 | 16 | 28 | 25 | 22 | 19 | 31 | 28 | 25 | 34 | 31 | 28 | 34 | 31 | 28 | | | |
| Rigidización (G*/sen δ); kPa, máxima -Temperatura de prueba @ 60 s, °C. | 300 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -12 | -18 | -24 | -30 | -12 | -18 | -24 | -30 | -12 | -18 | -24 | -12 | -18 | -24 | -12 | -18 | -24 | | | |

2.- Cuando un cemento asfáltico Grado PG se utilice para producir una emulsión asfáltica convencional que se empleará para la construcción de una carpeta estructural o de una carpeta delgada de rodadura, además de satisfacer lo establecido en el párrafo 1. anterior, la emulsión asfáltica, según su tipo, cumplirá con los requisitos de calidad indicados en la Norma N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, antes de la prueba de película delgada.

3.- Cuando un cemento asfáltico Grado PG se utilice para producir un material asfáltico modificado, además de satisfacer lo establecido en el párrafo 1. Anterior, el material asfáltico modificado, según su tipo y el modificador utilizado, cumplirá con los requisitos de calidad indicados en la Norma N-CMT-4-05-002, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, de la Normativa de la S.C.T.

7. CONTROL DE CALIDAD PARA PRODUCTOS ASFÁLTICOS SIN MODIFICAR, MODIFICADOS Y GRADO PG.

Para que los materiales asfálticos, sin modificar, modificados y grado PG, sean aceptados para su empleo, el contratista de obra o el proveedor, deberán presentar y entregar un certificado de calidad expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo autorizado; por cada auto-tanque o suministro, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos de calidad indicados anteriormente, conforme se establecen en las Normas N-CMT-4-05-001/06, Calidad de Materiales Asfálticos, N-CMT-4-05-002/06, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados y N-CMT-4-05-004/08, Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG, de la Normativa S.C.T. o en su caso, lo que se indique en Proyecto,

Las pruebas de laboratorio para determinar las características de calidad de los materiales asfálticos, se llevaran a cabo en muestras representativas de cada uno de los materiales asfálticos; obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-00 1, Muestreo de Materiales Asfálticos y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los manuales M-MMP-4-05, Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas; de la Normativa de la S.C.T.

Los procedimientos de pruebas de laboratorio para materiales asfálticos, aditivos y mezclas asfálticas son muy detallados y amplios por lo que en este capítulo, solo se harán referencia del nombre de las pruebas y la designación del manual correspondiente a cada prueba, establecidos en la Normativa de la S.C.T. en donde se podrán consultar detalladamente cada procedimiento y finalidad de cada ensaye.

| NOMBRE DE LA PRUEBA | DESIGNACIÓN |
|--|-------------------|
| Muestreo de Materiales Asfálticos----- | M-MMP-4-05-001/00 |
| Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos----- | M-MMP-4-05-002/02 |
| Viscosidad Cinemática de Cementos Asfálticos----- | M-MMP-4-05-003/02 |
| Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos----- | M-MMP-4-05-004/00 |
| Viscosidad Rotacional Brookfield de cementos asfálticos----- | M-MMP-4-05-005/02 |
| Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos----- | M-MMP-4-05-006/00 |
| Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos----- | M-MMP-4-05-007/00 |
| Solubilidad de Cementos y Residuos Asfálticos----- | M-MMP-4-05-008/00 |
| Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos ----- | M-MMP-4-05-009/00 |

| | |
|---|-------------------|
| Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de C. A.----- | M-MMP-4-05-010/02 |
| Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos----- | M-MMP-4-05-011/07 |
| Destilación de Emulsiones Asfálticas----- | M-MMP-4-05-012/00 |
| Asentamiento de Emulsiones Asfálticas----- | M-MMP-4-05-013/02 |
| Retenido en las Mallas No. 20 y No. 60 en Emulsiones Asf.----- | M-MMP-4-05-014/02 |
| Cubrimiento del Agregado en Emulsiones Asfálticas----- | M-MMP-4-05-015/00 |
| Miscibilidad con Cemento Portland de Emulsiones Asfálticas--- | M-MMP-4-05-016/00 |
| Carga Eléctrica de las Partículas de Emulsiones Asfálticas----- | M-MMP-4-05-017/00 |
| Demulsibilidad de Emulsiones Asfálticas----- | M-MMP-4-05-018/07 |
| Índice de Ruptura de Emulsiones Asfálticas Catiónicas----- | M-MMP-4-05-019/02 |
| Punto de Inflamación Tág en Asfaltos Rebajados----- | M-MMP-4-05-020/02 |
| Destilación de Asfaltos Rebajados----- | M-MMP-4-05-021/02 |
| Separación en Cemento Asfáltico Modificado----- | M-MMP-4-05-022/02 |
| Resiliencia en Cemento Asfaltico Modificado----- | M-MMP-4-05-023/02 |
| Recuperación Elástica por Torsión en Cemento Asf. Modif.----- | M-MMP-4-05-024/02 |
| Módulo Reológico de Corte Dinámico----- | M-MMP-4-05-025/02 |
| Recuperación Elástica en Ductilómetro----- | M-MMP-4-05-026/02 |
| Desgaste por Abrasión en Húmedo de Morteros Asfálticos----- | M-MMP-4-05-041/03 |
| Pérdida de Estabilidad por Inmersión en Agua de Mezclas Asf. | M-MMP-4-05-042/03 |

8. MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARRETERAS

Definición:

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo.

Clasificación:

Las mezclas asfálticas según el procedimiento de mezclado se clasifican como sigue:

A. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla.

Las temperaturas de mezclado para mezclas asfálticas en caliente serán determinadas mediante la curva Viscosidad–Temperatura del material asfáltico y, dependiendo del tipo de cemento asfáltico utilizado, pueden ser las que se indican a continuación. Cuando se trate de cementos asfálticos modificados, las temperaturas de mezclado deben consultarse con el fabricante del modificador que se utilice.

Temperaturas de mezclado para mezclas en caliente.

| Clasificación del Cemento asfáltico | Temperatura de mezclado °C |
|--|-------------------------------|
| AC - 5 | 120 - 145 |
| AC - 10 | 120 – 155 |
| AC - 20 | 130 – 160 |
| AC - 30 | 130 - 165 |

No se aplicarán materiales asfálticos cuando la temperatura ambiente sea menor de 5 °C, cuando haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación con petrolizadora sea uniforme.

Los espesores compactos de las capas que se construyan con mezclas asfálticas en caliente, no serán menores que 1.5 veces el tamaño nominal del material pétreo utilizado y serán compactadas como mínimo al 95 % de su masa volumétrica máxima determinada por el método de prueba especificado en proyecto.

En el caso de mezclas de granulometría discontinua tipo SMA, el espesor compacto mínimo no será menor de 3 veces el tamaño nominal del material pétreo utilizado y la capa construida, será compactada como mínimo al 98 % de su masa volumétrica máxima, determinada en el diseño de la mezcla.

Las Mezclas Asfálticas en caliente se clasifican a su vez en:**A.1 Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa.**

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados con tamaño nominal entre 37.5 mm. (1½") y 9.5 mm. (¾"), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos

para Mezclas Asfálticas. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzos de pavimentos existentes.

A.2 Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta.

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre 12.5 mm. ($\frac{1}{2}$ ") y 6.3 mm. ($\frac{1}{4}$ "), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la cláusula E. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requisitos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de 600 mm., por año.

A.3 Mezcla Asfáltica de Granulometría Discontinua, tipo SMA

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría discontinua con tamaño nominal entre 19.0 mm. ($\frac{3}{4}$ ") y 9.5 mm. ($\frac{3}{8}$ "), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la cláusula F. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, aunque también pueden utilizarse en capas inferiores en carreteras de alto tránsito. Cuando son usadas como capas de rodadura su finalidad principal es mejorar las condiciones de circulación de los vehículos respecto a una carpeta asfáltica convencional.

Al tener una macrotextura se evita que el agua de lluvia forme una película continua sobre la superficie del pavimento, con lo que se incrementa la fricción de las llantas; se minimiza el acuaplaneo; se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes; se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal y se reduce el ruido hacia el entorno por la fricción entre las llantas y la superficie de rodadura.

B. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO.

Son las elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

Las Mezclas Asfálticas en frío se clasifican a su vez en:

B.1 Mezcla Asfáltica en frío, de Granulometría Densa.

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos, con tamaño nominal entre 37.5 mm. (1½”) y 9.5 mm. (¾”), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Normalmente se utiliza en los casos en que la intensidad del tránsito (ΣL) es igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas para refuerzo de pavimentos existentes, así como para la reparación de baches.

B.2 Mortero Asfáltico.

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de 2.36 mm. (Malla No. 8), que satisfaga los requisitos de calidad establecidos en la cláusula F. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Normalmente se coloca sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

B.3 Mezclas Asfálticas por el Sistema de Riegos.

Son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de tamaños decrecientes que, según su denominación, satisfaga los requisitos de calidad establecidos en la cláusula G. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Las carpetas por el sistema de riegos se clasifican en carpetas de uno, de dos y de tres riegos. Las carpetas de un riego o la última capa de las carpetas de dos y tres riegos, pueden ser premezcladas o no. Normalmente se colocan sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, nueva o existente, como capa de rodadura con el objeto de proporcionar resistencia al derrapamiento y al pulimento de la superficie.

8.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARRETERAS

8.1.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Las mezclas asfálticas en caliente, diseñadas de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-34, Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa, M-MMP-4-05-36, Método Cántabro para Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta, M-MMP-4-05-37, Método Hubbard Field para Morteros Asfálticos y M-MMP-4-05-43, Método de Diseño para Mezclas Asfálticas de Granulometría Discontinua, Tipo SMA; según su tipo, cumplirán con los siguientes requisitos de calidad:

8.1.1.1 Requisitos de calidad de mezcla asfáltica de granulometría densa, diseñada por el método Marshall.

La mezcla asfáltica de granulometría densa, diseñada por el procedimiento descrito en Manual M-MMP-4-05-34, Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa, de acuerdo con el tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la siguiente Tabla IV.14 y con el porcentaje de vacíos en el agregado mineral indicado en la siguiente Tabla IV.15 en función del tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla.

Tabla IV.14 Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall.

| CARACTERÍSTICAS | Número de ejes equivalentes de diseño, (ΣL) ⁽¹⁾ | |
|---|--|--|
| | $\Sigma L \leq 10^6$ | $10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ ⁽²⁾ |
| Compactación: número de golpes en cada cara de la probeta | 50 | 75 |
| Estabilidad; Kg, (lbf), mínimo | 545 Kg, (1200 lbf) | 817 Kg, (1800 lbf) |
| Flujo; mm. | 2 a 4 mm. | 2 a 3.5 mm. |
| Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC); %. | 3 a 5 % | 3 a 5 % |
| Vacíos ocupados por el asfalto (VFA); %. | 65 a 78 % | 65 a 75 % |

(1) ΣL = Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, esperados durante la vida útil de pavimento.

(2) Para tránsitos mayores de 10^7 ejes equivalentes de 8.2 toneladas, se requiere un diseño especial de la mezcla.

Tabla IV.15 Vacios en el agregado mineral (VAM) para mezclas asfálticas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall.

| Tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla ⁽¹⁾ | | Vacios en la mezcla asfáltica (VMC) de diseño, %. | | |
|--|-------------|---|-----|-----|
| | | 3 % | 4 % | 5 % |
| mm. | Designación | Vacios en el agregado mineral (VAM), %, mínimo. | | |
| 37.5 | 1½" | 10 | 11 | 12 |
| 25 | 1" | 11 | 12 | 13 |
| 19 | ¾" | 12 | 13 | 14 |
| 12.5 | ½" | 13 | 14 | 15 |
| 9.5 | ⅜" | 14 | 15 | 16 |

⁽¹⁾ El tamaño nominal corresponde al indicado en la cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, para el tipo y granulometría del material pétreo utilizado en la mezcla.

Material fino (filler).

Cuando se requiera un material fino (filler) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, se puede utilizar cemento Pórtland o cal, lo que también acelera la estabilidad de la mezcla y mejora la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla No. 200, indicado en la cláusula mencionada.

8.1.1.2 Requisitos de calidad de mezcla asfáltica de granulometría abierta, diseñada por el método Cántabro.

Las mezclas asfálticas de granulometría abierta, diseñadas mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-36, Método Cántabro para Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta, tendrán como mínimo el contenido de asfalto que corresponda a un desgaste en las probetas igual al 30 % o menor y como máximo el contenido de asfalto que corresponda a un porcentaje de vacios en dichas probetas igual al 20 % o mayor.

Cuando se requiera un material fino (filler) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la cláusula E. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, se puede utilizar cemento Pórtland o cal, lo que también acelera la estabilidad de la mezcla y mejora la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla No. 200, indicado en la cláusula mencionada.

8.1.1.3 Requisitos de calidad de mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA.

Las mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA, diseñadas mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-43, Método de Diseño para Mezclas Asfálticas de Granulometría Discontinua, Tipo SMA, cumplirá con los requisitos de calidad que se indican en la siguiente Tabla IV.16:

Tabla IV.16 Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA.

| CARACTERÍSTICA | REQUISITO |
|---|-----------------------------|
| Número de giros en el compactador giratorio (golpes por cara con martillo Marshall) | 100 giros (50 golpes) |
| Vacios en la mezcla asfáltica (VMC); %, mínimo. | 4.0 ⁽¹⁾ % mínimo |
| Vacios en el agregado mineral (VAM); %, mínimo. | 17 %, mínimo |
| Vacios ocupados por el asfalto (VFA); %. | 75 a 82 % |
| Contenido de fibras de celulosa, % en peso de la mezcla, mínimo. | 0.3 % |
| Resistencia retenida a tracción indirecta (TSR) ⁽²⁾ , % mínimo. | 80 % mínimo |
| Escurrimiento de asfalto a temperatura de producción, % máximo. | 0.3 ⁽³⁾ % máximo |
| Contenido de cemento asfáltico, % en peso de la mezcla, mínimo | 6 % |
| Adicionalmente los vacios de la grava en la mezcla asfáltica compactada (VAGMIX) serán menores que los vacios en la grava, en la condición de varillado en seco (VAGDCR) ⁽⁴⁾ | |
| | |

- (1) Para caminos de bajo volumen de tránsito o climas fríos, se puede permitir un porcentaje de vacios en la mezcla, menor de 4% pero nunca debajo de 3%
- (2) Para determinar la resistencia retenida a tracción indirecta, se aplicará el método descrito en el Manual M-MMP-4-05-045 Resistencia de las Mezclas Asfálticas Compactadas, al Daño Inducido por la Humedad.
- (3) Para determinar el escurrimiento del asfalto se debe aplicar el método descrito en el Manual M-MMP-4-05-044, Determinación del Escurrimiento en Mezclas Asfálticas sin Compactar.
- (4) Para determinar los valores VAGMIX y VAGDCR se aplicarán los procedimientos indicados en el Manual M-MMP-4-05-04, Método de Diseño para Mezclas Asfálticas de Granulometría Discontinua, Tipo SMA
- (5)

8.1.2 REQUISITOS DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO.

Las mezclas asfálticas en frío, diseñadas de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-34, Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa, M-MMP-4-05-37, Método Hubbard field para morteros asfálticos, según su tipo, cumplirán con los siguientes requisitos de calidad:

8.1.2.1 Requisitos de calidad de mezcla asfáltica de granulometría densa (En Frío), diseñada por el método Marshall.

En la fabricación de las mezclas asfálticas de granulometría densa en frío, que se empleen en carpetas o reparación de baches, se tomará en cuenta lo siguiente:

- (1) La emulsión asfáltica que se utilice en las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío, será de rompimiento medio o lento.

- (2) El asfalto rebajado que se utilice en las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío, será de fraguado rápido.
- (3) Las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío, cumplirán con los requisitos de calidad indicados anteriormente en las Tablas IV.14 y IV.15, Cuando se utilice el método de diseño Marshall, para una intensidad del tránsito (ΣL) igual a un (1) millón de ejes equivalentes.
- (4) En el caso que se indique en proyecto, o previa aprobación, cuando se requiera un material fino (filler) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, se puede utilizar cemento Pórtland o cal, lo que también acelera la estabilidad de la mezcla y mejora la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla No. 200, indicado en la cláusula mencionada.

8.1.2.2 Requisitos de calidad de Mortero Asfáltico.

En la fabricación de Mortero Asfáltico se tomará en cuenta lo siguiente:

- La emulsión asfáltica que se utilice en la fabricación del mortero, será de rompimiento lento.
- El asfalto rebajado que se utilice en la fabricación del mortero, será de fraguado rápido.
- El agua que se utilice para dar la consistencia necesaria al mortero, estará libre de materias extrañas y de sales solubles en cantidades que resulten perjudiciales.
- El proporcionamiento del mortero asfáltico cumplirá con lo establecido en la siguiente Tabla IV.17

Tabla IV.17 Requisitos de proporcionamiento de Morteros Asfálticos.

| COMPONENTES | Contenido en la mezcla en %, respecto a la masa seca del material pétreo |
|--|--|
| Emulsión asfáltica de rompimiento lento. | 18 a 25 % |
| Agua para dar la consistencia necesaria a la mezcla con emulsión asfáltica | 10 a 15 % |
| Asfalto rebajado de fraguado rápido | 14 a 22 % |

- Las características del mortero asfáltico serán tales que, una vez tendido, se estabilice en un periodo comprendido entre una (1) hora y cinco (5) horas.

- En el caso que se indique en proyecto, o previa aprobación, cuando se requiera un material fino (filler) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la cláusula F. de la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, se puede utilizar cemento Pórtland o cal, lo que también acelera la estabilidad de la mezcla y mejora la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla No. 200, indicado en la cláusula mencionada. En el caso que se utilicen emulsiones, solo se podrá añadir filler si así lo indica el proyecto o previa aprobación.

8.1.2.3 Requisitos de calidad para Mezclas Asfálticas por el Sistema de Riegos.

En la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos se tomará en cuenta lo siguiente:

- La emulsión asfáltica que se utilice en la construcción de carpetas por el sistema de riegos será de rompimiento rápido, sin embargo, nunca se utilizará la emulsión tipo ECR-60.
-
- En cada caso, las cantidades de los distintos tipos de materiales pétreos que se empleen, así como las del material asfáltico, serán las establecidas en el proyecto. En términos generales las cantidades de materiales que se utilicen sestarán comprendidas dentro de los límites indicados en la siguiente tabla IV.18

Tabla IV.18 Cantidades de materiales pétreos y asfálticos en mezclas asfálticas por el sistema de riegos.

| MATERIALES ⁽¹⁾ L/m ² | TIPO DE CARPETA | | | | | | | |
|---|-----------------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|---------|
| | Tres riegos | | | Dos riegos | | | Un riego | |
| Cemento asfáltico | 0 | | | -- | | | -- | |
| Material pétreo tipo 1 | 20 - 25 | | | -- | | | -- | |
| Cemento asfáltico | 0.7 - 0.8 | | | 0.7 - 0.8 | | | -- | |
| Material pétreo tipo 2 | 8 - 12 | | | 8 - 12 | | | -- | |
| Cemento asfáltico | 0.7-0.8 | -- | -- | 0.7-0.8 | -- | -- | 0.7-0.8 | -- |
| Material pétreo tipo 3-A | 8 - 10 | -- | -- | 8 - 10 | -- | -- | 8 - 10 | -- |
| Cemento asfáltico | -- | 0.7-0.8 | -- | -- | 0.7-0.8 | -- | -- | -- |
| Material pétreo tipo 3-B | -- | 6 - 8 | -- | -- | 6 - 8 | -- | -- | -- |
| Cemento asfáltico | -- | -- | 0.7-0.8 | -- | -- | 0.7-0.8 | -- | 0.7-0.8 |
| Material pétreo tipo 3-E | -- | -- | 9 - 11 | -- | -- | 9 - 11 | -- | 9 - 11 |

(1) El cemento asfáltico considerado en esta tabla se refiere al que contiene la emulsión o el asfalto rebajado que se utilice. Para calcular la cantidad de emulsión o de asfalto rebajado por aplicar, debe dividirse el valor anotado entre el contenido de cemento que tenga la emulsión o el asfalto rebajado, ambos expresados en litros

8.2 CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

El contratista de obra será el responsable que la mezcla asfáltica producida cumpla con las características y requisitos de calidad indicados anteriormente en las tablas correspondientes, según el tipo de mezcla asfáltica establecida en el proyecto; por lo que deberá entregar un certificado de calidad expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo certificado, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos de calidad solicitados. Las pruebas de laboratorio se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se indica en el Manual M-MMP-4-05-032, Muestreo de Mezclas asfálticas y de acuerdo a los procedimientos de pruebas establecidos en las Normas M-MMP-1, Suelos y Materiales para Terracerías y M-MMP-4, Materiales para Pavimentos, de la Normativa S.C.T.

Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad de la mezcla en la ejecución de la obra, el contratista de obra, por cada 200 m³ o fracción de producción de la mezcla de un mismo tipo, producido en la planta, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con el contenido de asfalto y granulometría del material pétreo, debiendo entregar los resultados de las pruebas de laboratorio, y por cada 2000 m³ de producción de la mezcla, realizará las pruebas necesarias que garanticen que cumple con todos los requisitos de calidad requeridos según el tipo de mezcla de que se trate, entregando los resultados de las pruebas de laboratorio correspondientes.

CAPITULO V

METODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES

PRUEBAS EN MATERIALES PARA TERRACERIAS.

En este capítulo, se establecen los procedimientos de muestreo y métodos de prueba necesarios para el desarrollo de las pruebas de laboratorio, para determinar las características y propiedades de los materiales que conforman la estructura de un camino (terracerías y pavimento) a fin de realizar investigaciones, diseños, construcción, muestreos y control de calidad. Estos procedimientos, en México son normalizados y están establecidos en la Normativa S.C.T.

Los procedimientos de muestreo y métodos de prueba que enseguida se refieren, se presentan contemplando los conceptos básicos en forma breve con el fin de que se tengan bien definidos los conceptos de cada procedimiento de muestreo y el método de cada una de las pruebas especificados en la Normativa SCT.

Los procedimientos de muestreo y métodos de pruebas establecidos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el LIBRO MMP. METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES; Manual M-MMP-1, Suelos y Materiales para terracerías y Manual M-MMP-4, Materiales para Pavimentos, de la Normativa S.C.T.

1. MUESTREO DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS.

El muestreo de suelos y materiales pétreos consiste en obtener de un volumen mayor de material, una porción representativa del mismo que conserve las mismas características de este material; con el que se pretende construir terracerías o bien de materiales que ya forman parte de una estructura. El muestreo incluye las actividades de envase, identificación y transporte de las muestras obtenidas; las cuales se clasifican de la siguiente forma:

A.- Muestras Cúbicas Inalteradas:

Son las que se obtienen conservando su estructura, su porcentaje de vacíos y el contenido de agua natural que tiene el suelo en el lugar donde se toma la muestra, por lo que su obtención, envase y transporte requieren cuidados especiales para no alterarlas; este tipo de muestras generalmente son de forma cúbica de 40 cm por lado y para protegerlas, se recubren con una membrana impermeable hecha con manta de cielo, parafina y brea, con el fin de evitar pérdida de agua durante el transporte y almacenamiento antes de su ensayo en laboratorio.

B.- Muestras Alteradas representativas:

Son las que se obtienen sin mantener su estructura natural y puede ser material disgregado o fragmentado, solo se toman precauciones especiales para conservar el contenido de agua, envasándose en bolsas de plástico u otros recipientes impermeables para impedir la pérdida de agua durante su transporte y almacenamiento. Este tipo de muestras se clasifican en parciales e integrales.

B.1- Muestras parciales:

Son las que están constituidas cada una por el material disgregado o fragmentado de un solo estrato o una muestra por cada estrato que puedan presentarse en el lugar de muestreo.

B.2- Muestras integrales:

Son las que están constituidas por el material disgregado o fragmentado combinado de varios estratos, representados cada muestra por los diferentes materiales que aporte cada estrato en el lugar de muestreo.

1.1 OBTENCIÓN, ENVASE, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS.

Para la obtención, envase, transporte y almacenamiento de cada uno de los tipos de muestras, así como el equipo y materiales que se requieren, se puede consultar ampliamente en el Manual MMP-1-01/03. Muestreo de Materiales para Terracerías, de la Normativa S.C.T.

1.2 TIPO, TAMAÑO Y NÚMERO DE MUESTRAS POR OBTENER.

Según su propósito, el tipo, tamaño y número de muestras, son los indicados en la tabla siguiente:

TABLA V.1 Número y tamaño de las muestras.

| Propósito del muestreo | Tipo y número | Tamaño de las muestras parciales en Kg. |
|---|--|--|
| Determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo a lo largo del trazo de una obra o seleccionar los préstamos y bancos para terracerías | Una muestra representativa de cada estrato en cada pozo a cielo abierto o frente abierto de material | 4 |
| | Una muestra integral por cada pozo a cielo abierto y por cada 150 m ³ de material aprovechable | 50 |
| | Dos muestras integrales de cada frente abierto de material | 20 |
| | Una muestra cúbica inalterada por cada estrato de suelo fino típico, para determinar sus propiedades mecánicas. El número será definido por el responsable del estudio | Lo que pese cada muestra cúbica de 40 cm. por lado |
| Estudio de almacenamientos | Una muestra integral por cada 1000 m ³ de material homogéneo | 20 |
| Control de Calidad | Una muestra integral por cada 300 m ³ de material que se utilice para terraplén o subyacente y por cada 200 m ³ para subrasante | 10 |
| | Una muestra integral por cada 1000 m ³ de material que se utilice para terraplén, por cada 800 m ³ para subyacente y por cada 500 m ³ para subrasante | 50 |

1.3. IDENTIFICACIÓN Y REGISTRO DE MUESTRAS.

Cada muestra se identifica mediante dos etiquetas, una en el interior del envase y una sujeta al exterior. Estas etiquetas serán resistentes al manejo de la muestra y en ellas se anotarán con letra legible los datos siguientes.

- Nombre de la obra.
- Nombre del banco, en su caso.
- Número y ubicación del pozo a cielo abierto o sondeo.
- Localización del sitio de muestreo.
- Número de muestra.
- Tipo de material.
- Profundidad a la que se tomó la muestra.
- Espesor del estrato correspondiente.
- Clasificación de campo.
- Responsable del muestreo.
- Fecha y hora del muestreo.
- Uso a que se destina el material.
- Observaciones.

Cada muestra que se obtenga, se debe registrar en una libreta de campo los siguientes datos:

- a) El nombre de la obra.
- b) El número y ubicación del pozo a cielo abierto o sondeo donde se obtuvo la muestra y en su caso, la elevación media de su borde, así como la profundidad total excavada o perforada y la profundidad del nivel freático cuando exista.
- c) Para la localización del sitio de muestreo, si es necesario, se elabora un croquis de localización.
- d) La profundidad o nivel a la que se obtuvo la muestra, así como el estrato y espesor del mismo suelo a que pertenece.
- e) El número, tipo de la muestra y la fecha en que se tomó.
- f) La clasificación de campo según sean fragmentos de roca o suelos; incluyendo tamaño, forma de las partículas y en su caso Dilatancia, Tenacidad y Resistencia en estado seco.

2. CLASIFICACIÓN DE FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS

Para la Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos, se puede consultar en forma más detallada, en el Manual M-MMP-1-02/03 Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos, de la Normativa S.C.T.

La clasificación de fragmentos de roca y suelos se realiza de acuerdo con pruebas índice realizadas en campo y en laboratorio, las cuales nos permiten estimar algunas propiedades físicas y mecánicas del material y con base en éstas, se determina su tipo.

2.1. CLASIFICACIÓN DE FRAGMENTOS DE ROCA.

Los fragmentos de roca son todos aquellos cuyo tamaño está comprendido entre 7.5 cm. (3") y 200 cm. (2 m). y se identifican por su tamaño, forma, textura superficial y grado de alteración, como se indica en la siguiente tabla:

TABLA V.2 Características de los fragmentos de rocas.

| | |
|--|---------------------------|
| FORMA | Redondeada |
| | Subredondeada |
| | Angulosa |
| | Lajeada |
| | Acicular (Forma de aguja) |
| TEXTURA (Si los fragmentos son francamente porosos se indicará esta característica) | Lisa |
| | Rugosa |
| | Muy rugosa |
| GRADO DE ALTERACIÓN | Sanos |
| | Alterados |
| | Muy alterados |

TABLA V.3. Clasificación de fragmentos de roca

| Tipo | Subtipos | Identificación | Símbolo de grupo |
|--|---|--|------------------|
| FRAGMENTOS DE ROCA (Tamaños mayores de 7.5 cm. y menores de 2 m.) | GRANDES (Mayores de 75 cm. y menores de 2.0 m.) | Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. | Fg |
| | | Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. | Fgm |
| | | Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. | Fgc |
| | | Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos predominando los grandes sobre los medianos y estos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo. | Fgmc |
| | | Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos predominando los grandes sobre los chicos y estos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo. | Fgcm |
| | MEDIANOS (Mayores de 20 cm. y menores de 75 cm.) | Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. | Fm |
| | | Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. | Fmg |
| | | Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo. | Fmc |
| | | Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos predominando los medianos sobre los grandes y estos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo. | Fmgc |
| | | Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes predominando los medianos sobre los chicos y estos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. | Fmcg |
| | CHICOS (Mayores de 7.5 cm. y menores de 20 cm.) | Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. | Fc |
| | | Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. | Fcg |
| | | Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo. | Fcm |
| | | Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y estos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo. | Fcgm |
| | | Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes predominando los chicos sobre los medianos y estos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. | Fcmg |

2.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON BASE EN EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

Los suelos son materiales con partículas de tamaño menor de 7.5 cm. (3"). Se clasifican con base en su composición granulométrica, y en sus características de plasticidad representadas por los límites de consistencia. De acuerdo como se indica en la siguiente tabla V.4,

Los suelos se clasifican como suelos gruesos cuando más del 50 % de sus partículas son de tamaño mayor de 0.075 mm. (malla No. 200) y como suelos finos cuando el 50 % de sus partículas o más, son de tamaño menor.

2.2.1 SUELOS GRUESOS

Los suelos gruesos se clasifican como “grava” cuando más del 50 % de las partículas de la fracción gruesa tienen tamaño mayor que 4.75 mm. (malla No. 4) y como “arena” cuando el 50 % de de las partículas o más de la fracción gruesa, son de tamaño menor.

La grava se identifica con el símbolo “G” (Gravel) y la arena con el símbolo “S” (Sand). Ambas a la vez se subdividen en ocho subgrupos.

➤ **Grava o Arena bien graduada (GW O SW)**

Si el material contiene hasta el 5 % de finos, cuando se trate de una grava cuyo coeficiente de uniformidad (Cu) es mayor de 4 y su coeficiente de curvatura (Cc) este entre 1 y 3, se clasifica como grava bien graduada y se identifica con el símbolo GW.

Cuando se trate de una arena cuyo coeficiente de uniformidad (Cu) es mayor de 6 y su coeficiente de curvatura (Cc) este entre 1 y 3, se clasifica como arena bien graduada y se identifica con el símbolo SW.

➤ **Grava o arena mal graduada (GP o SP)**

Si el material contiene hasta 5 % de finos y sus coeficientes de uniformidad y coeficientes de curvatura (Cu y Cc, respectivamente) no cumplen con lo indicado en el párrafo anterior, se clasifica como grava mal graduada o arena mal graduada, según corresponda y se identifican con los símbolos GP O SP, respectivamente.

➤ **Grava o arena limosa (GM O SM)**

Si el material contiene más del 12 % de finos y estos son limo, se clasifican como grava limosa o arena limosa, según corresponda y se identifican con los símbolos GM O SM, respectivamente.

➤ **Grava o arena arcillosa (GC O SC).**

Si el material contiene más del 12 % de finos y estos son arcilla, se clasifica como grava arcillosa o arena arcillosa, según corresponda y se identifican con los símbolos GC O SC, respectivamente.

➤ **Grava o arena bien graduada limosa (GW-GM o SW-SM).**

Si el material contiene entre 5 y 12 % de finos y estos son limo, cuando se trate de una grava bien graduada, se clasifica como grava bien graduada limosa y se identifica con

el símbolo GW-GM. Cuando se trate de una arena bien graduada, se clasifica como arena bien graduada limosa y se identifica con el símbolo SW- SM.

➤ **Grava o arena mal graduada limosa (GP-GM O SP-SM).**

Si la grava o la arena son mal graduadas, contienen entre 5 y 12 % de finos y estos son limo, se clasifican como grava mal graduada limosa o arena mal graduada limosa, según corresponda y se identifican con los símbolos GP-GM o SP-SM, respectivamente.

➤ **Grava o arena bien graduada arcillosa (GW-GC o SW-SC).**

Si la grava o la arena son bien graduadas, contienen entre 5 y 12 % de finos y estos son arcilla, se clasifican como grava bien graduada arcillosa o arena bien graduada arcillosa, según corresponda y se identifican con los símbolos GW-GC o SW-SC, respectivamente.

➤ **Grava o arena mal graduada arcillosa (GP-GC o SP-SC).**

Si la grava o la arena son mal graduadas, contienen entre 5 y 12 % de finos y estos son arcilla, se clasifican como grava mal graduada arcillosa o arena mal graduada arcillosa, según corresponda y se identifican con los símbolos GP-GC o SP-SC, respectivamente.

2.2.2 SUELOS FINOS.

Los suelos finos se clasifican según sus características de plasticidad, en:

▪ **Limo (M)**

El suelo fino se clasifica como “limo” cuando su límite líquido (w_L) y su índice plástico (I_p) definen un punto ubicado en las zonas I o III de la Carta de Plasticidad que se muestra en la Figura.- 1, y se identifica con el símbolo **M** (del sueco *mo* y *mjala*). Si dicho punto se aloja en la zona I, el material se clasifica como limo de baja compresibilidad y se identifica con el símbolo **ML**; si se ubica en la zona III, se clasifica como limo de alta compresibilidad y se identifica con el símbolo **MH**.

Si el material contiene una cantidad apreciable de materia orgánica y el punto definido por su límite líquido (w_L) y su índice plástico (I_p) se ubica cercano y por debajo de la línea “A” de la Carta de Plasticidad, se clasifica como limo orgánico de baja compresibilidad si su límite líquido (w_L) es menor de 50% y se identifica con el símbolo **OL**, o como limo orgánico de alta compresibilidad si su límite líquido (w_L) es mayor y se identifica con el símbolo **OH**.

- **Arcilla (C)**

El suelo fino se clasifica como “arcilla” cuando su límite líquido (wL) y su índice plástico (Ip) definen un punto ubicado en las zonas II o IV de la Carta de Plasticidad que se muestra en la Figura.- 1, y se identifica con el símbolo C (Clay). Si dicho punto se aloja en la zona I, el material se clasifica como arcilla de baja compresibilidad y se identifica con el símbolo CL, si se ubica en la zona IV, se clasifica como arcilla de alta compresibilidad y se identifica con el símbolo CH.

- **Altamente orgánicos (Pt)**

El suelo fino se clasifica como altamente orgánico cuando se identifica por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa; se le denomina turba y se identifica con el símbolo Pt.

2.2.3 CLASIFICACIÓN DE CAMPO DE LOS SUELOS.

La clasificación de los suelos en campo es aproximada y se hace considerando su granulometría, plasticidad, color y olor, como se indica a continuación:

- **Granulometría.**

Se extiende una muestra seca de material con tamaño menor de 7.5 cm., sobre una superficie plana con el propósito de estimar, en forma aproximada, los porcentajes de los tamaños de las partículas, forma y composición mineralógica. Para distinguir la grava de la arena se usa el tamaño de 5 mm., como equivalente a la malla No. 4 y para los finos basta considerar las partículas menores de la malla No. 200 que son las más pequeñas que pueden distinguirse a simple vista:

TABLA V.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN BASE EN EL SISTEMA SUCS

| Tipo | Subtipos | Identificación | Símbolo |
|---|--|---|---|
| SUELOS (partículas menores de 7.5 cm.) | SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retienen en la malla No. 200 (0.075 mm.) GRAVA Más de la mitad de fracción gruesa se retiene en la malla No. 4 GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas) | Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. | Menos del 5% en masa pasa la malla No. 200 GW |
| | | Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW. | Menos del 5% en masa pasa la malla No. 200 GP |

| | | | | | | |
|--|----------------------------------|--|---|---|--|----|
| SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla No. 200 (0.075 mm.) | LIMO Y ARCILLA Límite líquido | ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla No. 4 | GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) | Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo | Más de 12% en masa pasa malla No. 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH. véase abajo los grupos ML y MH | GM |
| | | | | Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla | Más de 12% en masa pasa malla No. 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CLo CH (véase abajo los grupos CL Y CH) | GC |
| | | | ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas) | Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3 ⁽¹⁾ | Menos del 5% en masa pasa la malla No. 200 | SW |
| | | | | Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW | Menos del 5% en masa pasa la malla No. 200 | SP |
| | | | ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) | Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo | Más de 12% en masa Pasa malla No. 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véase abajo los grupos ML Y MH) | SM |
| | | | | Arena arcillosa; mezcla de arena, grava y arcilla | Más de 12% en masa Pasa malla No. 200 y Las pruebas de límites De consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véase abajo los grupos) | SC |
| | | Menor de 50% | Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad (Figura.-1) | ML | | |
| | | | Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava; Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad (Figura.-1) | CL | | |
| | | | Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad (Figura.-1) | OL | | |
| | | | Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava; Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad (Figura.-1) | MH | | |
| | | Mayor de 50% | Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava, Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad (Figura.- 1) | CH | | |

| | | | | |
|--|---------------------|--|---|----|
| | | | Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad (FIGURA.-1) | OH |
| | ALTAMENTE ORGÁNICOS | | Turba; fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa. | Pt |

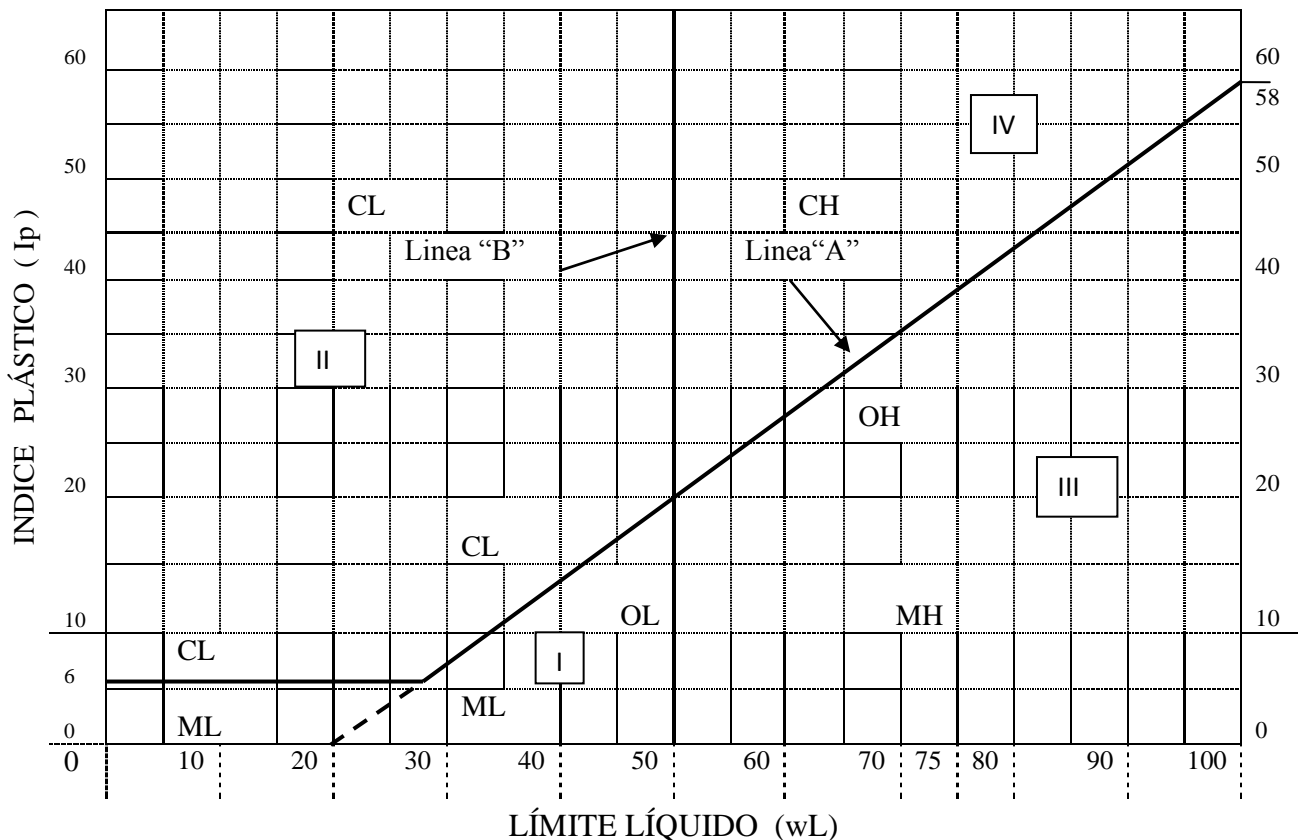
(1) Los coeficientes de uniformidad (Cu) y de curvatura (Cc) que se utilizan para determinar la Graduación de los suelos GW,GP,SW Y SP están dados por las siguientes expresiones.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu) Y COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde: D₁₀, D₃₀ y D₆₀ son los tamaños de las partículas para el cual el 10, 30 y 60 %, en masa del material es menor que estos tamaños, respectivamente, determinados gráficamente de la curva granulométrica como se indica en el manual M-MMP-1-06, Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías.

FIGURA 1.V - CARTA DE PLÁSTICIDAD



- **Dilatancia.**

1. De la fracción que pasa la malla No. 40 se toma una porción de aproximadamente 10 cm³ y se deposita en la mano donde se le agrega agua en cantidad tal que, al amasarla se obtenga una mezcla de consistencia suave que no presente flujo. Si al efectuar esta operación se excede la cantidad de agua agregada, la mezcla se extiende en la mano y se forma con ella una capa delgada que permita la pérdida por evaporación del exceso de agua.
2. Una vez que la mezcla ha obtenido la consistencia deseada, se forma con ella una pastilla sobre la mano.
3. Con la palma de la mano ligeramente contraída se sujeta suavemente la pastilla y se sacude con dirección horizontal, golpeando varias veces y en forma vigorosa la mano que la contiene contra la otra mano, a fin de provocar la salida del agua a la superficie de la pastilla, lo cual queda de manifiesto cuando dicha superficie toma una apariencia lustrosa, al ocurrir esto se presiona ligeramente la pastilla con los dedos para provocar que el agua desaparezca de la superficie y esta pierda su lustre.
4. Se estima la rapidez con que la superficie de la pastilla toma la apariencia lustrosa al golpear, así como la rapidez con que desaparece ese lustre al presionarla. Se reporta la dilatancia como: Rápida, Lenta o Nula.

Una dilatancia rápida es típica de arena fina y de arena limosa (SM) no plástica, así como de algunos limos inorgánicos (ML). Una dilatancia extremadamente lenta o nula es típica de la arcilla (CL o CH).

- **Tenacidad.**

- a) De la pastilla que se refiere el punto 2.- anterior, se toma una porción y se rola en la mano hasta formar un pequeño rollo de aproximadamente 3mm. de diámetro. Se reamasa el material y se forma nuevamente el rollo, repitiendo esta operación varias veces para que el material pierda el exceso de agua y el rollo se fragmente, lo que indica que el suelo ha alcanzado un contenido de agua similar al límite plástico (wp).
- b) Se estima el tiempo necesario para que el material alcance el contenido de agua correspondiente al límite plástico, así como la resistencia que opone a ser comprimido el rollo. La tenacidad se reporta como:
 - Nula (Tiempo corto y resistencia muy pequeña).
 - Media (Tiempo medio y resistencia media).
 - Alta (Tiempo largo y resistencia alta).

La tenacidad alta es típica de arcilla (CL o CH), mientras más alta sea la tenacidad, el material será más compresible. Una tenacidad media o nula es típica de limo y limo orgánico.

- **Resistencia en estado seco**

- De la fracción que pasa la malla No. 40 se toma una porción de material y se forma una pastilla de aproximadamente 4 cm. de diámetro y 1 cm. de espesor.
- La pastilla se pone a secar para que pierda lentamente su contenido de agua, hasta que se aprecie visiblemente seca; posteriormente se rompe y se desmorona con los dedos. Si al romper la pastilla se observa que aun contiene agua, se continúa con el secado del material y posteriormente se rompen y desmoronan las fracciones.
- Se estima la dificultad que presente la pastilla a romperse y desmoronarse; de acuerdo con lo anterior se reporta la resistencia en estado seco como: **Nula, Media o alta.**
- Una alta resistencia en estado seco es característica de una arcilla de alta compresibilidad (CH). Una resistencia en estado seco nula es típica de un limo (ML o MH).

- **Color**

El color del suelo es un dato útil para diferenciar los distintos estratos y para identificar tipos de suelo, cuando se tiene experiencia. Existen algunos criterios relativos al color, por ejemplo el color oscuro suele ser indicativo de la presencia de materia orgánica o de su naturaleza básica (ferromagnesianos), y los colores claros y brillantes son más bien propios de suelos ácidos (sílices).

- **Olor**

Los suelos orgánicos (OL y OH) tienen por lo general un olor distintivo, que puede usarse para su identificación. El olor es particularmente intenso si el suelo está húmedo y disminuye con la exposición al aire, aumentando por el contrario, con el calentamiento de la muestra húmeda. Los suelos altamente orgánicos (turba) prenden estando secos.

2.2.4 **CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES SEGÚN LA POSIBILIDAD DE SER CONTROLADOS MEDIANTE PRUEBAS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO.**

Para fines de la formación de terraplenes, los materiales que se empleen en la construcción de los mismos, se clasificarán como:

- **COMPACTABLES.-** Son los materiales susceptibles de controlar su compactación con equipo de laboratorio, tales como los fragmentos de roca muy alterados que se disgregan, areniscas blandas y suelos que se refieren en la tabla V.4 anterior, siempre y cuando, después de compactados, contengan como máximo 20 % de fragmentos de roca chicos, con respecto al volumen total y de esta fracción solo el 5 % sean mayores de 15 cm.

- **NO COMPACTABLES.-** Son aquellos materiales que no cumplen con las condiciones anteriores

Para saber si un material es compactable, se someterá a la prueba que se describe a continuación:

Procedimiento de prueba:

- 1.- Se tiende una capa del espesor que permita el tamaño máximo del material pero no menor de 30 cm., en todo el ancho del terraplén y 20 m. de longitud.
- 2.- Se riega agua sobre la capa en cantidad aproximada a 100 L/m³ de material.
- 3.- Se somete la capa regada con agua, al tránsito de un tractor de orugas con peso de 20 toneladas, pasando 3 veces por cada punto de la superficie (3 pasadas).
- 4.- Se excavan 3 pozos a cielo abierto en los 20 cm. superiores de la capa con un volumen aproximado de 0.5 m³ cada uno, realizados a cada 5 m. de separación intercalados en los lados izquierdo, centro y derecho, del carril, y se extiende el material sobre la superficie para estimar el porcentaje de fragmentos de roca.
- 5.- Si el material producto de cada pozo contiene como máximo 20 % en volumen, de material retenido en la malla de 75 mm. (3") y de esta fracción los fragmentos son chicos y menos de 5 % quedan comprendidos entre el 15 y 20 cm., el material es compactable.
- 6.- Para los cálculos anteriores se toma el promedio de los resultados obtenidos de los tres Pozos realizados.

3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA POR MEDIO DEL SECADO, DISGREGADO Y CUARTEO.

En este inciso se describen los conceptos básicos de los métodos de prueba de laboratorio para realizar el secado, disgregado y cuarteo de las muestras. Los procedimientos de pruebas establecidos en estos métodos se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-1-03/03, Secado, Disgregado y Cuarteo de muestras, de la Normativa, SCT.

Estos procedimientos de pruebas, permiten la preparación de las muestras representativas de los materiales para terracerías y/o pavimentos, mediante su secado, disgregado y cuarteo, con el propósito de obtener las porciones representativas para efectuar las pruebas de laboratorio necesarias. Debe recordarse que dicha representatividad puede perderse en algunos de los suelos, especialmente en los finos estructurados, al secárseles en el laboratorio, por lo que en estos casos se evitará su secado.

3.1 SECADO

El secado se realiza con el objeto de facilitar la disgregación y manejo de las muestras, cuando su contenido de agua es tal, que no se puede disgregar fácilmente. Este procedimiento puede realizarse exponiendo la muestra extendida al aire o al sol a temperatura ambiente o utilizando un horno, introduciendo la muestra en una charola y manteniendo la temperatura a 60 ± 5 °C.

3.2. DISGREGADO.

Una vez secada la muestra, el disgregado se realiza con el objeto de separar las diferentes partículas aglomeradas que constituyen la muestra. Esta operación es fácil si se trata de materiales granulares con pocos finos y poco plásticos. La disgregación de la muestra se efectuará sin romper las partículas duras, llevándose a un grado tal que permita reproducir en lo posible las condiciones de utilización del material en el campo.

3.3. CUARTEO

Una vez secada y disgregada la muestra, se realiza el cuarteo con el objeto de obtener de una muestra, porciones representativas de tamaño adecuado para efectuar las pruebas de laboratorio que se requiera. Este procedimiento puede realizarse manualmente utilizando una lona y una pala, o por medio de un cuarteador de muestras.

4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EN LOS MATERIALES

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba de laboratorio para determinar el contenido de agua en los materiales. El procedimiento de prueba establecido en este método, se encuentran explicado ampliamente y detallado en el Manual M-MMP-1-04/03, Contenido de Agua, de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba permite determinar el contenido de agua en los materiales, con el fin de obtener una idea cualitativa de su consistencia o de su probable comportamiento. La prueba consiste en secar una muestra de material en el horno y determinar el porcentaje de la masa del agua, con relación a la masa de los sólidos.

Este procedimiento se puede realizar en forma estándar, previamente pesada la muestra (P1), se introduce la muestra en el horno, manteniendo se a una temperatura constante de 105 ± 5 °C hasta obtener una masa constante. Una vez secada la muestra se saca del horno y se pesa (P2). Se calcula el contenido de agua en porcentaje. De la manera siguiente:

$$w = \frac{P1 - P2}{P2} \times 100$$

En donde:

w = contenido de agua en porciento.

P1= Peso de la muestra sin secar.

P2= Peso de la muestra seca.

Esta prueba puede realizarse de forma rápida, procediendo al secado de la muestra, colocando una charola con la muestra en una estufa de flama abierta para su secado y previamente tomado el peso de la muestra húmeda y posteriormente al secado; determinar el peso de la muestra seca y se calcula el contenido de agua como se expreso en la formula anterior.

5. DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES RELATIVAS Y ABSORCIÓN

En este inciso se describen los conceptos básicos de los métodos de prueba de laboratorio para determinar las densidades relativas del material seco, del material saturado y superficialmente seco y de sólidos, así como la absorción de agua de los materiales para terracerías. Los procedimientos de prueba establecidos en estos métodos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-1-05/03, Densidades Relativas y Absorción, de la Normativa de la S.C.T.

Estos procedimientos permiten determinar las relaciones masa-volumen de los materiales, respecto a la relación masa-volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o mezcla de materiales en sus diferente condiciones de contenido de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en sus poros, con respecto a su condición en estado seco; las pruebas se realizan de distinta manera en la fracción del material en la Malla No. 4 (4.75 mm.) y en la porción que pasa dicha malla.

5.1. DENSIDAD RELATIVA DEL MATERIAL SECO.

La densidad relativa del material seco, es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica del material seco a la temperatura del lugar, y la masa volumétrica del agua destilada a 4 °C, ambas a la presión barométrica del lugar.

$$S_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_o}$$

En donde:

S_d = Densidad relativa del material seco, (adimensional).

γ_d = Masa volumétrica del material seco, (Kg/m³).

γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a 4 °C, (Kg/m³).

En la práctica, en lugar de γ_o que es igual a 1 g/cm^3 (1000 Kg/m^3), se emplea la masa volumétrica del agua en las mismas condiciones de temperatura y presión barométrica de la muestra, para determinar la densidad relativa del material húmedo, por ser aproximadamente iguales, así como para determinar todas las densidades relativas a que se refiere este inciso.

5.2. DENSIDAD RELATIVA DEL MATERIAL SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO.

La densidad relativa del material saturado y superficialmente seco (γ_{sat}), es un número abstracto que representa la relación, entre la masa volumétrica del material saturado a la temperatura del lugar, y la masa volumétrica del agua destilada a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, ambas a la presión barométrica del lugar.

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_o}$$

En Donde:

S_{sat} = Densidad relativa del material saturado y superficialmente seco
(adimensional)

γ_{sat} = Masa volumétrica del material saturado y superficialmente seco (Kg/m^3).

γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, (Kg/m^3).

5.3. DENSIDAD RELATIVA DE SÓLIDOS, (FASE SÓLIDA DEL MATERIAL).

La densidad relativa de sólidos, es decir, de la fase sólida del material, (S_s), es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica del la fase sólida del material a la temperatura del lugar y la masa volumétrica del agua destilada a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, ambas a la presión barométrica del lugar.

$$S_s = \frac{\gamma_{\text{sol}}}{\gamma_o}$$

En Donde:

S_s = Densidad relativa de sólidos, es decir, de la fase sólida del material,
(adimensional)

γ_{sol} = Masa volumétrica del la fase sólida del material, (Kg/m^3).

γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, (Kg/m^3).

5.4. ABSORCIÓN DEL MATERIAL.

La absorción del material es la masa del agua o líquido que penetra en los espacios entre las partículas de un suelo y en las oquedades de las partículas gruesas, cuando se le deja sumergido en agua a una temperatura de 15 a 25 ° C, durante 24 horas; se expresa en por ciento con relación a la masa sólida del material.

La absorción del material se determina con la siguiente expresión:

$$W_{ab} = \frac{W_{sat} - W_s}{W_s} \times 100$$

En Donde:

W_{ab} = Absorción del material, (%).

W_{sat} = Masa del suelo no cohesivo, saturado y superficialmente seco, (g).

W_s = Masa del material secado al horno, (g).

6. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE MATERIALES COMPACTABLES PARA TERRACERÍAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos de los métodos de pruebas de laboratorio estándar y modificado, para obtener la granulometría de los materiales compactables para terracerías. Los procedimientos de prueba establecidos en estos métodos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-1-06/03, Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías, de la Normativa SCT.

Estos procedimientos permiten determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas que integran los materiales empleados para terracerías, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así obtener la masa que se retiene en cada malla, calculando su porcentaje respecto al total de la masa de la muestra y determinar el porcentaje de la masa que pasa.

6.1 CALCULO DE LOS PORCENTAJES RETENIDOS DEL MATERIAL, ENTRE LAS MALLAS No.4 Y MALLA No, 75.0 Y ENTRE MALLA No. 200 Y MALLA No. 10, Y DEL QUE PASA LA MALLA No. 200.

Para el cálculo de los porcentajes retenidos, se pesa cada una de las fracciones parciales de material retenido en cada una de las mallas entre las mallas No. 4.75 mm. (No. 4) a la No75.0 mm.(3”), así mismo el peso de cada una de las fracciones parciales de material retenido en cada una de las mallas entre las mallas 0.075 mm.

(No. 200) a la malla 2.0 mm. (No. 10), obteniendo también el peso del material que pasa la malla No. 200.

Posteriormente se obtiene el por ciento de cada una de las fracciones retenidas respecto al total de la masa de la muestra y la fracción que pasa la malla No. 200, mediante la siguiente expresión:

$$R_i (\%) = \frac{W_i}{W_d} \times 100$$

En Donde:

R_i = Retenido parcial en la malla i con relación a la masa total de la muestra original, en %, con aproximación de 0.1 %.

W_i = Masa del material retenido en la malla i en gramos (g).

i = Designación de la malla utilizada, que va desde la de 3" hasta la malla No. 4, así como de la No. 10 hasta la malla No. 200,

W_d = Masa total del material seco de la muestra.

6.2 CALCULO DE LOS PORCENTAJES DEL MATERIAL QUE PASA EN CADA UNA DE LAS MALLAS, ENTRE LAS MALLAS No.75.0 mm HASTA LA MALLA No. 200.

Para el cálculo del material que pasa cada malla incluyendo la No. 200, se procede de la siguiente manera:

Se le resta al 100 %, que es el total de la masa de la muestra representativa expresada como porcentaje, el porcentaje de retenido parcial correspondiente a la malla de mayor tamaño empleada, con el fin de calcular la cantidad de material que pasa dicha malla, posteriormente, al valor antes obtenido, se le resta el retenido parcial (en %) en la malla subsecuente, y así sucesivamente hasta llegar a la malla No. 200, con lo cual se van calculando los porcentajes que pasan. Lo que se puede expresar como:

$$P_i (\%) = P_{i+1} (\%) - W_i (\%)$$

En Donde:

$P_i (\%)$ = Material que pasa a través de la malla i con relación a la muestra original, en (%), con aproximación de 0.1 %.

P_{i+1} = Material que pasa a través de la malla inmediata superior, es decir la malla $i+1$, con relación a la muestra original, (%).

$W_i (\%)$ = Retenido parcial en la malla i con relación a la muestra original, obtenido como se indico anteriormente, dependiendo del tamaño de la malla, (%).

i = Designación de la malla utilizada, que en este caso va desde la malla de 3" hasta la malla No. 200.

6.3 GRAFICA DE PORCENTAJES QUE PASAN CADA UNA DE LAS MALLAS

Con los datos obtenidos anteriores de los porcentajes que pasan parciales, de cada una de las malla utilizadas, se dibuja sobre un sistema de ejes coordenados la curva granulométrica del material, marcando las aberturas nominales de las mallas, en escala logarítmica sobre el eje de las abscisas y los porcentajes de material que pasa cada malla, sobre eje de las ordenadas, formando un trazo suave y continuo en la unión de todos los puntos graficados.

7. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS MATERIALES COMPACTABLES PARA TERRACERÍAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba de laboratorio para determinar los límites de consistencia de los materiales para terracerías. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-1-07/07, Límites de Consistencia, de la Normativa de la S.C.T.

Estas pruebas permiten conocer las características de plasticidad de la porción de los materiales para terracerías que pasan la malla No. 40 (0.425 mm.), empleando básicamente la Copa de Casagrande, cuyos resultados se utilizan principalmente para la identificación y clasificación de los suelos.

Las pruebas consisten en determinar el límite líquido, es decir el contenido de agua para el cual un suelo plástico adquiere una resistencia al corte de 2.45 KPa (25 g/cm²); éste se considera como la frontera entre los estados semilíquido y plástico. El límite Plástico o el contenido de agua para el cual un rollito se rompe en tres partes al alcanzar un diámetro de 3 mm., éste se considera como la frontera entre los estados plástico y semisólido. El índice plástico se calcula como la diferencia entre los límites líquido y plástico.

8. DETERMINACIÓN DE MASAS VOLUMÉTRICAS Y COEFICIENTES DE VARIACIÓN VOLUMÉTRICA.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba de laboratorio para determinar las masas volumétricas, así como los coeficientes de variación volumétrica al pasar de un estado a otro, de los materiales para terracerías. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-1-08/03, Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica, de la Normativa SCT.

Estas pruebas permiten determinar las masas volumétricas en los materiales para terracerías, es decir, las relaciones masa-volumen en diferentes estados o condiciones de acomodo de las partículas del material, ya sean naturales o artificiales, así como los coeficientes de variación volumétrica al pasar de un estado a otro.

8.1 DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL HÚMEDO EN ESTADO SUELTO.

La determinación de la masa volumétrica del material húmedo en estado suelto, tiene como función calcular los volúmenes que éste ocupará en ciertas condiciones durante su manejo en el campo. Esta masa volumétrica es variable para un mismo material de acuerdo con el acomodo que adopten sus partículas sólidas, dependiendo de diversos factores, tales como el sistema de carga, el medio de transporte, tipo y altura de almacenamiento, entre otros. Para que la masa volumétrica determinada de un material húmedo en estado suelto, sea representativa del caso que se estudia, deberá colocarse en las condiciones reales de trabajo o de almacenamiento en que se encuentre.

Durante la determinación de la masa volumétrica del material húmedo en estado suelto en el campo, deberá tratarse de reproducir las condiciones reales de trabajo, por lo que el procedimiento que se aplique para medir la masa y el volumen del material en estudio, dependerá del tipo de recipiente y de la forma de llenarlo; así por ejemplo, para efectos de acarreo, será necesario medir la masa del material depositándolo en la caja del camión, con el equipo de carga que se vaya a utilizar en la obra, determinando su masa total en una báscula para vehículos y calculando el volumen de la caja por medición directa; si no se dispone de la báscula, se calcula obteniendo la masa del material de una muestra tomada en las condiciones del camión y el volumen de la caja

8.2 DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO SUELTO.

La determinación de la masa volumétrica seca del material en estado suelto, consiste en obtener la relación entre la masa de los sólidos del material y el volumen total del mismo, una vez que la masa de la muestra ha sido corregida considerando el contenido de agua.

8.3 DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DE LA PARAFINA, EN MUESTRAS INALTERADAS.

Este método sirve para determinar la masa volumétrica seca del material en estado natural. Esta masa volumétrica es la que corresponde a la condición que tienen los materiales y en general, es la que se refiere al terreno natural sin haber sido removido. La prueba se realiza en muestras inalteradas extraídas de materiales cohesivos suaves, que pueden labrarse sin que se disgreguen y cuyas partículas tengan un tamaño máximo inferior a la malla No. 4 (4.75 mm.).

8.4 DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DE ESPECÍMENES LABRADOS, EN MUESTRAS INALTERADAS.

Este método sirve para determinar la masa volumétrica seca del material en estado natural o en estado compacto. La prueba se realiza en muestras inalteradas, ya sea en estado natural o en estado artificial, extraídas de materiales cohesivos suaves, que pueden labrarse sin que se disgreguen y cuyas partículas tengan un tamaño máximo inferior a la malla No. 4 (4.75 mm.). Los especímenes utilizados en esta prueba en general se pueden aprovechar posteriormente en otras pruebas.

8.5 DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DEL AGUA

Este método se aplica a los materiales de los que no se pueden extraer muestras inalteradas o con partículas de tamaño mayor que la malla No. 4 (4.75 mm.), incluso con fragmentos de roca, cuando éstos están formado capas o estratos de más de 40 cm. de espesor, ya sean en estado natural cuando el acomodo que tienen sus partículas es consecuencia de un proceso de la naturaleza o bien en estado compacto, cuando las partículas sólidas que lo constituyen han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación. Este método se utiliza en la determinación de los coeficientes de variación volumétrica.

8.6 DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DE LA TROMPA Y ARENA.

Este método se aplica a materiales que contengan partículas de tamaño mayor que la malla de $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm.), incluso con fragmentos de roca o de los que no se pueden extraer muestras inalteradas, ya sea en estado natural, cuando el acomodo que tienen sus partículas es consecuencia de de un proceso de la naturaleza o bien en estado compacto, cuando las partículas sólidas que lo constituyen han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación. Este método se utiliza en la determinación de los coeficientes de variación volumétrica y del grado de compactación; empleando un dispositivo (trompa y arena) para colocar la arena, que consiste en un recipiente de forma cilíndrica, con fondo cónico y una extensión de tubo metálico flexible.

8.7 DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA.

Este método se aplica a materiales en estado natural, cuando el acomodo que tienen sus partículas es consecuencia de un proceso de la naturaleza o bien en estado compacto, cuando las partículas sólidas que lo constituyen han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación, pero que no contengan fragmentos de roca. Este método se utiliza en la determinación de los coeficientes de

variación volumétrica y del grado de compactación empleando principalmente un dispositivo que consiste en un Cono y frasco para arena.

8.8 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL.

Los coeficientes de variación volumétrica se obtienen mediante la relación de las masas volumétricas del material bajo diferentes condiciones de estructura y acomodo, previo a su determinación se deberá contar, como datos, con dichas masas volumétricas, calculadas de acuerdo con lo señalado en alguno o algunos de los procedimientos indicados en los párrafos anteriores.

9. DETERMINACIÓN DE LA COMPACTACIÓN AASHTO

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba de compactación AASHTO estándar (AASHTO T 99-95) Y AASHTO modificada (AASHTO T 180-95) para determinar mediante la curva de compactación, la masa volumétrica seca máxima y el contenido de agua óptimo de los materiales para terracerías. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-1-09/06, Compactación AASHTO, de la Normativa SCT.

Estas pruebas permiten determinar las masas volumétricas en los materiales para terracerías y a partir de ésta inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo. Consiste en determinar las masas volumétricas secas de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica y graficando los puntos correspondientes a cada determinación, trazar la curva de compactación del material.

En la siguiente Tabla V.5 se indican las diferentes características que presentan los métodos de compactación, AASHTO estándar y AASHTO modificada; para la elaboración de los especímenes de prueba.

Tabla V.5 Características para las pruebas de compactación AASHTO.

| C CARACTERÍSTICAS | TIPO DE PRUEBA | | | |
|--|------------------|-------------|-----------------|-------------|
| | ESTÁNDAR | | MODIFICADA | |
| Masa del pisón, Kg | 2.5 ± 0.01 | | 4.54 ± 0.01 | |
| Diámetro del pisón, mm. | 50.8 | | 50.8 | |
| Altura de caída del pisón | 30.5 ± 0.1 | | 45.7 ± 0.1 | |
| Número de capas del material | 3 | | 5 | |
| CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIANTES DE LAS PRUEBAS DE COMPACTACIÓN. | | | | |
| VARIANTES | A | B | C | D |
| Tamaño máx., del material, mm. | 4.75 mm. (No. 4) | | 19.0 mm. (3/4") | |
| Tamaño de la muestra de prueba | 4.0 Kg | 7.5 Kg | 4.0 Kg | 7.5 Kg |
| Diámetro interior del molde, mm. | 101.6 ± 0.4 | 152.4 ± 0.7 | 101.6 ± 0.4 | 152.4 ± 0.7 |
| Número de golpes por capa | 25 | 56 | 25 | 56 |

9.1 VARIANTES DE LAS PRUEBAS AASHTO

1. Variante A, que se aplica a materiales que pasan la malla No. 4 (4.75 mm.) y se compactan en el molde de 101.6 mm. de diámetro.
2. Variante B, que se aplica a materiales que pasan la malla No. 4 (4.75 mm.) y se compactan en el molde de 152.4 mm. de diámetro.
3. Variante C, que se aplica a materiales que pasan la malla $\frac{3}{4}$ " (19 mm.) y se compactan en el molde de 101.6 mm. de diámetro.
4. Variante D, que se aplica a materiales que pasan la malla $\frac{3}{4}$ " (19 mm.) y se compactan en el molde de 152.4 mm. de diámetro.

10. DETERMINACIÓN DEL VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) Y EXPANSIÓN (EXP) EN EL LABORATORIO.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar el Valor Soporte de California (CBR), también conocido como Valor Relativo de Soporte (VRS), así como la Expansión (Exp), de los materiales para terracerías. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-1-11/08, Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio, de la Normativa SCT.

Esta prueba permiten determinar la expansión (Exp) originada por saturación de los materiales para terraplén, subyacente y sub-rasante, así como el Valor Soporte de California (CBR) en especímenes compactados dinámicamente, para verificar que cumplan respectivamente con los valores especificados en las normas de calidad correspondientes a cada tipo de material para terracerías.

La prueba consiste en compactar dinámicamente tres especímenes del material bajo estudio, con diferentes energías de compactación y un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m. de profundidad; someter a cada espécimen a un proceso de saturación para obtener su cambio volumétrico, y una vez saturado, introducir en él un pistón de penetración de acero, con el propósito de cuantificar las cargas necesarias para lograr magnitudes de penetración específica.

La expansión (Exp) de cada espécimen es la relación en porcentaje del incremento de su altura debido a la saturación, entre su altura original y la menor relación en porcentaje de las cargas aplicadas para producir penetraciones de 2.54 mm. y 5.08 mm., entre las cargas de referencia de 13.34 kN (1360 Kg) y 20.01 kN (2040 Kg) respectivamente, es su correspondiente Valor Soporte de California (CBR).

Con los datos obtenidos de los tres especímenes, se estima la expansión (Exp) y el Valor Soporte de California (CRB) que tendría el material compactado al grado de compactación especificado para cada tipo de material para terraplén, sub-yacente y sub-rasante, según sea el caso, con el contenido de agua mencionado.

PRUEBAS EN MATERIALES PÉTREOS PARA PAVIMENTOS.

Los procedimientos de muestreo y métodos de prueba que enseguida se refieren, se presentan contemplando los conceptos básicos en forma breve con el fin de que se tengan bien definidos los conceptos de cada procedimiento de muestreo y el método de cada una de las pruebas especificados en la Normativa SCT.

A. MUESTREO DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos de los métodos de prueba para la obtención de muestras de los materiales pétreos para mezclas asfálticas, con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa SCT.

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del volumen del material pétreo en estudio. Se realiza directamente en los bancos de explotación, en almacenes de materiales, o durante las maniobras de carga y descarga. El muestreo incluye además las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-001/02, Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Se realizará el muestreo de los bancos y de cada lote de producción, del material enviado al camino e incluso de los almacenes, en forma sistemática seleccionando de manera objetiva y aleatoria el material para determinar sus características, considerando lo establecido en el Manual M-CAL-1-02, Criterios Estadísticos de Muestreo.

A.1 TIPO, TAMAÑO Y FRECUENCIA DE MUESTREO

El tamaño de las muestras parciales, su número y frecuencia serán para cada tipo de muestreo, los establecidos en la Tabla V.6 siguiente:

Tabla V.6 Tipo, número de muestras, frecuencia y tamaño de la muestra.

| TIPO | NÚMERO Y FRECUENCIA | Tamaño de las muestras parciales ⁽¹⁾ |
|----------------------------|--|---|
| Explotación de bancos | Una muestra por sondeo por cada 20,000 m ³ de material homogéneo ⁽²⁾ | 20 Kg |
| | Una muestra por sondeo por cada 5,000 m ³ de material heterogéneo | |
| Estudio de bancos | Una muestra por sondeo por cada 10,000 m ³ de material homogéneo ⁽¹⁾ | 50 Kg |
| | Una muestra por sondeo por cada 2,500 m ³ de material heterogéneo | |
| Estudio de almacenamientos | Una muestra por cada 4,00 m ³ de material | 20 Kg |
| Control de Calidad | Una muestra por cada 250 m ³ de material | 5 Kg |
| | Una muestra por cada 2,500 m ³ de material | 40 Kg |

(1) Cuando el banco presenta diversos estratos con materiales diferentes, será necesario tomar una muestra integrada en la que queden representados cada uno de los estratos y la porción en la que participan.

(2) El material se considera homogéneo cuando visiblemente sus características de color y tamaño no presenten variaciones significativas.

A.2 REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

Para mejorar la representatividad de la muestra, es conveniente obtener en el banco muestras de mucho mayor tamaño para luego reducirlas a la cantidad indicada en la tabla V.6 anterior, para cada caso mediante cuarteo.

B. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar la granulometría de los materiales pétreos para mezclas asfálticas, con el fin de verificar que se cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-002/02, Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, también de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba permite determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas del material pétreo empleado en mezclas asfálticas, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así poder obtener la masa que se retiene en cada malla, y calcular su porcentaje respecto al total de la masa de la muestra y definir la masa que pasa en cada malla empleada.

Este procedimiento de prueba requiere de un juego de mallas con aberturas determinadas como se indica en las tablas V.7 y V.8 siguientes:

Tabla V.7 Juego de mallas para gravas.

| DESIGNACIÓN | ABERTURA EN mm. |
|-------------|-----------------|
| 2" | 50 |
| 1 1/2" | 37.5 |
| 1 1/4" | 31.5 |
| 1" | 25.0 |
| 3/4" | 19.0 |
| 1/2" | 12.5 |
| 3/8" | 9.5 |
| 1/4" | 6.3 |
| No. 4 | 4.75 |

Tabla V.8 Juego de mallas para arena con finos.

| DESIGNACIÓN | ABERTURA EN mm. |
|-------------|-----------------|
| No. 10 | 2.0 |
| No. 20 | 0.85 |
| No. 40 | 0.425 |
| No. 60 | 0.250 |
| No. 100 | 0.150 |
| No. 200 | 0.075 |

Dependiendo del tipo de mezcla asfáltica donde se emplearán los materiales pétreos, se determina cuales son las mallas por usarse durante el cribado. Dichas mallas se preparan en dos juegos, el primero para la grava y el segundo para la arena y finos, ensamblándolas en orden descendente de aberturas, terminando en el fondo con la charola areceptora.

C. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar la densidad relativa en condición seca de los materiales pétreos para mezclas asfálticas, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa SCT., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas

Asfálticas. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-003/02, Densidad Relativa de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba permite determinar la densidad relativa de los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas, con el fin de conocer la masa de sólidos por unidad de volumen de dichos sólidos sin vacíos en cada una de sus fracciones, ya sea arena con finos o grava, respecto a la densidad del agua.

La prueba para la arena con finos, una vez separada de la grava, consiste en eliminar el aire atrapado en la muestra de prueba, al estar sumergida totalmente en agua destilada en ebullición, para obtener su densidad relativa.

Para la grava, una vez separada de la arena con finos, la prueba consiste en introducir la muestra de prueba (saturada y superficialmente seca) en un depósito con agua destilada, para determinar el volumen que desplaza, para después, al comparar con dicho volumen la masa seca de la muestra de prueba, obtener su masa por unidad de volumen y finalmente compararla con la densidad del agua, para obtener su densidad relativa.

D. DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar el equivalente de arena de los materiales pétreos para mezclas asfálticas, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa de la S.C.T., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-004/02, Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba permite determinar el contenido y actividad de los materiales finos o arcillosos presentes en los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en agitar una probeta graduada, que contiene una muestra del material pétreo que pasa la malla No. 4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla, durante el proceso de decantación y así poder determinar la proporción relativa de material fino arcilloso o polvos finos plásticos en agregados finos que pasen a través de la malla 4.75 mm. (No. 4).

E. DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS ALARGADAS Y LAJEADAS, DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar la cantidad de partículas alargadas y lajeadas de los materiales pétreos para

mezclas asfálticas, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa de la S.C.T., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-005/08, Partículas Alargadas y Lajeadas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba permite determinar el contenido de partículas de formas alargada y lajeada presentes en los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en separar el retenido en la malla No. 4 de una muestra de materiales pétreos, para determinar la forma de cada partícula, empleando calibradores de espesores y de longitudes.

F. DETERMINACIÓN DEL DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DE LOS ÁNGELES, DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar mediante la máquina de Los Ángeles, la resistencia a la trituración de los materiales pétreos para mezclas asfálticas, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa de la S.C.T., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-006/02, Desgaste Mediante la Prueba de los Ángeles, de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba tiene por objeto determinar la resistencia a la trituración de los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en colocar una muestra del material seco, con características granulométricas específicas, dentro de un cilindro giratorio, en donde es sometida al impacto de esferas metálicas durante un tiempo determinado, midiendo la variación granulométrica de la muestra como la diferencia entre la masa que pasa la malla No. 12 (1.7 mm), antes y después de haber sido sometida a este tratamiento.

Las características granulométricas para la integración de la muestra de prueba se compondrán de acuerdo a la granulometría del material pétreo, como se indica en la tabla V.9 siguiente:

Tabla V.9 Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas.

| Tipo de Composición De la muestra de prueba | RANGO DE TAMAÑOS | | Masa de la fracción en gramos (g) | CARGA ABRASIVA | |
|---|------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| | mm. | Designación | | Número de esferas a emplear | Masa total En gramos (g) |
| A | 37.5 - 25 | 1 ½” - 1” | 1250 ± 25 | 12 | 5000 ± 25 |
| | 25 - 19 | 1” - ¾” | 1250 ± 25 | | |
| | 19 - 12.5 | ¾” - ½” | 1250 ± 10 | | |
| | 12.5 - 9.5 | ½” - ⅜” | 1250 ± 10 | | |
| | Masa total de la muestra de prueba | | 5000 ± 10 | | |
| B | 19 - 12.5 | ¾” - ½” | 2500 ± 10 | 11 | 4584 ± 25 |
| | 12.5 - 9.5 | ½” - ⅜” | 2500 ± 10 | | |
| | Masa total de la muestra de prueba | | 5000 ± 10 | | |
| C | 9.5 - 6.3 | ⅜” - ¼” | 2500 ± 10 | 8 | 3330 ± 20 |
| | 6.3 - 4.75 | ¼” - No.4 | 2500 ± 10 | | |
| | Masa total de la muestra de prueba | | 5000 ± 10 | | |
| D | 4.75 - 2.0 | No. 4 - No. 10 | 5000 ± 10 | 6 | 2500 ± 15 |

Se calcula y reporta como resultado de la prueba, el desgaste por trituración, utilizando la siguiente expresión;

$$Pa = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100$$

En donde:

Pa = Desgaste por trituración, Los Ángeles, (%)

Pi = Masa inicial de la muestra de prueba (g)

Pf = Masa final del material de la muestra de prueba mayor de 1.7 mm. (malla No. 12).

G. DETERMINACIÓN DEL INTEMPERISMO ACELERADO DE MATERIALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar la resistencia al intemperismo acelerado de los materiales pétreos para mezclas asfálticas, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa de la S.C.T., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-008/03, Intemperismo Acelerado de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba tiene por objeto determinar la degradación esperada por intemperismo de los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en someter a cinco (5) ciclos de saturación (16 a 18 hrs., cada uno) y secado los diferentes tamaños de la fracción de agregados gruesos (gravas) de una muestra de materiales pétreos, mediante el empleo de una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio, y medir la diferencia de su masa antes y después de haber sido sometido a este tratamiento. Las muestras serán integradas de acuerdo a la Tabla V.10 siguiente:

Tabla V.10 Tamaño de la muestra para la prueba de intemperismo acelerado.

| Tamaño del material | | Masa de la muestra |
|------------------------|--------------------------------|--------------------|
| De: (Pasa la malla) | A: (Se retiene en la malla) | Mi g |
| 2" (50 mm.) | 1½" (37.5 mm.) | 1,500 |
| 1½" (37.5 mm.) | 1" (25.0 mm.) | 1,500 |
| 1" (25.0 mm.) | ¾" (19.0 mm.) | 1,000 |
| ¾" (19.0 mm.) | ½" (12.5 mm.) | 500 |
| ½" (12.5 mm.) | No. 4 (4.75 mm.) | 300 |

H. DETERMINACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN EN MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar, en una mezcla asfáltica, el desprendimiento por fricción de la película de asfalto en los materiales pétreos para mezclas asfálticas, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa de la S.C.T., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-009/03, Desprendimiento por Fricción en Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas; de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba tiene por objeto determinar la pérdida de la película asfáltica en los materiales pétreos. La prueba consiste en someter a la acción del agua y a varios ciclos de agitado dentro de un frasco de vidrio, varias muestras de mezcla asfáltica de granulometría definida, evaluando su estado físico una vez sometidas a este tratamiento.

Las 6 porciones de prueba se elaboran tomando como base los datos de diseño, como son cantidad de material pétreo y su contenido óptimo de asfalto para obtener la masa necesaria conforme a lo indicado en la tabla V.11 siguiente.

Tabla V.11 Contenido de producto asfáltico por porción de material pétreo.

| Porción | Contenido de producto asfáltico ⁽²⁾ |
|---------|---|
| 1 y 2 | Contenido óptimo más 0.5 % de la masa del material pétreo |
| 3 y 4 | Contenido óptimo ⁽¹⁾ |
| 5 y 6 | Contenido óptimo menos 0.5 % de la masa del material pétreo |

- (1) El contenido óptimo de cemento asfáltico se determinará conforme al procedimiento que establezca el proyecto y será proporcionado como dato para ejecutar la prueba.
- (2) El propósito de generar porciones con diferentes cantidades de material asfáltico es comparar la afinidad dentro de un rango de variación que se puede presentar en el campo.

Este procedimiento de prueba requiere de verificación, para lo cual se toma como testigo un material que haya presentado una buena afinidad con el asfalto, este material se reserva de alguna prueba anterior donde el operador haya determinado que no se presentará pérdida de la película de asfalto; de esta manera se comparan los resultados entre el material testigo y el material a probar.

Se reporta como resultado de la prueba, en por ciento para cada uno de los frascos, el desprendimiento por fricción de la película de asfalto, estimado mediante evaluación visual la superficie en la que se ha desprendido el asfalto, con relación a la superficie total del agregado. Posteriormente se reporta en por ciento, el promedio del desprendimiento por fricción de la película de asfalto (excluyendo los resultados del material testigo), que representa el desprendimiento por fricción representativo de toda la muestra y que se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$PFR = \frac{\sum Pfr}{N}$$

Donde:

PFR = Pérdida por fricción promedio, en (%).

Pfr = Pérdida por fricción de cada una de las muestras consideradas, obtenidas como se indica en el párrafo anterior.

N = Número de muestras consideradas, contenidas en los frascos.

Además, para fines de clasificación, se reporta el comportamiento del agregado pétreo en cuanto a su adherencia con el material asfáltico; para esto, se compara el desempeño de la muestra testigo contra el de la muestra que se está probando, de acuerdo con el siguiente criterio:

1. Si no hay desprendimiento o el que exista se asemeja al del testigo y no excede el 10 % después del último ciclo de agitación, el material se clasifica como de adherencia normal.
2. Si se presenta desprendimiento desde la etapa de reposo de 24 hrs. o el desprendimiento después del último ciclo de agitación sobrepasa un 25 %, se considera el material como de baja adherencia, la cual será necesario mejorar mediante algún procedimiento.
3. Para una condición intermedia de desprendimiento entre el 10 % y el 25 %, el material se considera de regular adherencia, que también será necesario mejorar mediante algún procedimiento.

I. DETERMINACIÓN DEL CUBRIMIENTO CON ASFALTO MEDIANTE EL MÉTODO INGLES, DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba al que se someten las partículas de materiales pétreos para determinar el cubrimiento con asfalto rebajado de los materiales empleados en carpetas asfálticas por el sistema de riegos, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa de la S.C.T., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-010/03, Cubrimiento con Asfalto Mediante el Método Inglés de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas; de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba tiene por objeto determinar la susceptibilidad al desprendimiento de los asfaltos adheridos a los materiales pétreos por efectos del agua. La prueba consiste en someter a la acción del agua un conjunto de partículas del material pétreo, de tamaños previamente definidos, las cuales se incrustan en una película de material asfáltico y evaluar el cubrimiento con asfalto sobre sus superficies, por comparación entre las superficies cubiertas y la superficie total de la muestra.

Esta prueba requiere de verificación, por lo cual se realiza por duplicado, empleando en cada determinación una muestra diferente.

Se reporta como resultado de la prueba, en por ciento (%), el promedio del área cubierta con material asfáltico en las partículas de la muestra, Se calcula mediante evaluación visual como la superficie del material pétreo cubierta con asfalto, con relación a la superficie total de la partícula que haya estado embebida en la película de asfalto.

J. DETERMINACIÓN DE LAS PARTÍCULAS TRITURADAS DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar el contenido de partículas trituradas en los materiales pétreos para mezclas asfálticas, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa de la S.C.T., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-013/09, Partículas Trituradas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas; de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba tiene por objeto determinar el contenido de partículas trituradas presentes en los materiales pétreos retenidos en la malla No. 4 (4.75 mm.), para mezclas asfálticas. La prueba consiste en agrupar las partículas con una y con dos o más caras fracturadas para conocer su porcentaje respecto a la masa total de las partículas retenidas.

Del material seco retenido en la malla No. 4 (4.75 mm.), se deposita en una charola y se obtienen dos porciones de prueba que tengan la masa mínima que se indica en la Tabla V.12 siguiente:

Tabla V.12 Masa mínima necesaria de cada porción de prueba para la determinación Del porcentaje de partículas trituradas de una muestra de grava.

| Tamaño nominal del material mm. (in) | Masa mínima de la porción de prueba en gramos (g) |
|---|--|
| 9.5 mm. (3/8") | 200 |
| 12.5 mm. (1/2") | 500 |
| 19.0 mm. (3/4") | 1500 |
| 25.0 mm. (1") o mayor | 3000 |

En cada porción de prueba se toma cada una de las partículas con la mano y se examina visualmente, Si alguna de las caras de la partícula se observa fracturada al menos en $\frac{1}{4}$ del área de su máxima sección transversal, se considera como una cara fracturada. En una charola se colocan todas las partículas que tengan solo una cara fracturada y en otra charola, las que tengan dos o más caras fracturadas.

Para cada porción de prueba se calcula el contenido de partículas trituradas con una cara fracturada, en por ciento (%), respecto a la masa total de la porción de prueba correspondiente.

Para cada porción de prueba se calcula el contenido de partículas trituradas con dos o más caras fracturadas, en por ciento (%), respecto a la masa total de la porción de prueba correspondiente.

Se calcula y reporta como resultado de la prueba:

1. El contenido de partículas trituradas con una cara, en la muestra, es decir, el promedio de los contenidos de partículas trituradas con una cara, de las dos porciones de prueba, utilizando la siguiente expresión:

$$PT_{1c} = \frac{PT_{1m_1} + PT_{1m_2}}{2}$$

Donde:

PT_{1c} = Contenido de partículas triturada con una cara, en (%).

PT_{1m_1} = Contenido de partículas trituradas con una cara en la porción de prueba No. 1, en (%).

PT_{1m_2} = Contenido de partículas trituradas con una cara en la porción de prueba No. 2, en (%).

2. El contenido de partículas trituradas con dos o más caras, en la muestra, es decir, el promedio de los contenidos de partículas trituradas dos o más caras, de las dos porciones de prueba, utilizando la siguiente expresión:

$$PT_{2c} = \frac{PT_{2m_1} + PT_{2m_2}}{2}$$

Donde:

PT_{2c} = Contenido de partículas triturada con dos o más caras, en (%).

PT_{2m_1} = Contenido de partículas trituradas con dos o más caras en la porción de prueba No. 1, en (%).

PT_{2m_2} = Contenido de partículas trituradas con dos o más caras en la porción de prueba No. 2, en (%).

K. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AZUL DE METILENO DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos del método de prueba para determinar la cantidad de azul de metileno necesaria para saturar los finos menores de 075 mm. (malla No. 200) de los materiales pétreos para mezclas asfálticas, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-04-001, de la Normativa de la S.C.T., con el fin de verificar que estos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Los procedimientos de prueba establecidos en este método, se encuentran explicados ampliamente y detallados en el Manual M-MMP-4-04-014/09, Azul de Metileno de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas; de la Normativa de la S.C.T.

Esta prueba nos permite estimar el grado de reactividad de los materiales finos, con partículas menores de 0.75 mm. (malla No. 200), contenidos en los materiales pétreos para mezclas asfálticas. La prueba consiste en añadir a los finos dosificaciones controladas de azul de metileno, hasta que ya no lo absorban más. Mientras más azul de metileno retengan los finos, serán más activos, lo cual proporciona un índice indirecto de su potencialidad expansiva.

CAPITULO VI

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

A. MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM.

En México básicamente se emplea el Método de diseño de pavimentos flexibles del **Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México**. Este método se origina a partir de la investigación y análisis de datos de experimentos realizados en tramos de prueba de pavimentos flexibles, en carreteras en servicio en México, de investigación teórica y de experimentación en laboratorio en la pista circular de pruebas de éste Instituto, lo anterior con el fin de obtener los criterios adecuados a las condiciones del País; relativas al diseño, construcción, reconstrucción y modernización de carreteras.

El resultado de años de estudio y experimentaciones del Instituto de Ingeniería de la UNAM para desarrollar éste método, se encuentra plasmado en las publicaciones Técnicas No. 325 y No. 444 de dicha institución, y a la fecha se han complementado con los resultados de las numerosas investigaciones realizadas y la información actual obtenida de 1988 a la fecha, existente en México y en el ámbito internacional.

Para el desarrollo del método de diseño del Instituto de Ingeniería de la UNAM. se emplea el modelo teórico de comportamiento a fatiga del pavimento, considerada esta fatiga, como deformación permanente acumulada, se supone que la carretera tiene una resistencia relativa uniforme en todas las capas de su estructura y llega a la falla funcional cuando ha soportado el número de estándar especificado para la vida útil de proyecto. Sí la resistencia relativa no es uniforme, la capa con resistencia relativa mínima, determina la vida de servicio de la carretera.

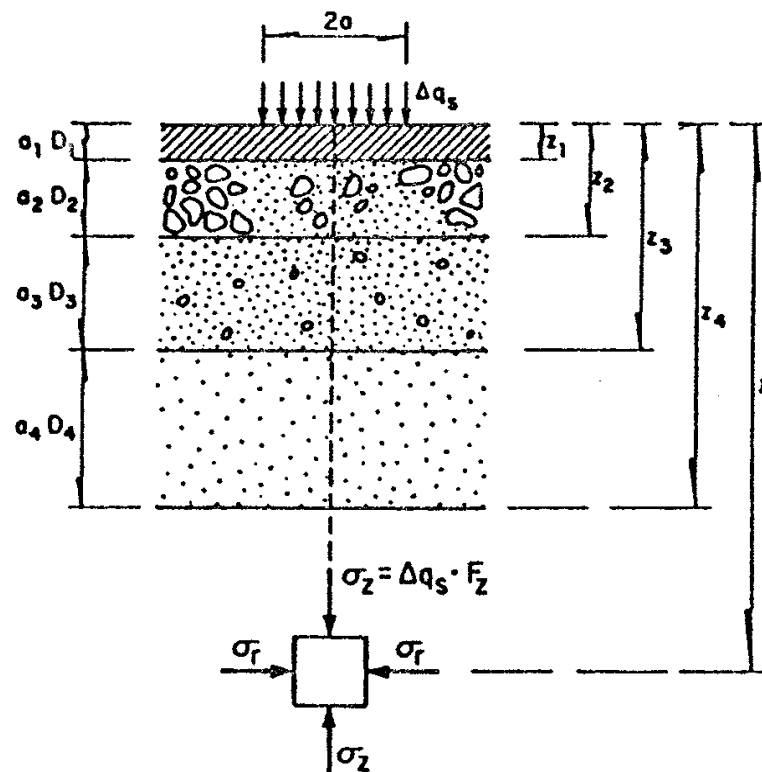
Se emplean los conceptos de capacidad de carga de los suelos cohesivos y la teoría de distribución de esfuerzos verticales (σ_z) de Boussinesq deducida para una placa circular flexible de radio (a), apoyada uniformemente en la superficie de un medio elástico, homogéneo e isótropo, para aplicarse al caso de una estructura de capas

múltiples, en la cual las gráficas adimensionales esfuerzo-deformación de los materiales son iguales.

Se supone que las carpetas asfálticas son delgadas y que su duración a la falla depende de la resistencia a tensión; en carpetas de riegos se desprecia tal resistencia.

Cada capa (i) tiene un espesor equivalente ($a_i D_i$), donde D_i es el espesor real y a_i es un coeficiente de equivalencia estructural que toma en cuenta la capacidad de repartición de carga del material como se indica en la figura VI.1 siguiente:

Figura VI.1 Modelo teórico de comportamiento a fatiga



En este método se proporcionan los lineamientos para el diseño o refuerzo de la estructura de carreteras con pavimento flexible, en climas tropicales, secos y subtropicales, de acuerdo a los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas.

Este criterio de diseño es aplicable a estructuras construidas con carpetas de concreto asfáltico y las demás capas de la carretera, están constituidas con materiales granulares o finos, estabilizados mecánicamente por compactación.

Para el caso de capas de base y sub-base, estabilizadas con asfalto, cal o cemento Portland, se requiere una investigación complementaria bien definida.

Para la aplicación práctica del método, se utilizan tres modalidades:

- 1.- Diseño gráfico.
- 2.- Diseño con calculadora programable.
- 3.- Diseño con calculadora.

Por lo extenso del procedimiento para el desarrollo de este método, en este trabajo de titulación, se presenta en forma breve la metodología para el desarrollo de este método, aplicando la modalidad de diseño gráfico; por medio de utilización de Ecuaciones de Diseño, Gráficos y Nomogramas.

1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Los factores que intervienen en el diseño de pavimentos flexibles, tienen interacción entre sí, por lo que para la realización de un proyecto adecuado, se deberá analizar los siguientes factores en forma general:

1.1 EL TRÁNSITO.

Este factor se refiere a los efectos producidos por el tránsito mezclado al circular por la carretera y es un factor primordial que se considera para el diseño de pavimentos, ya que es el que transmite las cargas, por lo que se analizan los diferentes tipos de vehículos para determinar los distintos coeficientes de daño en términos de esfuerzos a diferentes profundidades, que infieren en el pavimento en función de las variadas formas de transmisión de las cargas, debido al número y tipos de ejes de cada clasificación de vehículos.

Son importantes los datos del **Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)**, determinado estadísticamente o por medio de aforos en donde se contabiliza la cantidad de vehículos; el tipo y el peso de cada uno, determinando las cargas por eje sencillo y múltiple, así mismo se define la distribución del tránsito que pasará en el carril de diseño determinado, en un periodo de tiempo establecido, de acuerdo al tipo de carretera y el número de carriles de circulación, ya sea en un sentido o en ambos sentidos.

Generalmente el tránsito mezclado se transforma en tránsito equivalente en ejes sencillos, mediante factores teóricos o empíricos.

1.2 PERÍODO DE DISEÑO.

El Período de diseño, es el tiempo considerado en años, como vida útil de servicio del pavimento estimado en el diseño del proyecto.

1.3 TASA DE CRECIMIENTO ANUAL.

La tasa de crecimiento anual en porciento (%), es considerada estadísticamente a futuro, como el crecimiento anual del Tránsito Diario Promedio Anual actual.

1.4 TIPO DE CAMINO.

Es muy importante determinar el tipo de camino y el número de carriles considerados por donde circulará el tránsito estimado, en un solo sentido o en ambos sentidos del camino por diseñar, ya que para cada tipo de camino (A, B y C) se autoriza oficialmente una carga máxima permitida para cada tipo de vehículo, lo que influye directamente en el cálculo de los coeficientes de daño bajo carga máxima, en términos de esfuerzos a diferentes profundidades, que infieren en el pavimento en función de las variadas formas de transmisión de las cargas, debido al número y tipos de ejes de cada clasificación de vehículos.

CLASIFICACIÓN DE CAMINOS TIPO A, B Y C.

Tipo A: para un Transito Diario Promedio Anual, de 1500 a 3000 vehículos.

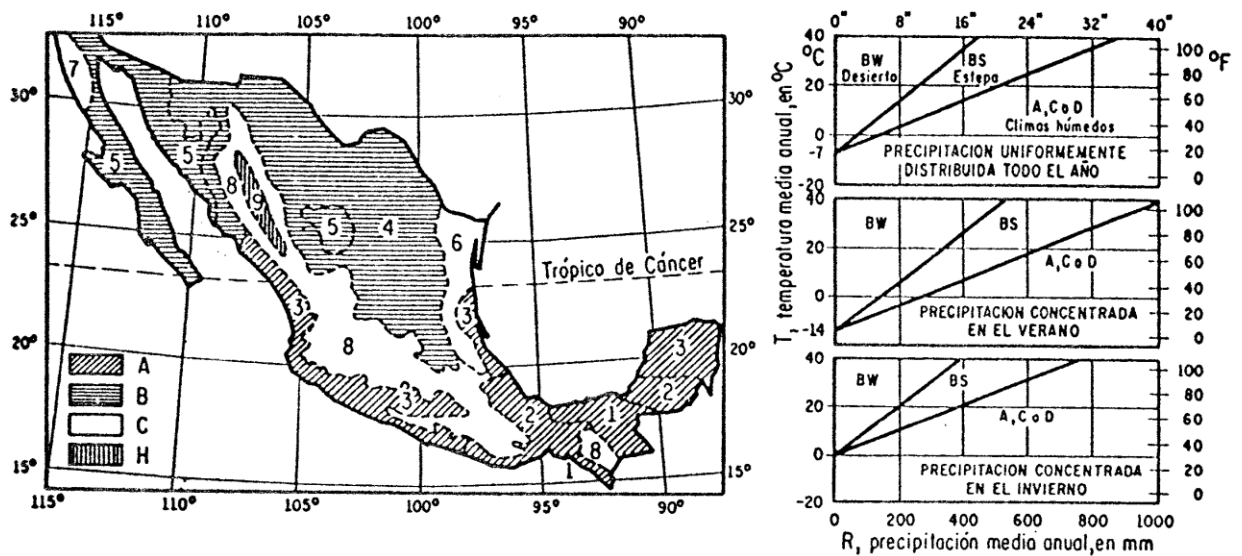
Tipo B: para un Transito Diario Promedio Anual, de 500 a 1500 vehículos.

Tipo C: para un Transito Diario Promedio Anual, de 50 a 500 vehículos.

1.5 EL CLIMA.

Las características reológicas de los materiales que constituyen la estructura del pavimento de la carretera, dependen de las **Condiciones Climatológicas** que se presentan en la región, zona o estado en donde se construirá dicho pavimento, como son: la temperatura, régimen de precipitación pluvial, precipitación media anual, y el nivel freático, así como la geología y topografía de la región. En la figura 1.VI, se presenta la clasificación de climas en México con base en el sistema Köppen-Geiger

Figura VI.2 Clasificación de climas con base en el sistema Köppen-Geiger.



| CLIMAS | | | |
|--------|--------------|-----|--|
| A | TROPICAL | Afa | 1 Ecuatorial, tipo amazónico caluroso regular |
| | | Ama | 2 Subecuatorial, tipo sudanés caluroso regular |
| | | Awa | 3 Tropical, tipo senegalés variaciones térmicas |
| B | SECO | BSk | 4 Estepario, tipo senegalés o tipo sirio. Caluroso o templado medio, oscilaciones térmicas sensibles |
| | | BWh | 5 Desértico, tipo sahariano extremo |
| C | SUB TROPICAL | Cfa | 6 Subtropical mediterráneo con influencia de monzón tipo china caluroso medio, oscil. térm. notab. |
| | | Csb | 7 Mediterráneo, tipo portugués templado medio, veranos secos y calientes |
| | | CwH | 8 Subtropical de altura, tipo mexicano Templado regular |
| H | DE MONTAÑA | H | 9 De montaña, extremo tipo alpino |

| | |
|--|---|
| PRIMERA LETRA | A, C, D - Suficiente calor y precipitación para el crecimiento de árboles grandes |
| | A - Climas tropicales. Todas las temperaturas medias mensuales mayores de 18°C |
| | B - Climas secos. Fronteras determinadas mediante las gráficas T-R |
| | C - Climas templado calurosos. Temperatura media del mes más frío entre 18° y -3°C |
| | D - Climas de nieve. Temperatura media del mes más caluroso mayor de 10°C; del mes más frío menor de -3°C |
| E - Climas polares. Temperatura media del mes más caluroso menor de 10°C | |
| SEGUNDA LETRA | S - Clima estepario * |
| | W - Clima desértico * |
| | f - Suficiente precipitación todos los meses |
| | m - Clima de selva, a pesar de una estación seca |
| s - Tiempo seco en verano | |
| w - Tiempo seco en invierno | |
| * Fronteras determinadas por gráficas T-R. Solo se usa en combinación con la primera letra B | |
| TERCERA LETRA | a - Temperatura media del mes más caluroso, mayor de 22°C |
| | b - Temperatura media del mes más caluroso, menor de 22°C (por lo menos cuatro meses tienen medias mayores de 10°C) |
| | c - Menos de cuatro meses tienen medias mayores de 10°C |
| | d - Igual que c, pero la media del mes más frío menor de -38°C |
| | h - Seco y caliente. Temperatura media anual mayor de 18°C |
| | k - Seco y frío. Temperatura media anual menor de 18°C |
| | H - Clima de montaña. Extremo, tipo alpino |

2.6 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.

La Resistencia al Esfuerzo Cortante (VRS): Esta resistencia de los materiales que componen cada una de las capas de las terracerías y pavimento, es definida como Valor Relativo de Soporte California (CBR), mejor conocido en México como Valor Relativo de Soporte (VRS); y se considera como la relación de la carga necesaria para introducir en un espécimen de prueba compactado dinámicamente; un pistón de penetración, de acero de forma cilíndrica de 49.63 ± 0.13 mm., de diámetro a una profundidad de 2.54 mm. y 5.08 mm.; **entre** la carga estándar de 1360 Kg., que corresponde a la carga necesaria para introducir el pistón a una profundidad de 2.54 mm., en un espécimen de material considerado como patrón (caliza triturada); expresada ésta relación en porciento.

$$\text{VRS} = \frac{\text{Carga necesaria (Kg.) para penetrar el pistón 2.54 mm. en el espécimen}}{1360 \text{ Kg.}} \times 100$$

El desarrollo completo del método de prueba para la obtención del VRS de los materiales a emplear, se puede consultar en la Normativa de la SCT. Método de Prueba M-MMP-1-11-/08. Valor Soporte California (CBR) y Expansión.

2. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO EN CUATRO PASOS:

2.1 PASO 1

Como primer paso del diseño, se procede a obtener el Valor Relativo de Soporte Crítico (VRS) de la capa **sub-rasante**, determinado en el material compactado al 95 % y humedad óptima + el 1%; respecto al P.V.S.M. obtenido mediante la prueba AASHTO estándar del material compactado con el contenido óptimo de humedad.

Por experiencia se asigna un valor menor para el cuerpo del terraplén del 60 % del VRS crítico obtenido para la **sub-rasante**.

Para obtener el VRS crítico para diseño de las capas de **sub-base y base**, el método emplea la siguiente ecuación;

$$\Lambda$$

$$\text{VRS crítico} = \frac{\text{VRS}}{(1 - 0.84 v)}$$

En donde:

Λ
 VRS = Valor Relativo de Soporte Crítico para diseño de cada capa.

$\frac{\text{VRS}}{\text{VRS}} =$ Valor Relativo de Soporte promedio, obtenido para cada uno de los materiales empleados en cada una de las capas de cuerpo de terraplén, sub-yacente, sub-rasante, sub-base y base.

v = Es el coeficiente de variación que incluye la incertidumbre debida a los factores antes mencionados, estimado entre 0.2 y 0.3

La aplicación del coeficiente de variación (v) estimado entre 0.2 y 0.3, es también debido a cambios posibles del material, procedimiento constructivo, etc. Lo anterior, siempre tendera a disminuir el VRS promedio obtenido con el fin de cubrir incertidumbres, tanto de la prueba de VRS como de los materiales que se emplean; considerando esta disminución como un factor de seguridad.

Los resultados de las pruebas de VRS en laboratorio no permiten en algunos casos estimar con precisión la resistencia esperada IN SITU, ya que ni la estructura del suelo ni las condiciones de presión capilar se reproducen de manera satisfactoria, por lo que los resultados deben ponderarse con la experiencia que se tenga en la región para el mismo tipo de material. En la mayoría de los casos, los resultados de laboratorio tienden a subestimar la resistencia real esperada en el camino para las terracerías, lo que debe tomarse en cuenta para elegir el valor medio y el coeficiente de variación de la resistencia (VRS) de proyecto.

2.2 PASO 2

El segundo paso consiste en la información y procesamiento de los datos del tránsito, partiendo del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en ambas direcciones en el año inicial de operación, la tasa de crecimiento en porcentaje anual y la composición vehicular detallada, considerando desde automóviles y vehículos ligeros hasta los vehículos más pesados de carga.

Para la determinación del (TDPA), en el caso de de un camino ya en servicio y por rehabilitar el pavimento, se lleva a cabo un aforo vehicular sobre el mismo camino, considerando el tránsito en los entronques y salidas a las poblaciones aledañas, y en el caso de un camino nuevo el (TDPA) inicial se determina estadísticamente considerando el tránsito actual de afluencia en las poblaciones en la zona de influencia en donde se construirá el camino, así como, se estimara la cantidad y el tipo de transito probable que se generara con el camino nuevo.

Durante la realización del aforo de tránsito, se llevara a cabo la clasificación vehicular determinando los diferentes tipos de vehículos en circulación y el porcentaje correspondiente a cada tipo, del total de vehículos contabilizados.

Se hace notar que el método contempla en este análisis los porcentajes de vehículos pesados, tanto cargados con carga máxima autorizada por la SCT., como totalmente vacíos, (Tabla VI.1).

Tabla VI.1 Composición vehicular con porcentajes de cargados y vacíos.

| TIPO DE VEHICULOS | COMPOSICIÓN | PROPORCIÓN | |
|-------------------------------------|-------------|------------|--------|
| | | CARGADOS | VACIOS |
| Automóviles | | | |
| Camiones ligeros (A2) | | | |
| Autobuses (B2) | | | |
| Camiones de dos ejes (C2) | | | |
| Camiones de tres ejes (C3) | | | |
| Tractores con semirremolque (T2-S1) | | | |
| Tractores con semirremolque (T2-S2) | | | |
| Suma | 100 % | | |

2.3 PASO 3

EL tercer paso consiste en el análisis del tránsito equivalente acumulado (ΣL) o número de aplicaciones de carga estándar previsto para el periodo de diseño establecido, el cual se podrá procesar con la TABLA VI.2, del método de diseño original del Instituto de Ingeniería, reporte No. 444. (1981). Se deberán calcular los coeficientes de daño a diferentes profundidades de la estructura del pavimento; para cada vehículo tanto en condiciones de carga máxima reglamentada y vacíos, para profundidades de $Z = 0$ cm. para obtener los ejes equivalentes de ejes sencillos de 8.2 ton., para carpeta y base y en su caso $Z = 15$ cm., $Z = 30$ cm., y $Z = 60$ cm., para el resto de la sección.

La carga estándar o eje equivalente se define como la sollicitación de un eje sencillo de 8.2 ton., y llantas con presión de contacto de 5.8 Kg/cm^2 .

El coeficiente de daño de un vehículo a determinada profundidad es la suma de los coeficientes individuales de sus ejes o grupo de ejes a esa profundidad. En el Apéndice A se indican coeficientes de daño por eje y por vehículo, a las profundidades de $Z=0$, $Z = 15$ cm, $Z = 30$ cm. y $Z = 60$ cm., para vehículos autorizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, considerando que los efectos de capa profunda ocurren de 30 cm en adelante.

Como los coeficientes de daño varían con la profundidad, también varía el tránsito equivalente (ΣL); en problemas de diseño no se conoce ciertamente la profundidad de cada capa lo cual plantea teóricamente una dificultad en el proyecto, para resolver este problema se recomienda diseñar el espesor de carpeta como capa superficial con $Z=0$ cm. o la profundidad que elija el proyectista, verificando si la suposición fue correcta; para determinar el espesor de las capas restantes, se puede calcular ΣL para $Z=30$ cm. en caso de existir vehículos especiales (no incluidos en el Apéndice A) o cuando el proyectista desea afinar el cálculo de ΣL pueden realizarse iteraciones para cada una de las capas del pavimento, suponiendo primero una profundidad para la capa en estudio y calculando ΣL a esa profundidad, y pasar al diseño con el ΣL obtenido, verificando si la profundidad supuesta coincide con la calculada; o en caso contrario, se repiten los cálculos hasta que la profundidad supuesta y la calculada coinciden con la precisión deseada.

Al obtenerse los coeficientes de daño para todos y cada uno de los vehículos vacíos y cargados a las profundidades de $Z = 0$ y $Z=15$, $Z = 30$ y $Z=60$, se deberá multiplicar éstos por la composición del tránsito en porcentaje. Con ello se obtendrá el número de ejes equivalentes para cada vehículo y para cada profundidad.

Al efectuar la sumatoria de dichos valores en el carril de proyecto por el coeficiente de acumulación del tránsito C_t , (Ecuación 1.VI) y por el valor de TDPA inicial en el carril de proyecto, se obtendrá el tránsito equivalente acumulado ΣL para las capas de carpeta y base, y de sub-base y terracerías respectivamente, (TABLA VI. 2) siguiente.

Tabla VI.2 CÁLCULO DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE ACUMULADO (ΣL)

| TIPO DE VEHÍCULO | COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO ① | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS ② | | COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO CARGADOS O VACIOS ③ = ① x ② | COEFICIENTE DE DAÑO | | NÚMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON. | |
|--|--------------------------------------|--|--|--|--|--|---|--|
| | | | | | CARPETA Y BASE Z = 0 ④ | SUB-BASE Y TERRACERIAS Z = 30 ⑤ | CARPETA Y BASE ⑥ = ③ x ④ | SUB-BASE Y TERRACERIAS ⑦ = ③ x ⑤ |
| | | CARGADOS | | | | | | |
| | | VACIOS | | | | | | |
| | | CARGADOS | | | | | | |
| | | VACIOS | | | | | | |
| | | CARGADOS | | | | | | |
| | | VACIOS | | | | | | |
| | | CARGADOS | | | | | | |
| | | VACIOS | | | | | | |
| | | CARGADOS | | | | | | |
| | | VACIOS | | | | | | |
| SUMAS | | | | | EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO ⑧ | | | |
| COEFICIENTE DE ACUMULACIÓN DEL TRÁNSITO, (Ct) $Ct = 365 \times \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$ n = AÑOS DE SERVICIO = 15 r = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRÁNSITO = 5 % | | | | | TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO ⑨ | | | |
| | | | | | Ct ⑩ | | | |
| TDPA = TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL TDPA = 950 vehículos | | CD = COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN EN CARRIL DE PROYECTO CD = 0.5 | | ΣL ⑪ = ⑧ x ⑨ x ⑩ | | | | |

TABLA VI.3 DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO EN EL CARRIL DE PROYECTO

| NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN EN EL CARRIL DE PROYECTO; EN PORCIENTO |
|---|--|
| 2 | 50 |
| 4 | 40 - 50 |
| 6 o más | 30 - 40 |

Se recomienda emplear la distribución direccional de 0.5 para carreteras de dos carriles, de 0.4 a 0.5 para cuatro carriles y de 0.3 a 0.4 para seis o más carriles.

ECUACIÓN: 1.VI

Para el cálculo del coeficiente de acumulación del tránsito.

$$C_t = 365 \sum_{j=1}^n (1-r)^{j-1} = 365 \left(\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right)$$

Donde:

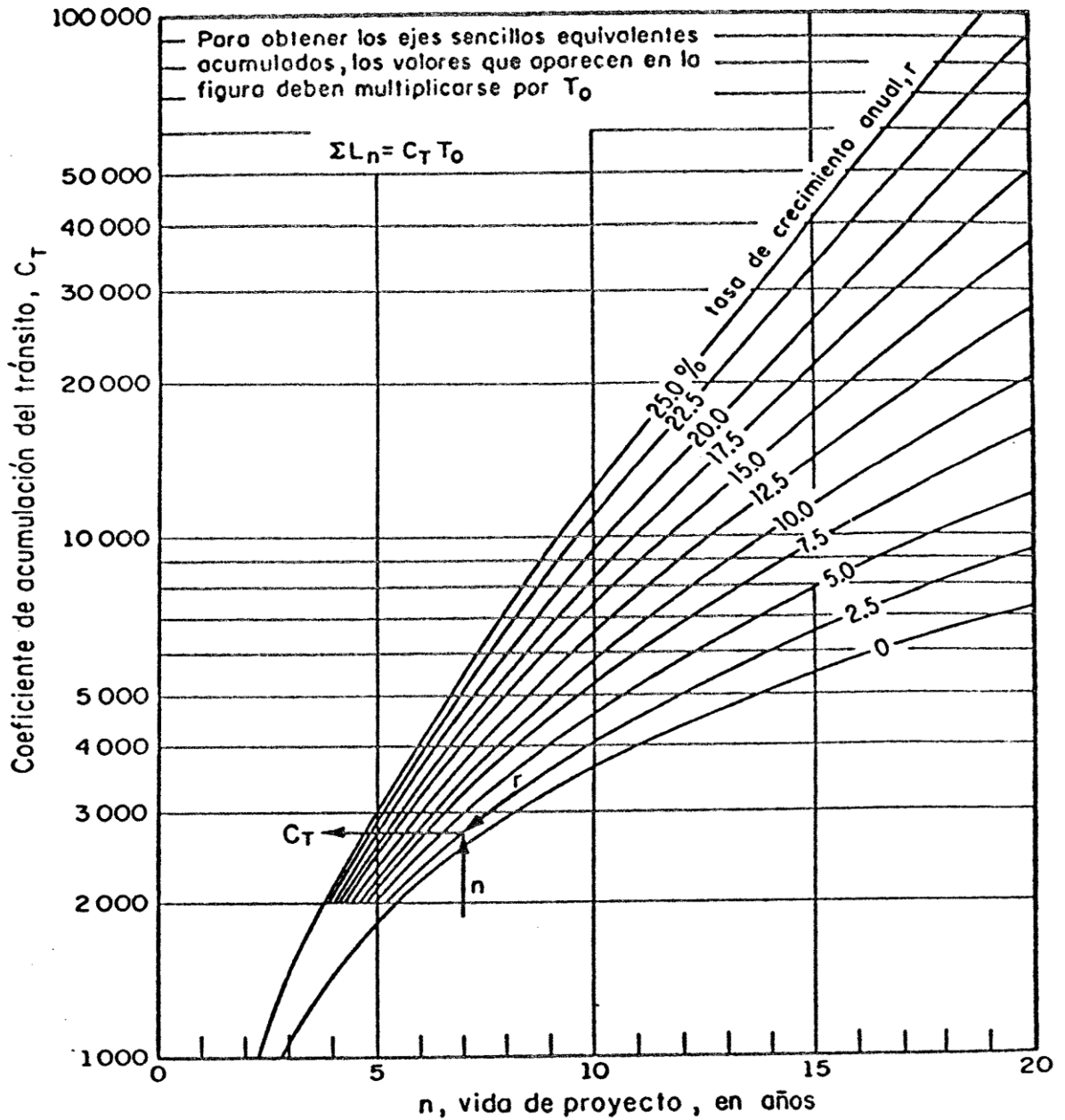
C_t = Coeficiente de acumulación del tránsito.

n = Años de servicio.

r = Tasa de crecimiento anual en % .

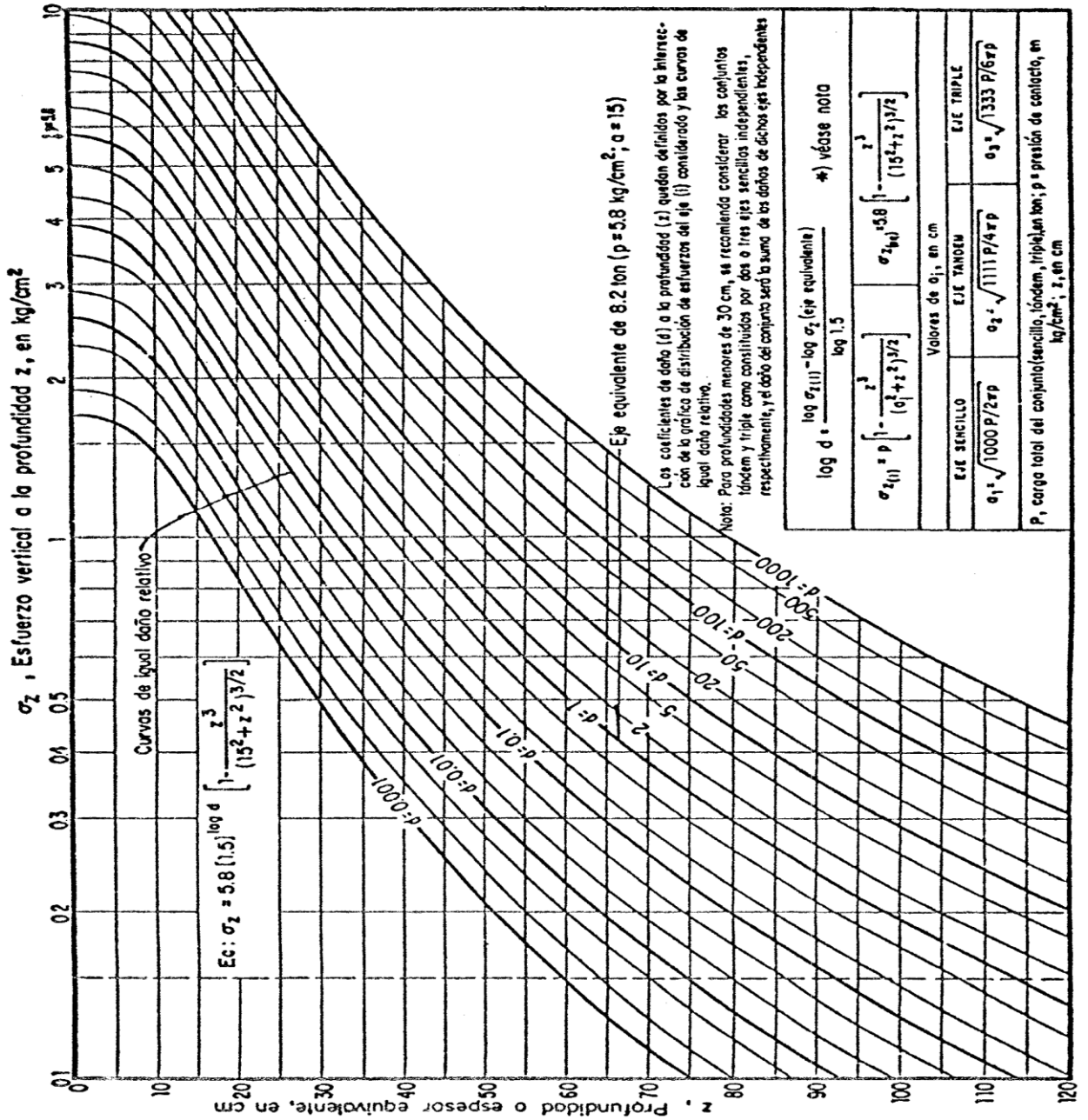
Este coeficiente de acumulación del tránsito, puede calcularse con la ecuación anterior o leerse directamente en el nomograma de la figura 2.VI siguiente

Figura 2.VI Gráfica para estimar el coeficiente de acumulación del tránsito.



| | |
|---|---|
| $C_T = 365 \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 365 \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$ | |
| C_T | coeficiente de acumulación del tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r |
| T_0 | tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto, durante el primer año de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton |
| ΣL_n | tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton |

Figura 3.VI Nomograma, coeficientes de daño por tránsito.



2.4 PASO 4

Finalmente el método presenta un procedimiento sencillo para obtener los espesores equivalentes de diseño de la sección estructural del pavimento, por medio de varios nomogramas o gráficas que están en función del nivel de confianza Q_u que se elija, el Valor Relativo de Soporte Crítico de cada capa y el tránsito equivalente acumulado en ejes sencillos de 8.2 ton., en el carril de proyecto. Figuras 2.VI y 3.VI, así como considerar los coeficientes de daño calculados e indicados para diferentes tipos de vehículos en el Apéndice “A” indicado posteriormente.

Con la gráfica de la figura 4.VI, se podrá obtener los espesores equivalentes para capa de profundidad Z_n ($Z =$ espesor equivalente), tomando en cuenta coeficientes de resistencia estructural equivalentes recomendados a_j , que se consideran de $a_1 \geq 2$ para concreto asfáltico, y $a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 1$ para materiales estabilizados mecánicamente (compactados).

a_1 D1 = carpeta, D1 espesor en cm., a_1 coeficiente equivalencia.

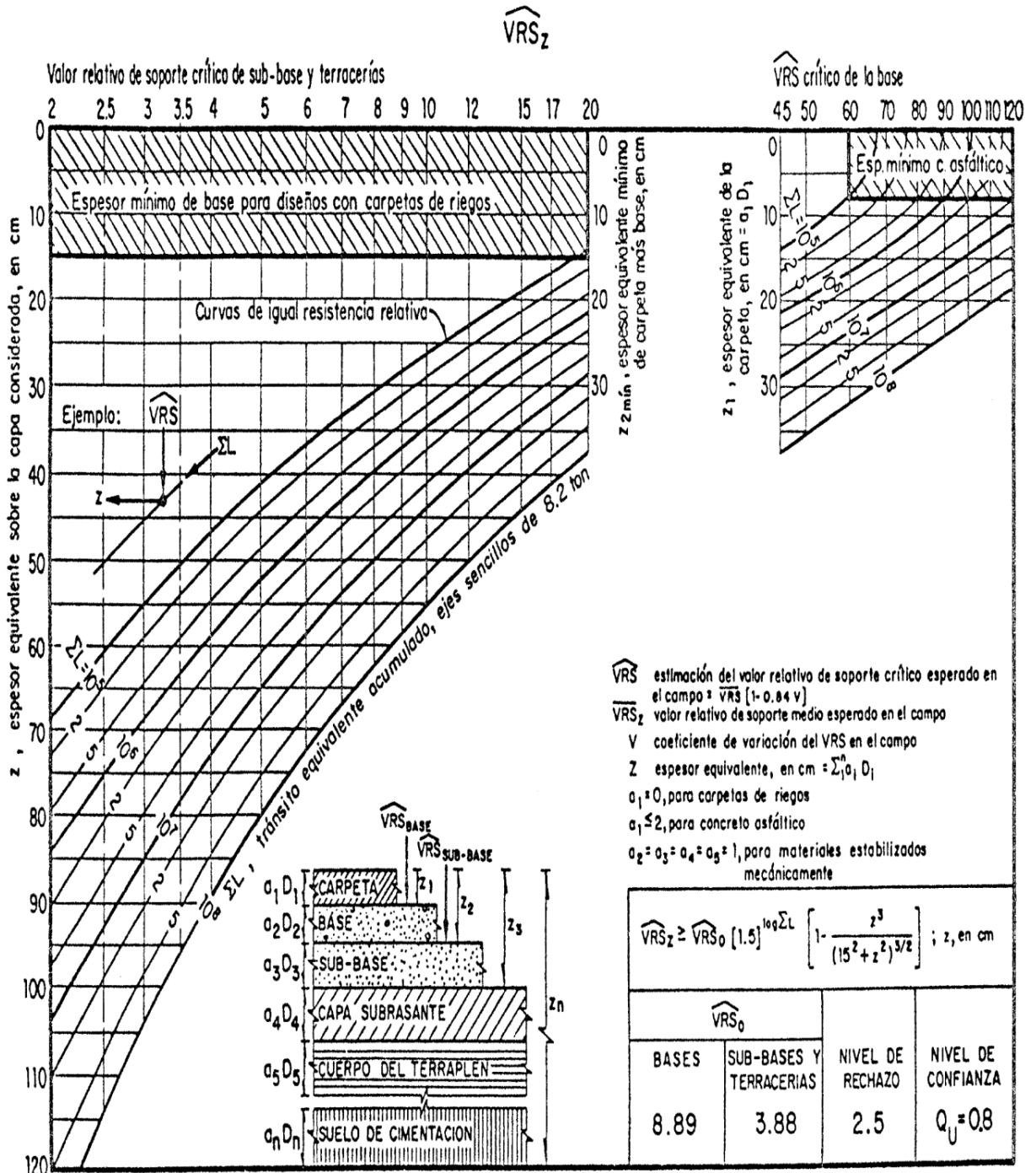
a_2 D2 = capa, D2 espesor en cm., a_2 coeficiente equivalencia.

a_n Dn = capa n, Dn espesor en cm., a_n coeficiente equivalencia.

Con lo anterior, ya se tiene la posibilidad de determinar el espesor final de cada capa de la sección estructural del pavimento diseñado, interviniendo para ello los diferentes criterios que se adopten para una mejor estructuración de terracerías y pavimento, tomando en cuenta ciertos arreglos de capas, cierta clase de materiales y mínimos espesores que se tienen especificados.

Se hace mención que el propio Instituto Mexicano del Transporte, desde el año de 1991, dispone de la estadística detallada de aforos reales y actuales hechos en la red carretera de México, resultados que han sido plasmados en los Estudios correspondientes de Pesos y Dimensiones.

Figura 4.VI Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible



3. EJEMPLO DE APLICACIÓN.

En este ejemplo ilustrativo por medio del diseño gráfico de pavimentos flexibles por el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM., anteriormente descrito, se hace énfasis en la determinación de las variables de diseño.

Se supone que se proyectara el pavimento de un tramo de carretera de dos carriles, tipo “A”, considerando un periodo de vida útil de servicio de 15 años, una tasa de crecimiento anual de 5 % (r) y una altura del terraplén de 1.0 m.

Se estima que el tránsito diario promedio anual (TDPA) es de 1500 vehículos por día. La composición del tránsito es la siguiente, y la proporción de los vehículos es en general del 80 % de cada vehículo con carga máxima permisible y el 20 % de cada tipo de vehículos son vacíos.

Tabla VI.1 Clasificación y Composición vehicular, con porcentajes de cargados y vacíos.

| Tipo de vehículo | Composición en % | Proporción | |
|-------------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | Cargados 80 % de cada uno | Vacíos 20 % de cada uno |
| Automóviles (A2) | 0.4 | 0.32. | 0.08 |
| Camiones ligeros (A'2) | 0.15 | 0.12 | 0.03 |
| Autobuses (B2) | 0.10 | 0.08 | 0.02 |
| Camiones de dos ejes (C2) | 0.20 | 0.16 | 0.04 |
| Camiones de tres ejes (C3) | 0.07 | 0.056 | 0.014 |
| Tractores con semirremolque (T2-S1) | 0.03 | 0.024 | 0.006 |
| Tractores con semirremolque (T2-S2) | 0.05 | 0.04 | 0.01 |
| SUMA | 1.0 | 80 % | 20 % |

3.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA (VRS) de los materiales a emplear en las diferentes capas que componen la terracerías y pavimento de la estructura del camino.

Se realizan los ensayos de laboratorio para obtener la resistencia promedio por medio de la realización de varias prueba de (VRS) de de cada uno de los materiales que componen cada una de las capas de: el cuerpo del terraplén, la sub-rasante, sub-base y base, considerándose que el material de cada capa es homogéneo y presentan valores mínimos de calidad requeridos en la normatividad SCT; por lo que se estiman los siguientes valores de (VRS):

| | | |
|----------------------|--|---------------------------------------|
| Cuerpo del terraplén | $\overline{\text{VRS}} = 5 \% = (68 \text{ Kg})$ | respecto a la carga patrón (1360 Kg.) |
| Sub-rasante | $\overline{\text{VRS}} = 15 \% = (204 \text{ Kg})$ | “ |
| Sub-base | $\overline{\text{VRS}} = 60 \% = (816 \text{ Kg})$ | “ |
| Base | $\overline{\text{VRS}} = 110 \% = (1496 \text{ Kg})$ | “ |

Se considera que el VRS del cuerpo del terraplén es el 5 % y el VRS de la sub-rasante es del 15 %.

Enseguida se calcula el VRS crítico, de la capas de sub-base y base, por medio de la fórmula:

$$\text{VRS crítico} = \overline{\text{VRS}} (1 - 0.84 v) = \overline{\text{VRS}} (0.79)$$

Resultando: los siguientes valores, considerando el coeficiente $v = 0.25$

| | |
|----------------------|-----------------------------|
| Base | VRS crítico = 86.9 % = 87 % |
| Sub-base | VRS crítico = 47.4 % = 47 % |
| Sub-rasante | VRS crítico = 15 % |
| Cuerpo del terraplén | VRS crítico = 5 % |

3.2 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL

(TDPA) se calcula el número de ejes equivalentes de 8.2 ton. Utilizando la tabla VI.2 considerando los siguientes datos:

TDPA = 1500 Vehículos diarios de los siguientes tipos y su distribución, considerando para todos los tipos el 80 % cargados y el 20 % vacíos, excepto el tipo A2, considerado con el 100 % cargados, como se indica en la Tabla VI.1 anterior.

3.3 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE (ΣL)

El tránsito equivalente o número de cargas estándar acumulado al final del período de vida útil del pavimento considerada se calculo para este ejemplo en la (Tabla VI.2), por medio de la fórmula.

Los coeficientes de daño se calculan por medio de la ecuación empírica planteada en el modelo de comportamiento a fatiga empleado en éste método, pero también puede obtenerse gráficamente del Nomograma de la figura 3.VI. Coeficientes de Daño por Tránsito. Así mismo en el Apéndice “A” se presentan los coeficientes de daño para diferentes tipos de vehículos, tanto cargados como vacíos.

Para este ejemplo se consideraron los coeficientes de daño calculados para las cargas máximas autorizadas por la SCT en el año 1978, ya que se tienen calculados los coeficientes de daño para diferentes tipos de vehículos indicados en el apéndice “A” antes referido. Además de que las cargas máximas autorizadas para los diferentes tipos de vehículos considerados en el Apéndice “A”, y las cargas máximas actualizadas últimamente en el año del 2008 solo presentan una variación de entre -1 y +2

toneladas, por lo que se considero un rango mínimo y se emplearon los coeficientes de daño establecidos por la SCT en 1978.

Tabla VI.2 CÁLCULO DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE ACUMULADO (ΣL) CAMINO TIPO “A”

| TIPO DE VEHÍCULO | COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO ① | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS ② | | COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO CARGADOS O VACIOS ③ = ① x ② | COEFICIENTE DE DAÑO | | NÚMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON. | |
|--|--------------------------------------|--|-----|--|---|--|---|--|
| | | | | | CARPETA Y BASE Z = 0 ④ | SUB-BASE Y TERRACERIAS Z = 30 ⑤ | CARPETA Y BASE ⑥ = ③ x ④ | SUB-BASE Y TERRACERIAS ⑦ = ③ x ⑤ |
| A2 | 0.400 | CARGADOS | 1.0 | 0.4 | 0.004 | 0.00 | 0.016 | 0.000 |
| | | VACIOS | 0.0 | 0.0 | 0.004 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| A'2 | 0.150 | CARGADOS | 0.8 | 0.12 | 0.536 | 0.023 | 0.06432 | 0.00276 |
| | | VACIOS | 0.2 | 0.03 | 0.536 | 0.000 | 0.01608 | 0.000 |
| B2 | 0.100 | CARGADOS | 0.8 | 0.08 | 2.000 | 2.457 | 0.160 | 0.19656 |
| | | VACIOS | 0.2 | 0.02 | 2.000 | 0.502 | 0.4 | 0.01004 |
| C2 | 0.200 | CARGADOS | 0.8 | 0.16 | 2.000 | 2.457 | 0.32 | 0.39312 |
| | | VACIOS | 0.2 | 0.04 | 2.000 | 0.028 | 0.08 | 0.00112 |
| C3 | 0.070 | CARGADOS | 0.8 | 0.056 | 3.000 | 2.457 | 0.168 | 0.137592 |
| | | VACIOS | 0.2 | 0.014 | 3.000 | 0.039 | 0.042 | 0.000546 |
| T2 – S1 | 0.030 | CARGADOS | 0.8 | 0.024 | 3.000 | 4.747 | 0.072 | 0.113928 |
| | | VACIOS | 0.2 | 0.006 | 3.000 | 0.044 | 0.018 | 0.000264 |
| T2 – S2 | 0.050 | CARGADOS | 0.8 | 0.04 | 4.000 | 4.747 | 0.16 | 0.18988 |
| | | VACIOS | 0.2 | 0.01 | 4.000 | 0.057 | 0.04 | 0.00057 |
| SUMAS | 1.00 | | 7.0 | 1.00 | EJES EQUIVALENTES PARA TRÁNSITO UNITARIO ⑧ | | 1.5564 | 1.04638 |
| COEFICIENTE DE ACUMULACIÓN DEL TRÁNSITO, (Ct) $Ct = 365 \times \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$ n = AÑOS DE SERVICIO = 15 r = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRÁNSITO = 5 % | | | | | TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO ⑨ | | 750 | 750 |
| | | | | | Ct ⑩ | | 7,876.1757 | 7,876.1757 |
| TDPA = TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL TDPA = 1500 vehículos | | | | CD = COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN EN CARRIL DE PROYECTO CD = 0.5 | ΣL ⑪ = ⑧ x ⑨ x ⑩ | | 9'193,860 | 6'181,105 |

Como se aprecia en este ejemplo se consideraron los siguientes parámetros de diseño: Se considero un camino Tipo “A” para un Transito Diario Promedio Anual, de 1500 vehículos.

TDPA = 1500 vehículos mezclados y su composición de cargados y vacios.
 CD = Coeficientes de daño para Z = 0 cm. y Z = 30 cm., tomados del Apéndice “A”
 Ct = Coeficiente de Acumulación del tránsito = 7,876.1757 calculado por la fórmula correspondiente, indicada en la tabla anterior o por medio de la figura 1.VI Gráfica para estimar el coeficiente de acumulación del tránsito (Ct)

Coefficiente de distribución en el carril de proyecto = 0.5 para una carretera de dos carriles

n = Años de servicio considerados = 15 años.

r = Tasa de crecimiento anual del tránsito = 5.0 %

ΣL = Tránsito Equivalente Acumulado, calculado en **9'193,860** para carpeta y base.

Para sub-base y terracería de **6'181,105**

3.4 DEFINICIÓN DE ESPESORES.

En el ejemplo propuesto, para el diseño de carpeta y base, se obtiene un tránsito equivalente (ΣL) = **9'193,860** ejes equivalentes; suponiendo $Z = 0$ cm.

Para el diseño de sub-base y terracerías, se obtiene un tránsito equivalente (ΣL) = **6'181,105** ejes equivalentes; suponiendo $Z = 30$ cm.

Se considero una carretera tipo "A" de dos carriles y se estima un buen control de la construcción y conservación adecuada, se puede elegir un nivel de confianza conservador, por ejemplo, $Q_u = 0.80$

Para establecer los espesores equivalentes (Z_i) mínimos requeridos sobre una capa de material ($i + 1$) se considera utilizar el nomograma correspondiente al nivel de confianza elegido ($Q_u = 0.80$)

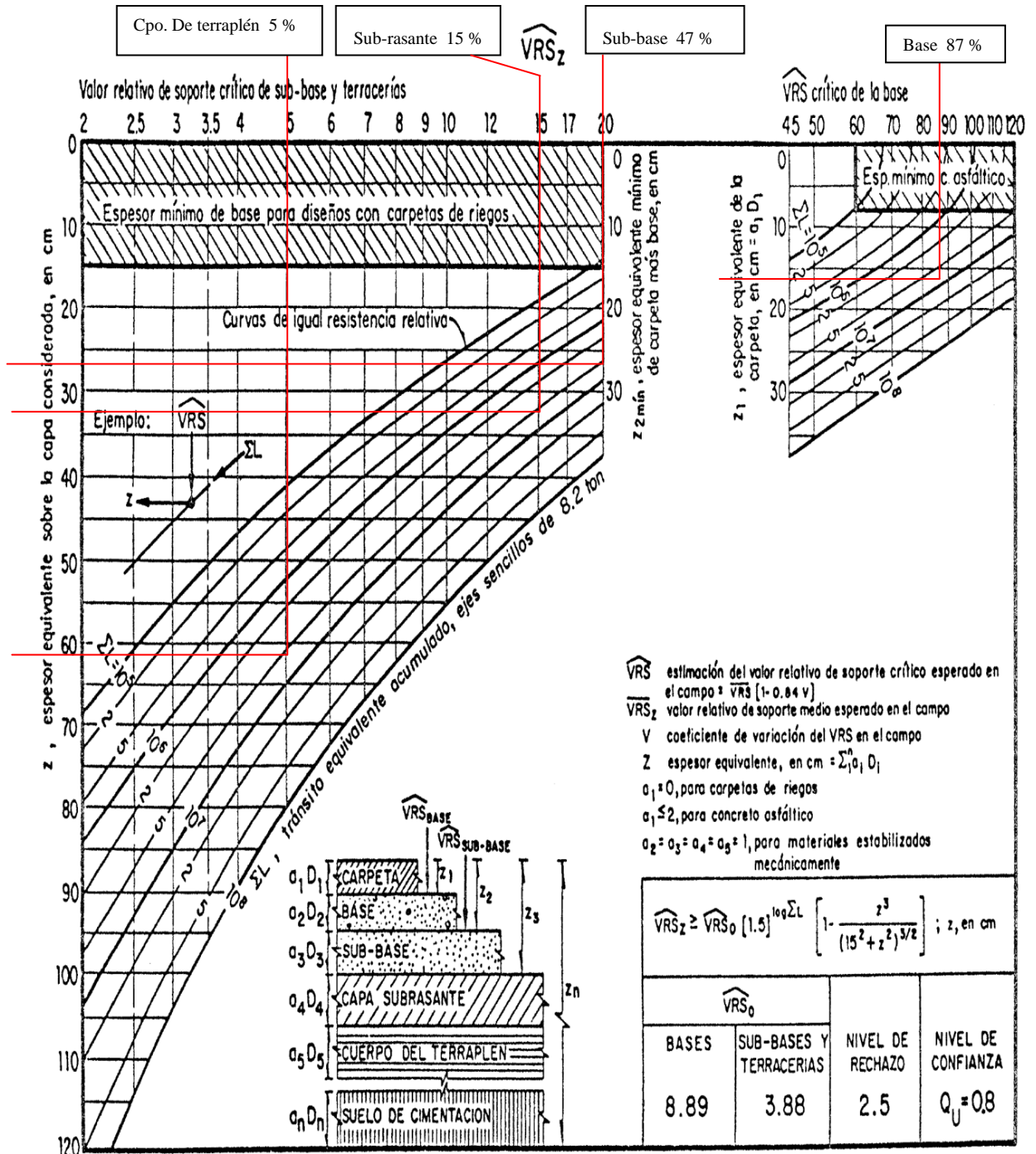
| | |
|----------------------|------------------------------------|
| Base | VRS crítico = 86.9 % = 87 % |
| Sub-base | VRS crítico = 55.3 % = 47 % |
| Sub-rasante | VRS crítico = 15 % = 15 % |
| Cuerpo del terraplén | VRS crítico = 5 % |

Determinación de espesores: Con el nomograma de diseño correspondiente al nivel de confianza de 0.80, cuyos resultados se indican en la tabla VI.5 siguiente.

Tabla VI.5 Espesores requeridos equivalentes sobre la capa considerada.

| Material de la capa: | VRSz | Espesor equivalente sobre la capa, en cm. Base ($\Sigma L = 9.2 \times 10^6$) | Sub-base o terracería ($\Sigma L = 6.2 \times 10^6$) |
|----------------------|------|--|---|
| Carpeta | - | | |
| Base | 87 | $Z_1 = 17$ cm. | |
| Sub-base | 47 | | $Z_2 = 27$ cm. |
| Sub-rasante | 15 | | $Z_3 = 33$ cm. |
| Cuerpo de terraplén | 5 | | $Z_4 = 62$ cm. |

Figura 4.VI Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible



* Para lograr una estructura adecuada, el criterio de diseño fija un VRS crítico máximo de 20 por ciento (%) para calcular Z_2 . Por lo tanto la sub-base, se limita su VRS crítico a 20 como se señala en el nomograma anterior, para la determinación de espesores.

De acuerdo al nomograma de diseño correspondiente a un nivel de confianza de 0.8, se tienen los espesores requeridos a partir de la superficie de la capa considerada, como sigue:

El espesor equivalente requerido es de 17 cm. arriba de la base.

El espesor equivalente requerido a partir de la capa de sub-base es de 27 cm.

El espesor equivalente requerido a partir de la capa de sub-rasante es de 33 cm.

El espesor equivalente requerido a partir de la superficie del cuerpo del terraplén es de 62 cm.

Por lo anterior, como se requieren 17 cm a partir de la base se considera colocar una carpeta de concreto asfáltico de 8 cm. de espesor, ya que tiene un coeficiente de resistencia estructural $a_1 = 2$, por lo tanto se tiene que 8 cm. de carpeta de concreto asfáltico equivale a 16 cm, de espesor equivalente requerido.

Enseguida, se tiene que a partir de la superficie de la capa de sub-base, se requieren 27 cm., y como ya se consideraron 16.0 cm para la carpeta; se requieren 11 cm., de capa de base,

Así mismo, a partir de la capa de sub-rasante se requieren 33 cm. y como ya se consideraron 16 cm. de carpeta más 11 cm. de base, se tienen 6.0 cm. de capa de sub-base.

También se tiene que a partir de la superficie del cuerpo del terraplén se requieren 62 cm. de espesor requerido, pero ya se tienen 33 cm para carpeta, base y sub-base, $(16+11+6= 33)$; por lo tanto se tendrán 29 cm. para la capa de sub-rasante.

Por lo anterior, de acuerdo a los espesores requeridos y considerados en el nomograma de espesores, se tendría una estructura de pavimento como sigue:

Carpeta de concreto asfáltico = 8.0 cm.

Base hidráulica = 11.0 cm.

Sub-base = 6.0 cm.

Sub-rasante = 29 cm.

Para definir la estructura definitiva del pavimento, se deben de considerar las especificaciones de construcción y de las características de de calidad de los materiales pétreos que se empleen. Por lo tanto se considera carpeta de concreto asfáltico de 8.0 cm..

Una capa de base de 17.0 cm. en lugar de (los 11.0 cm de base y 6.0 cm. de sub-base). Pero por razones constructivas, el espesor de la base, depende también del tamaño máximo del agregado pétreo empleado, ya que el tamaño máximo del agregado pétreo empleado, no debe ser mayor del 20 % de la capa de base o sub-base; si se tiene que:

Para un agregado de T. Máx. de 1½” ; se requiere un espesor mínimo de 7.5” (19.05 cm.)

Para un agregado de T. Máx. de 1” ; se requiere un espesor mínimo de 5” (12.7 cm.)

Por lo anterior sí se considera emplear el agregado de 1” de tamaño máx., se puede construir la capa de base de 17.0 cm. y empleando agregado de 1½” de tamaño máx., el espesor mínimo será de 19.05 cm. pero por razones constructivas convendría construir la capa de base de 20.0 cm de espesor.

En cuanto a la capa de sub-rasante, como se tiene un tránsito tan intenso (de 1 millón a 10 millones de ejes equivalentes), por especificaciones SCT, la capa de sub-rasante requiere de un espesor mínimo de 30 cm.

Por lo anterior se considerará una estructura definitiva de:

Carpeta de concreto asfáltico = 8.0 cm.

Base hidráulica = 20.0 cm.

Sub-rasante = 30.0 cm.

Los espesores anteriores de cada capa, se pueden cambiar, manteniendo la equivalencia estructural, por ejemplo se podría poner una capa de concreto asfáltico de 4.0 cm. y se incrementaría el espesor de la base en 8.0 cm. y se tendría una estructura de 4.0 cm. de carpeta de concreto asfáltico, 28.0 cm. de base y 30.0 cm. de sub-rasante, lo que indica que el proyectista definirá la conveniencia de la elección de los espesores de la estructura del pavimento proyectado, en función de los parámetros de diseño considerados.

APÉNDICE “A”

Tablas de coeficientes de daño y Gráficas para diseño estructural para construcción y reconstrucción de pavimentos flexibles para carreteras.

TIPO: A2 AUTOMOVIL

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|-----------------|------------------|--------------|------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A, B y C | 1* | 1.0 | 0.8 | 5.8 | 0.0023 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0023 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 2* | 1.0 | 0.8 | 5.8 | 0.0023 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0023 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Suma | 2.0 | 1.6 | | 0.0046 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0046 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el “Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT” México, D.F. 1978

TIPO: A2 CAMIÓN LIGERO, CON CAPACIDAD DE CARGA HASTA DE TRES (3) TONELADAS

| | Conjunto de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|-----------------|------------------|----------------|------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|-------------|-------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A, B y C | 1* | 1.7 | 1.3 | 4.6 | 0.0268 | 0.003 | 0.00 | 0.00 | 0.268 | 0.001 | 0.00 | 0.00 |
| | 2* | 3.8 | 1.2 | 4.6 | 0.0268 | 0.061 | 0.023 | 0.015 | 0.268 | 0.001 | 0.00 | 0.00 |
| | Suma | 5.5 | 2.5 | | 0.0536 | 0.064 | 0.023 | 0.015 | 0.536 | 0.002 | 0.00 | 0.00 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el “Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT” México, D.F. 1978

TIPO: B2 AUTOBÚS DE DOS (2) EJES (6 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 3.5 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.079 | 0.001 | 0.010 |
| | 2* | 10.0 | 7.0 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.679 | 0.501 | 0.433 |
| | Suma | 15.5 | 10.5 | | 2.00 | 1.890 | 2.457 | 2.939 | 2.00 | 0.757 | 0.502 | 0.443 |
| Camino B | 1* | 5.0 | 3.5 | 5.8 | 1.00 | 0.261 | 0.106 | 0.071 | 1.00 | 0.079 | 0.001 | 0.010 |
| | 2* | 9.0 | 6.5 | 5.8 | 1.00 | 1.234 | 1.483 | 1.630 | 1.00 | 0.558 | 0.359 | 0.292 |
| | Suma | 14.0 | 10.0 | | 2.00 | 1.495 | 1.589 | 1.701 | 2.00 | 0.637 | 0.360 | 0.302 |
| Camino C | 1* | 4.0 | 3.0 | 5.8 | 1.00 | 0.126 | 0.002 | 0.021 | 1.00 | 0.044 | 0.009 | 0.004 |
| | 2* | 8.0 | 6.0 | 5.8 | 1.00 | 0.944 | 0.900 | 0.878 | 1.00 | 0.448 | 0.249 | 0.190 |
| | Suma | 12.0 | 9.0 | | 2.00 | 1.010 | 0.902 | 0.899 | 2.00 | 0.492 | 0.258 | 0.194 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el “Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT” México, D.F. 1978

TIPO: B3 AUTOBÚS DE TRES (3) EJES (8 LLANTAS)

| | Conjunt nto de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm2 | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|-------------|---------------------------|-------------------|-------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.4 | 0.666 | 0.286 | 1.155 | 0.116 | 0.666 | 0.107 | 0.034 | 0.021 |
| | 2* | 14 | 8.0 | 5.4 | 1.333 | 1.083 | 0.722 | 0.735 | 1.333 | 0.214 | 0.057 | 0.037 |
| | Suma | 19.5 | 12.0 | | 1.999 | 1.369 | 0.877 | 0.852 | 1.999 | 0.321 | 0.091 | 0.058 |
| Camino B | 1* | 5.0 | 4.0 | 5.4 | 0.666 | 0.216 | 0.099 | 0.070 | 0.666 | 0.107 | 0.034 | 0.021 |
| | 2* | 14.0 | 7.5 | 5.4 | 1.333 | 1.083 | 0.722 | 0.735 | 1.333 | 0.172 | 0.042 | 0.026 |
| | Suma | 19.0 | 11.5 | | 1.999 | 1.299 | 0.821 | 0.805 | 1.999 | 0.279 | 0.076 | 0.047 |
| Camino C | 1* | 4.0 | 3.5 | 5.4 | 0.666 | 0.107 | 0.034 | 0.021 | 0.666 | 0.068 | 0.018 | 0.010 |
| | 2* | 14.0 | 7.5 | 5.4 | 1.333 | 1.083 | 0.722 | 0.735 | 1.333 | 0.172 | 0.042 | 0.026 |
| | Suma | 18.0 | 11.0 | | 1.999 | 1.190 | 0.756 | 0.756 | 1.999 | 0.240 | 0.060 | 0.036 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: B4 AUTOBÚS DE CUATRO (4) EJES (10 LLANTAS)

| | Conjunt nto de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm2 | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|-------------|---------------------------|-------------------|-------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1** | 7.0 | 5.0 | 5.4 | 1.333 | 0.136 | 0.030 | 0.018 | 1.333 | 0.038 | 0.006 | 0.003 |
| | 2** | 14.0 | 8.0 | 5.4 | 1.333 | 1.083 | 0.722 | 0.735 | 1.333 | 0.214 | 0.057 | 0.037 |
| | Suma | 21.0 | 13.0 | | 2.666 | 1.219 | 0.752 | 0.753 | 2.666 | 0.252 | 0.063 | 0.040 |
| Camino B | 1** | 7.0 | 5.0 | 5.4 | 1.333 | 0.136 | 0.030 | 0.018 | 1.333 | 0.038 | 0.006 | 0.003 |
| | 2** | 14.0 | 8.0 | 5.4 | 1.333 | 1.083 | 0.722 | 0.735 | 1.333 | 0.214 | 0.057 | 0.037 |
| | Suma | 21.0 | 13.0 | | 2.666 | 1.219 | 0.752 | 0.753 | 2.666 | 0.252 | 0.063 | 0.040 |
| Camino C | 1** | 7.0 | 5.0 | 5.4 | 1.333 | 0.136 | 0.030 | 0.018 | 1.333 | 0.038 | 0.006 | 0.003 |
| | 2** | 14.0 | 8.0 | 5.4 | 1.333 | 1.083 | 0.722 | 0.735 | 1.333 | 0.214 | 0.057 | 0.037 |
| | Suma | 21.0 | 13.0 | | 2.666 | 1.219 | 0.752 | 0.753 | 2.666 | 0.252 | 0.063 | 0.040 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: C2 CAMIÓN DE DOS (2) EJES (6 LLANTAS)

| | Conjunt nto de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm2 | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|-------------|---------------------------|-------------------|------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 3.5 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.079 | 0.019 | 0.010 |
| | 2* | 10.0 | 3.0 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.044 | 0.009 | 0.004 |
| | Suma | 15.5 | 6.5 | | 2.00 | 1.890 | 2.457 | 2.939 | 2.00 | 0.123 | 0.028 | 0.014 |
| Camino B | 1* | 5.0 | 3.0 | 5.8 | 1.00 | 0.261 | 0.106 | 0.071 | 1.00 | 0.044 | 0.009 | 0.004 |
| | 2* | 9.0 | 3.0 | 5.8 | 1.00 | 1.234 | 1.483 | 1.630 | 1.00 | 0.044 | 0.009 | 0.004 |
| | Suma | 14.0 | 6.0 | | 2.00 | 1.495 | 1.589 | 1.701 | 2.00 | 0.088 | 0.018 | 0.008 |
| Camino C | 1* | 4.0 | 2.5 | 5.8 | 1.00 | 0.126 | 0.036 | 0.021 | 1.00 | 0.022 | 0.003 | 0.002 |
| | 2* | 8.0 | 2.5 | 5.8 | 1.00 | 0.944 | 0.900 | 0.878 | 1.00 | 0.022 | 0.003 | 0.002 |
| | Suma | 12.0 | 5.0 | | 2.00 | 1.070 | 0.936 | 0.899 | 2.00 | 0.044 | 0.006 | 0.004 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: C3 CAMIÓN DE TRES (3) EJES (10 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.5 | 5.8 | 2.00 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.00 | 0.028 | 0.003 | 0.002 |
| | Suma | 23.5 | 8.5 | | 3.00 | 2.817 | 2.457 | 2.940 | 3.00 | 0.154 | 0.039 | 0.023 |
| Camino B | 1* | 5.0 | 3.8 | 5.8 | 1.00 | 0.261 | 0.106 | 0.071 | 1.00 | 0.106 | 0.028 | 0.016 |
| | 2** | 15.0 | 4.2 | 5.8 | 2.00 | 1.615 | 1.072 | 1.089 | 2.00 | 0.021 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 20.0 | 8.0 | | 3.00 | 1.876 | 1.178 | 1.160 | 3.00 | 0.127 | 0.030 | 0.017 |
| Camino C | 1* | 4.0 | 3.5 | 5.4 | 0.666 | 0.107 | 0.034 | 0.021 | 0.666 | 0.068 | 0.018 | 0.010 |
| | 2** | 14.0 | 4.0 | 5.4 | 1.333 | 1.083 | 0.722 | 0.735 | 1.333 | 0.015 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 18.0 | 7.5 | | 1.999 | 1.190 | 0.756 | 0.756 | 1.999 | 0.083 | 0.020 | 0.011 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: C4 CAMIÓN DE CUATRO (4) EJES (1 SENCILLO Y TRIPLE TANDEM) (14 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.5 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.187 | 0.064 | 0.040 |
| | 2*** | 22.5 | 8.0 | 5.8 | 3.00 | 2.422 | 2.289 | 2.818 | 3.00 | 0.084 | 0.020 | 0.011 |
| | Suma | 28.0 | 12.5 | | 4.00 | 2.771 | 2.456 | 2.937 | 4.00 | 0.271 | 0.084 | 0.051 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: T2 – S1 TRACTOR DE DOS (2) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE UN EJE (10 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 3.2 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 1.167 | 0.119 | 1.00 | 0.057 | 0.012 | 0.006 |
| | 2* | 10.0 | 3.4 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.071 | 0.016 | 0.009 |
| | 3* | 10.0 | 3.4 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.071 | 0.016 | 0.009 |
| | Suma | 25.5 | 10.0 | | 3.00 | 3.431 | 4.747 | 5.759 | 3.00 | 0.199 | 0.044 | 0.024 |
| Camino B | 1* | 5.0 | 3.0 | 5.8 | 1.00 | 1.261 | 0.106 | 0.071 | 1.00 | 0.044 | 0.009 | 0.004 |
| | 2* | 9.0 | 3.0 | 5.8 | 1.00 | 1.234 | 1.483 | 1.630 | 1.00 | 0.044 | 0.009 | 0.004 |
| | 3* | 9.0 | 3.0 | 5.8 | 1.00 | 1.234 | 1.483 | 1.63 | 1.00 | 0.044 | 0.009 | 0.004 |
| | Suma | 23.0 | 9.0 | | 3.00 | 2.729 | 3.072 | 3.331 | 3.00 | 0.132 | 0.027 | 0.012 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: T2 – S2 TRACTOR DE DOS (2) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES (14 LLANTAS)

| | Conjunt o de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm2 | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|-------------------|----------------|-------------|------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.00 | 0.0349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 10.0 | 3.5 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.079 | 0.019 | 0.010 |
| | 3** | 18.0 | 4.0 | 5.8 | 2.00 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.00 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 33.5 | 11.5 | | 4.00 | 4.358 | 4.747 | 5.760 | 4.00 | 0.222 | 0.057 | 0.032 |
| Camino B | 1* | 5.0 | 3.4 | 5.8 | 1.00 | 0.261 | 1.106 | 0.071 | 1.00 | 0.071 | 0.016 | 0.009 |
| | 2** | 9.0 | 3.4 | 5.8 | 1.00 | 1.234 | 1.483 | 1.630 | 1.00 | 0.071 | 0.016 | 0.009 |
| | 3** | 15.0 | 3.7 | 5.8 | 2.00 | 1.615 | 1.072 | 1.089 | 2.00 | 0.012 | 0.001 | 0.001 |
| | Suma | 29.0 | 10.5 | | 4.00 | 3.110 | 2.661 | 2.790 | 4.00 | 0.154 | 0.033 | 0.019 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: T3 – S2 TRACTOR DE TRES (3) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES (18 LLANTAS)

| | Conjunt o de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm2 | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|-------------------|----------------|-------------|------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.0 | 5.8 | 2.00 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 1.00 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | 3** | 18.0 | 4.0 | 5.8 | 2.00 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.00 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 41.5 | 12.0 | | 5.00 | 5.285 | 4.747 | 5.761 | 5.00 | 0.160 | 0.040 | 0.023 |
| Camino B | 1* | 5.0 | 3.5 | 5.8 | 1.00 | 0.261 | 0.106 | 0.071 | 1.00 | 0.079 | 0.019 | 0.010 |
| | 2** | 15.0 | 4.0 | 5.8 | 2.00 | 1.615 | 1.072 | 1.089 | 2.00 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | 3** | 15.0 | 4.0 | 5.8 | 2.00 | 1.615 | 1.072 | 1.089 | 2.00 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 35.0 | 11.5 | | 5.00 | 3.491 | 2.250 | 2.249 | 5.00 | 0.113 | 0.023 | 0.012 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: T3 – S3 TRACTOR DE TRES (3) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE TRES EJES (22 LLANTAS)

| | Conjunt o de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm2 | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|-------------------|----------------|-------------|------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.0 | 5.8 | 2.00 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.00 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | 3*** | 22.5 | 5.0 | 5.8 | 3.00 | 2.422 | 2.289 | 2.818 | 3.00 | 0.011 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 46.0 | 13.0 | | 6.00 | 5.239 | 4.746 | 5.758 | 6.00 | 0.154 | 0.040 | 0.023 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: C2 – R2 CAMIÓN DE DOS (2) EJES CON REMOLQUE DE DOS EJES (14 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 3.5 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.079 | 0.019 | 0.010 |
| | 2* | 10.0 | 3.0 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.044 | 0.009 | 0.004 |
| | 3* | 10.0 | 2.0 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.009 | 0.001 | 0.00 |
| | 4* | 10.0 | 2.0 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.009 | 0.001 | 0.00 |
| | Suma | 35.5 | 10.5 | | | 4.00 | 4.972 | 7.037 | 8.579 | 4.00 | 0.141 | 0.030 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: C3 – R2 CAMIÓN DE TRES (3) EJES CON REMOLQUE DE DOS EJES (18 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.0 | 4.0 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.5 | 5.8 | 2.00 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.00 | 0.028 | 0.003 | 0.002 |
| | 3* | 10.0 | 2.0 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.009 | 0.001 | 0.000 |
| | 4* | 10.0 | 2.0 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.009 | 0.001 | 0.000 |
| | Suma | 43.5 | 12.5 | | | 5.00 | 5.899 | 7.037 | 8.580 | 5.00 | 0.172 | 0.041 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: C3 – R3 CAMIÓN DE TRES (3) EJES CON REMOLQUE DE TRES EJES (22 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.00 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.00 | 0.126 | 0.030 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.5 | 5.8 | 2.00 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.00 | 0.028 | 0.003 | 0.002 |
| | 3* | 10.0 | 2.0 | 5.8 | 1.00 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.00 | 0.009 | 0.001 | 0.000 |
| | 4** | 18.0 | 3.0 | 5.8 | 2.00 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.00 | 0.005 | 0.000 | 0.000 |
| | Suma | 51.5 | 13.5 | | | 6.00 | 6.826 | 7.037 | 8.581 | 6.00 | 0.168 | 0.040 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: T2 – S1 – R2 TRACTOR DE DOS (2) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE UN EJE Y
REMOLQUE DE DOS EJES (18 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 3.2 | 5.8 | 1.000 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.000 | 0.057 | 0.012 | 0.006 |
| | 2* | 10.0 | 3.4 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.071 | 0.016 | 0.009 |
| | 3* | 10.0 | 2.4 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.018 | 0.003 | 0.001 |
| | 4* | 10.0 | 2.3 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.015 | 0.002 | 0.001 |
| | 5* | 10.0 | 2.2 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.013 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 45.5 | 13.5 | | | 5.000 | 6.513 | 9.327 | 11.399 | 5.000 | 0.174 | 0.035 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: T2 – S2 – R2 TRACTOR DE DOS (2) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES Y
REMOLQUE DE DOS EJES (22 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.000 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.000 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2* | 10.0 | 4.0 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 3** | 18.0 | 3.5 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.009 | 0.001 | 0.000 |
| | 4* | 10.0 | 2.3 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.015 | 0.002 | 0.001 |
| | 5* | 10.0 | 2.2 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.013 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 53.5 | 16.0 | | | 6.000 | 7.440 | 9.327 | 11.400 | 6.000 | 0.289 | 0.077 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: T3 – S1 – R2 TRACTOR DE TRES (3) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE UN EJE Y REMOLQUE
DE DOS EJES (22 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.000 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.000 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.0 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | 3* | 10.0 | 2.5 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.022 | 0.003 | 0.002 |
| | 4* | 10.0 | 2.3 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.015 | 0.002 | 0.001 |
| | 5* | 10.0 | 2.2 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.013 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 53.5 | 15.0 | | | 6.000 | 7.440 | 9.327 | 11.400 | 6.000 | 0.193 | 0.045 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el "Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT" México, D.F. 1978

TIPO: T3 – S2 – R2 TRACTOR DE TRES (3) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES Y
REMOLQUE DE DOS EJES (26 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.000 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.000 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.0 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | 3** | 18.0 | 3.5 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.009 | 0.001 | 0.000 |
| | 4* | 10.0 | 2.3 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.015 | 0.002 | 0.001 |
| | 5* | 10.0 | 2.2 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.013 | 0.002 | 0.001 |
| | Suma | 61.5 | 16.0 | | | 7.000 | 8.367 | 9.327 | 11.401 | 7.000 | 0.180 | 0.043 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el “Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT” México, D.F. 1978

TIPO: T3 – S2 – R3 TRACTOR DE TRES (3) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES Y
REMOLQUE DE TRES EJES (30 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.000 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.000 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.0 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | 3** | 18.0 | 3.5 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.009 | 0.001 | 0.000 |
| | 4* | 10.0 | 2.3 | 5.8 | 1.000 | 1.541 | 2.290 | 2.820 | 1.000 | 0.015 | 0.002 | 0.001 |
| | 5** | 18.0 | 3.2 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.006 | 0.001 | 0.000 |
| | Suma | 69.5 | 17.0 | | | 8.000 | 9.294 | 9.327 | 11.401 | 8.000 | 0.173 | 0.042 |

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el “Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT” México, D.F. 1978

TIPO: T3 – S2 – R4 TRACTOR DE TRES (3) EJES CON SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES Y
REMOLQUE DE CUATRO EJES (34 LLANTAS)

| | Conjunta de Ejes | Peso en Ton. | | Presión inflado Kg/cm ² | Coeficiente de daño bajo carga Máxima | | | | Coeficiente de daño vacío | | | |
|----------|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | + Carga máxima | Vacío | | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 | Z=0 | Z=15 | Z=30 | Z=60 |
| Camino A | 1* | 5.5 | 4.0 | 5.8 | 1.000 | 0.349 | 0.167 | 0.119 | 1.000 | 0.126 | 0.036 | 0.021 |
| | 2** | 18.0 | 4.0 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| | 3** | 18.0 | 3.5 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.009 | 0.001 | 0.000 |
| | 4** | 18.0 | 3.5 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.007 | 0.001 | 0.000 |
| | 5** | 18.0 | 3.3 | 5.8 | 2.000 | 2.468 | 2.290 | 2.821 | 2.000 | 0.006 | 0.001 | 0.000 |
| | Suma | 77.5 | 18.0 | | | 9.000 | 10.221 | 9.327 | 11.403 | 9.000 | 0.165 | 0.041 |

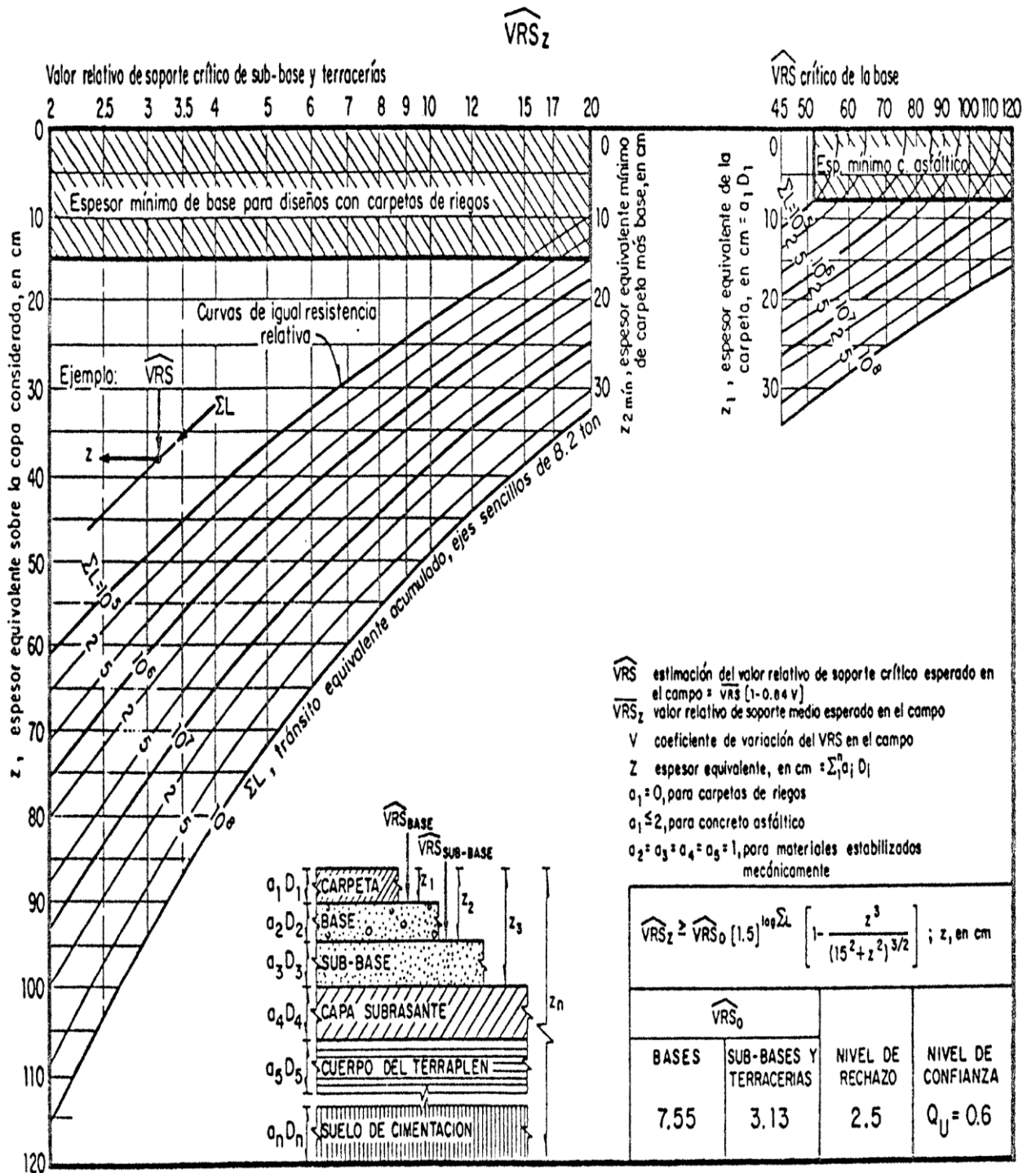
* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

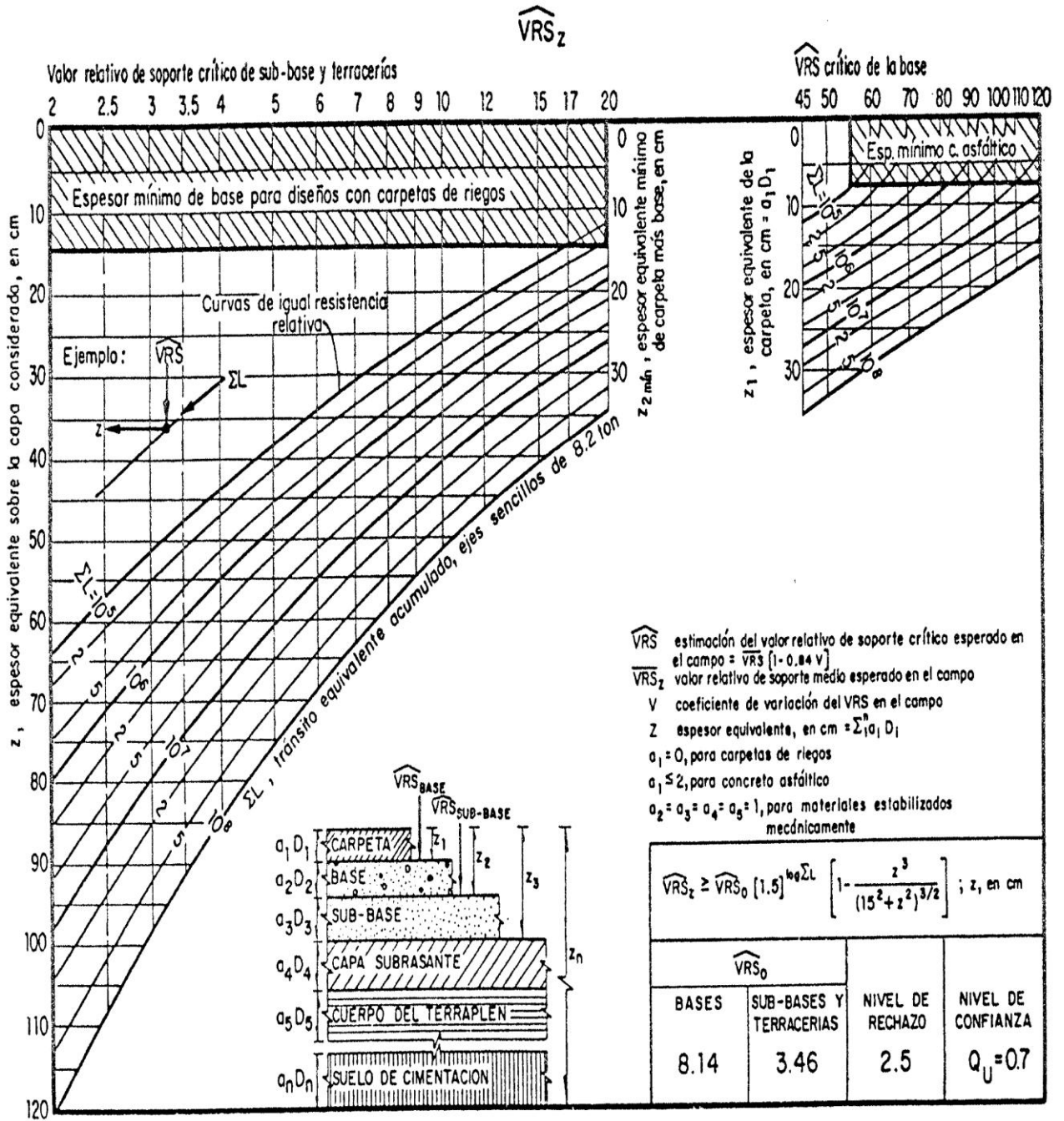
*** EJE TRIPLE

Carga máxima autorizada en el “Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT” México, D.F. 1978

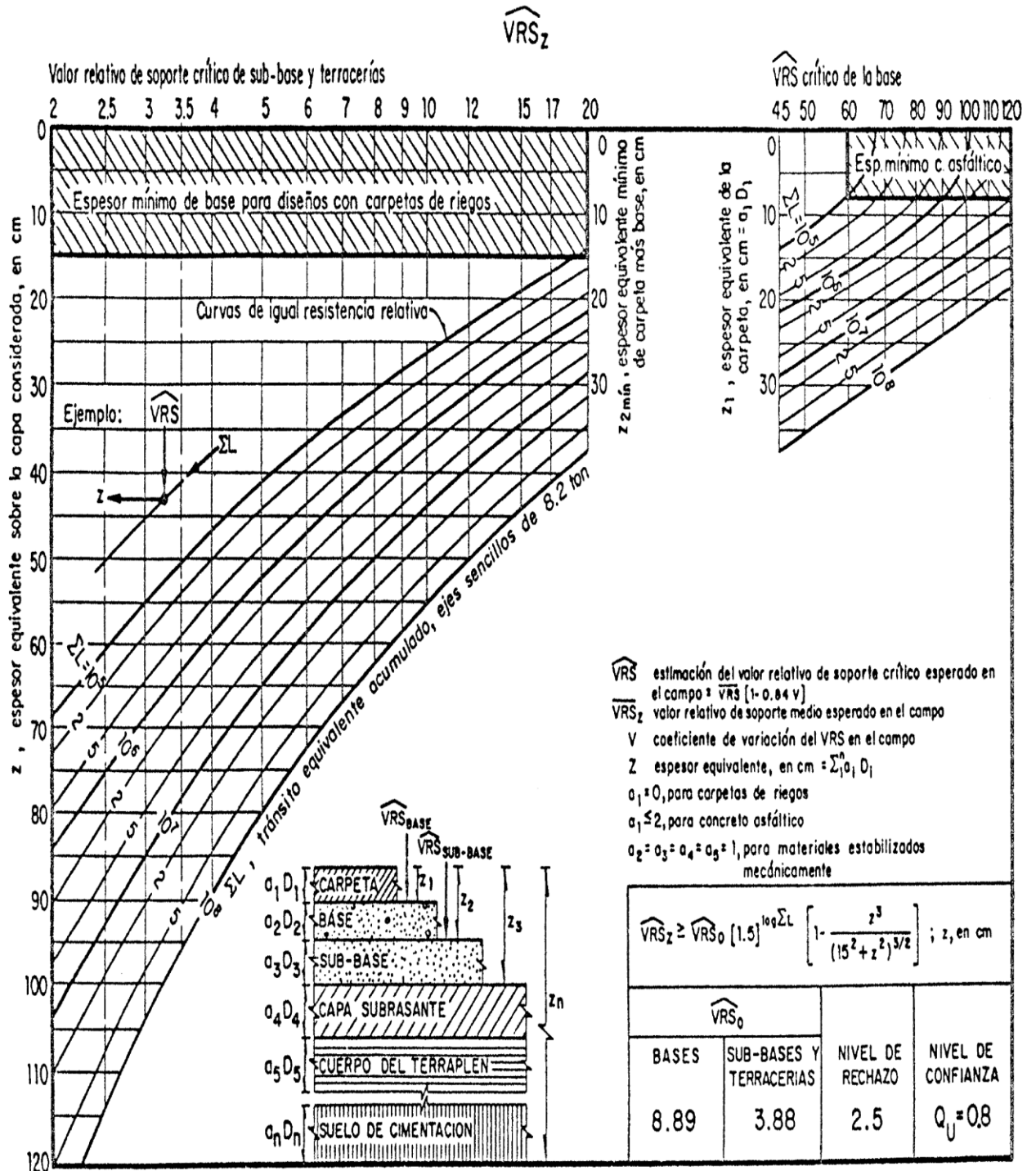
Grafica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, correspondiente a un nivel de confianza de $Q_u = 0.6$



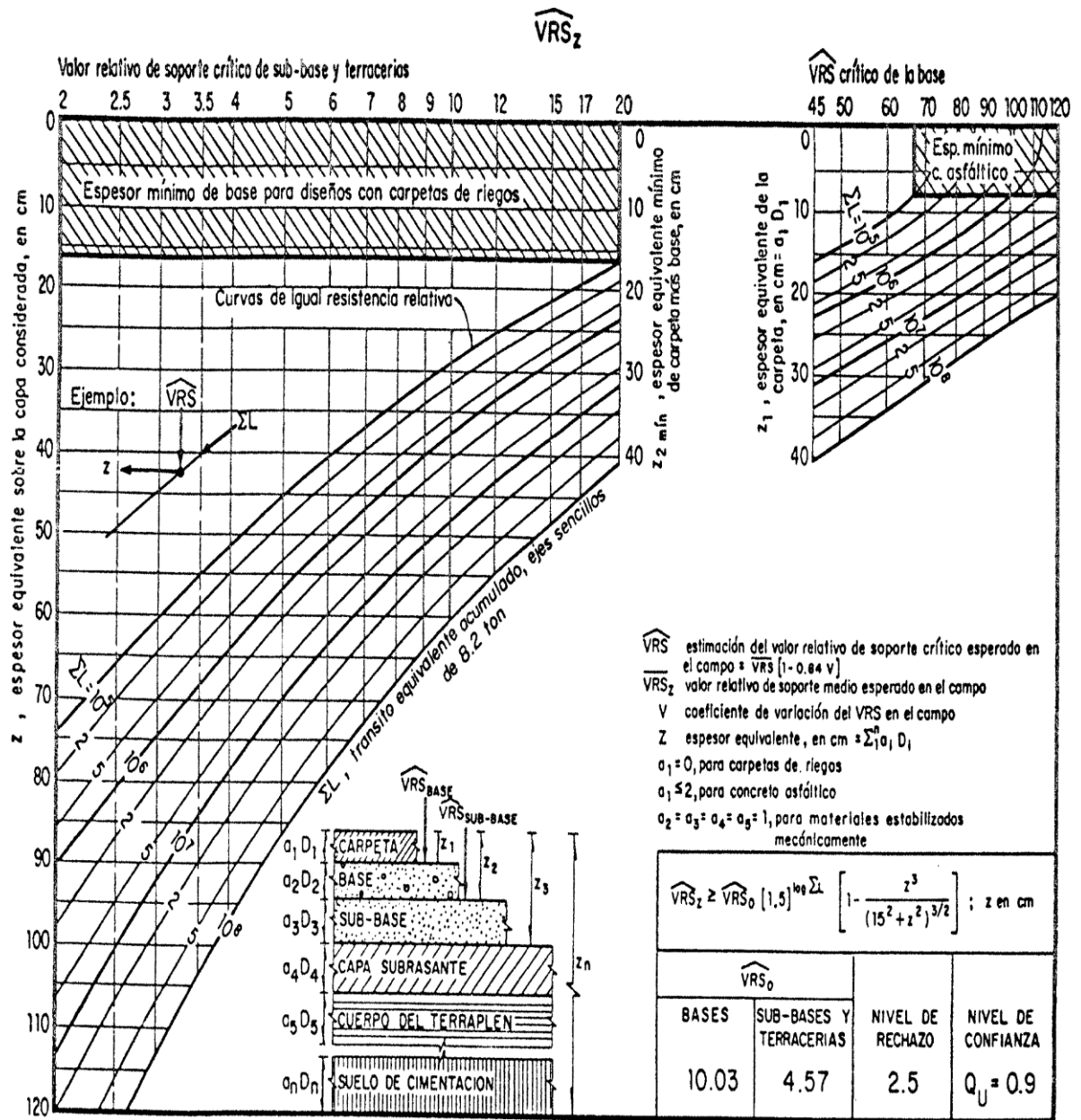
Grafica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, correspondiente a un nivel de confianza de $Q_u = 0.7$



Grafica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, correspondiente a un nivel de confianza de $Q_u = 0.8$



Grafica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, correspondiente a un nivel de confianza de $Q_u = 0.9$



B. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, INCLUYENDO CARRETERAS DE ALTAS ESPECIFICACIONES; EMPLEANDO EL PROGRAMA DE CÓMPUTO DISPAV-5 - VERSIÓN 2.0

En este trabajo de titulación, solo se presentan los conceptos básicos de éste diseño, en forma breve y concreta.

Este criterio de diseño consiste en facilitar y simplificar mucho el método para Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras del Instituto de Ingeniería de la UNAM, anteriormente descrito, empleando un programa interactivo de cómputo, DISPAV-5 Diseño de Pavimentos, empleando secciones estructurales hasta de cinco capas, lo cual simplifica mucho el empleo del método de diseño ya que incorpora tanto el cálculo por deformación permanente, en el modelo elasto-plástico, como el cálculo por fatiga empleando modelos elásticos de varias capas, así como, se utiliza el planteamiento teórico-experimental; propuestos en los informes técnicos números 325 y 444 de las series del Instituto de Ingeniería de la UNAM., complementando este programa con los resultados de las numerosas investigaciones realizadas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM., y la información existente en el ámbito internacional.

El DISPAV-5 es un programa de tipo interactivo que permite calcular estructuras de terracerías y pavimentos tanto para carreteras de altas especificaciones como carreteras normales. Su fundamento es teórico-experimental, y para su aplicación se emplean conceptos y métodos de cálculo mecanicistas. Este programa puede consultarse o adquirirse en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Entre las adiciones incluidas, respecto al método original, publicado en 1974, está la de incorporar de manera explícita un modelo mecanicista para determinar las deformaciones unitarias de fatiga, basado en los estudios experimentales realizados en el Instituto de Ingeniería de la UNAM., sobre mezclas asfálticas típicas durante los años 1985 a la fecha.

También se agrega un nuevo modelo desarrollado para diseñar estructuras de carreteras de altas especificaciones tomando en cuenta tanto la deformación permanente acumulada (rodera) como el agrietamiento a fatiga en las capas ligadas con asfalto.

El modelo original para caminos normales, no sufrió cambios adicionales y también está incorporado al programa DISPAV-5.

1 OPCIONES DE CÁLCULO:

El programa DISPAV-5, permite dos procedimientos de cálculo:

- a) Diseño de un pavimento, a partir de un tránsito de proyecto y de características mecánicas de materiales conocidos. En este caso se llega a la determinación de los espesores de capa requeridos para el tránsito de proyecto deseado.
- b) Diseño de un pavimento, en función de la determinación de la vida previsible por deformación permanente y por agrietamiento debido a la fatiga, del sistema de capas analizado

1.2 Procedimiento de entrada al programa interactivo de cómputo DISPAV-5

El programa opera, de manera ejecutable en computadoras con sistemas operativos Windows 3.1, 3.11, Windows 95/ 98/ NT, lo cual requiere que el disco duro tenga archivos tipo FAT. No requiere de instalación especial en la computadora y la velocidad de la misma puede ser de 66 MHz en adelante.

Para iniciar el cálculo hay que introducir el disquete del programa en el puerto A:/, con todo el conjunto de programas del dispav-5. Para iniciar el cálculo se abre el archivo DISPAV-5.exe, que de manera interactiva solicitará los insumos requeridos.

Para mayor rapidez de cálculo, los programas incluidos en el disquete DISPAV-5 pueden copiarse a una carpeta o a un subdirectorio del disco duro de la computadora.

2. PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL

El procedimiento tiene varias etapas:

1. Entrada de datos.
2. Diseño por deformación.
3. Revisión del diseño anterior para efectos de fatiga.
4. En caso de que no se satisfaga el criterio de fatiga se puede modificar el diseño Resultante.

2.1 Entrada de datos de proyecto

El programa requiere la alimentación de información referente al tipo de carretera, tránsito de proyecto, materiales a emplear y nivel de confianza. A continuación se detallan los datos por introducir, en el orden pedido por el programa.

2.1.1 Tipo de carretera

Se presentan dos modelos de diseño:

- 1.- Diseño de carreteras de altas especificaciones en las cuales se requiere conservar un nivel de servicio alto de la superficie de rodamiento, durante toda la vida de servicio. Al término de la vida de proyecto la deformación esperada con este modelo es del orden de $\Delta_{20} = 1.2$ cm. (percentil 80 de la deformación máxima) con agrietamiento ligero o medio.
- 2.- Diseño en carreteras normales en donde la deformación permanente esperada, al término de la vida de proyecto, es de $\Delta_{20} = 2.5$ cm., con agrietamiento medio o fuerte. En este tipo de diseño se debe hacer mantenimiento rutinario frecuente.

Es importante hacer notar que el comportamiento del pavimento depende de manera significativa del control de calidad en la construcción y de un mantenimiento adecuado. En el caso de carpetas asfálticas el diseño de la mezcla asfáltica es un elemento importante en el comportamiento y se requiere de un diseño cuidadoso para evitar la falla prematura.

En el caso de caminos de altas especificaciones las consideraciones anteriores tienen mayor relevancia, y es necesario elegir materiales de construcción de muy buena calidad; emplear un diseño correcto en las mezclas asfálticas, considerando la posibilidad de realizar pruebas de comportamiento de las misma, para tener una mayor confiabilidad en el proyecto; y por último aplicar un control de calidad riguroso durante la construcción.

2.1.2 Tránsito de proyecto

El método requiere dos tránsitos de proyecto:

- Tránsito equivalente para el diseño por fatiga de las capas ligadas (**daño superficial**)
- Tránsito equivalente para el diseño por deformación permanente acumulada (**daño profundo**)

En la experimentación se toman en cuenta las cargas reales. Sin embargo en el proceso de análisis se acostumbra utilizar el “**Tránsito equivalente**”, usualmente referido a ejes sencillos con llantas gemelas y peso estándar de 8.2 ton., el cual produce el mismo daño que el “**Tránsito mezclado**” que se presenta en la realidad.

En carreteras con más de dos carriles, debe de estimarse la proporción de vehículos que soportara el carril de proyecto, ya que ésta definición influye de manera directa en el costo de la carretera y en su comportamiento en condiciones reales de servicio.

Si no se cuenta con información confiable, puede considerarse las siguientes distribuciones del tránsito total para dicho carril de proyecto:

DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO EN EL CARRIL DE PROYECTO

| Número de carriles en ambas direcciones | Coeficiente de distribución en el carril de proyecto, en porciento |
|---|--|
| 2 | 50 |
| 4 | 40 – 50 |
| 6 | 30 - 40 |

Para introducir en el programa DISPAV-5, los datos correspondientes al tránsito equivalente en el carril de proyecto, que deberá soportar la carretera durante su vida útil, se dispone de dos alternativas:

1.- Si se conoce el tránsito equivalente de 8.2 Ton. Métricas (18,000 libras) en el carril de proyecto, basta simplemente introducirlos, anotando su valor en millones de ejes estándar, apretando después la tecla de entrada.

2.- Si se desconoce dicho tránsito equivalente de 8.2 Ton., se puede estimar empleando la subrutina incluida en el programa DISPAV-5, a partir de los siguientes datos:

- Tránsito Diario Promedio Anual en el carril de proyecto, en número de vehículos.
- Composición del tránsito, por tipo de vehículo, en porciento.
- Carga por eje (sencillo, doble o triple) de cada tipo de vehículo, en toneladas métricas.
- Proporción de vehículos cargados y vacíos, en forma global o por cada tipo de unidad.
- Tasa de crecimiento anual del tránsito, en porciento.
- Período de vida útil de proyecto, en años.

Después de haber calculado el tránsito, en ejes equivalentes (8.2 Ton.) de proyecto, el programa lo clasifica en cuatro niveles, con objeto de establecer espesores mínimos de capa, de acuerdo con lo siguiente:

Niveles del tránsito equivalente en el carril de proyecto.

| NIVEL DE TRÁNSITO EQUIVALENTE | EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON. MÉTRICAS |
|-------------------------------|--|
| I | $T \leq 10^6$ |
| II | $10^6 < T \leq 10^7$ |
| III | $10^7 < T \leq 5 \times 10^7$ |
| IV | $5 \times 10^7 < T$ |

2.1.3 Capas consideradas

Para iniciar el diseño se requiere saber cómo lo concibe el proyectista y se piden las capas que se están considerando incluir.

Desde el punto de vista estructural es conveniente emplear un número de capas no mayor de cinco, de tal manera que tanto el análisis como la construcción correspondan a un proyecto bien definido, fácil de construir y de conservar durante su vida de servicio.

De acuerdo con lo anterior, el programa DISPAV-5 está proyectado para analizar secciones estructurales con un máximo de cinco capas, las cuales pueden ser:

- 1.- Carpeta asfáltica.
- 2.- Base granular, o estabilizada con asfalto.
- 3.- Sub-base granular.
- 4.- Sub-rasante.
- 5.- Terracería.

El número mínimo de capas consideradas es dos, y una de ellas debe ser la terracería. También se establece como restricción que la primera capa sea carpeta o base.

Se puede incluir la posibilidad de considerar una base estabilizada con asfalto, después de hacer el análisis de esfuerzos y deformaciones

La capa de terracería se analiza como un medio semi-infinito, aspecto que hay que tomar en cuenta cuando se realiza el análisis de deflexiones de la sección estructural.

El método de diseño proporciona una estimación adecuada de las deformaciones unitarias por fatiga en las capas estabilizadas con asfalto, empleando el modelo elástico de cinco capas (CHEV4), con las adaptaciones realizadas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

2.1.4 Valores relativos de soporte críticos, VRSz.

A continuación se piden los Valores Relativos de Soporte críticos de cada una de las capas no estabilizadas. El VRSz es una de las variables de proyecto más importantes y el proyectista debe poner mucho cuidado en su estimación de manera que sea representativo de las condiciones esperadas en el camino durante la vida de servicio de la obra vial. Se pueden consultar los informes técnicos 325 y 444 de las series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, para recomendaciones sobre su elección.

En este punto del programa se revisan los Valores Relativos de Soporte críticos inducidos (VRSz), en relación con los valores máximos y mínimos permisibles para cada capa.

El VRSz crítico es comparado con el máximo permisible (VRSz máx.) el cual está basado en consideraciones prácticas de proyecto. Si dicho VRSz es mayor, entonces se toma el VRS máx., como valor de proyecto (VRS_p) para efectos de diseño por deformación permanente acumulada; conservando el VRSz estimado por el proyectista para su utilización posterior.

VRS máximo para todos los niveles de tránsito, (VRSp)

| Capa | VRS máximo |
|------------|------------|
| Base | 120 |
| Sub-base | 30 |
| Subrasante | 20 |
| Terracería | 20 |

Los valores máximos de VRSz se establecen para obtener espesores razonables desde el punto de vista constructivo, y confiabilidad de diseño.

Los VRSz mínimos se especifican para limitar la calidad mínima de la base y de la terracería.

VRS mínimos, para todos los niveles de tránsito.

| Material | VRSp mínimo permisible por proyecto, en porciento |
|------------|---|
| Base | 70 % |
| Terracería | 3 % |

Si se introducen valores menores a éstos el programa se detiene.

En el caso de la terracería, un Valor Relativo de Soporte (VRSz) muy bajo implica un terreno de cimentación que requiere estudios geotécnicos especiales para diseñar la sección estructural de la carretera. En este caso es posible que existan problemas serios de drenaje, o un nivel freático alto, que causen consolidación de la sección estructural de la carretera y problemas en el comportamiento del pavimento.

Una calidad indeseable de la terracería ocasiona problemas no considerados en el método de diseño (como consolidación, expansión y otros) y no resulta adecuado diseñar si no se corrigen previamente estos problemas.

2.1.5 Módulos elásticos de las capas no estabilizadas

Para el diseño por fatiga se requieren encontrar las deformaciones unitarias críticas de tensión en la parte inferior de la carpeta. Para esto se necesita conocer el módulo de rigidez (módulo elástico) de las capas no estabilizadas.

El programa solicita al usuario el módulo de rigidez. En caso de que no se tenga una estimación fundamentada de ese valor se presenta al usuario la opción de estimarlo a partir del VRSz crítico esperado en el lugar (sin afectarlo por restricciones de valores mínimos o máximos), de acuerdo con el modelo desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, igual a: $E = 130 \text{ VRSz}^{0.7}$.

Las relaciones empíricas entre el módulo de rigidez y el VRSz deben tomarse con precaución pues se obtienen para condiciones muy generales y pueden requerir modificaciones en proyectos específicos. El programa permite que el usuario cambie los valores sugeridos, para tomar en cuenta su experiencia con los materiales específicos del proyecto.

2.1.6 Módulo de rigidez de la carpeta

Los requisitos establecidos en éste modelo de diseño, hacen necesario contar con carpeta asfáltica para tránsito bajo su inclusión es opcional.

Para fines de cálculo estructural, cuando se utiliza carpeta asfáltica se requiere introducir el módulo de rigidez, o módulo dinámico, en Kg/cm². La estimación del módulo de rigidez de proyecto es un procedimiento que debe hacerse con mucho cuidado, ya que debe presentar el comportamiento de dicha capa en condiciones de servicio, durante la vida útil de la carretera.

En la reología de las mezclas asfálticas, la temperatura y el tiempo de aplicación de carga tiene una influencia significativa en el valor del módulo en un momento determinado, por lo cual se recomienda hacer estudios regionales para fijar los valores de proyecto.

Lo anterior puede hacerse analíticamente aplicando la ley de Miner al análisis detallado de la información experimental, por épocas climáticas.

En el diseño por deformación el módulo de la carpeta se requiere solo para estimar el coeficiente de equivalencia de esa capa, en relación con la base granular.

Si no se conoce el módulo de rigidez de la carpeta el programa se detiene para darle oportunidad al proyectista de obtenerlo experimentalmente, o de estimarlo a partir de la composición volumétrica, características del asfalto, frecuencia de aplicación de carga y temperatura, por medio del programa MODULO-5.

Este programa MODULO-5 está basado en la experiencia de diferentes instituciones y se incluye como apoyo para estimar los módulos de rigidez, pero no forma parte del programa de diseño DISPAV-5.

La frecuencia de aplicación de la carga depende de la velocidad de operación de los vehículos (de los vehículos pesados en particular) y de la profundidad de la capa. El programa suministra sugerencias para frecuencias de aplicación aplicables a diferentes profundidades medias de capa y para la velocidad de operación normal de una carretera (del orden de 90 K.p.h.; en caso de velocidades menores, por ejemplo en carriles de ascenso para vehículos pesados, se debe hacer la corrección adecuada).

2.1.7 Relaciones de Poisson

También se necesita la relación de Poisson de todas las capas. Este parámetro es difícil de determinar experimentalmente ya que se requieren máquinas de prueba con una instrumentación que permita medir con precisión las deformaciones resilientes vertical y horizontal. El programa suministra valores promedio para cada capa y permite al usuario modificar esos valores en caso de contar con información confiable de ese parámetro para los materiales específicos que emplea.

2.1.8 Nivel de confianza del proyecto.

El nivel de confianza se refiere a la probabilidad de que la duración real del pavimento sea al menos igual a la de proyecto. Se sugiere el empleo de un nivel de 85 por ciento, pero el método permite al usuario el empleo de cualquier nivel entre 50 y 99 por ciento.

Con este último dato termina la entrada de datos del proyecto por deformación permanente y se pasa al cálculo de espesores.

2.2 Diseño por deformación permanente en la rodada.

Al tener el tránsito equivalente, los VRSz de las capas no estabilizadas, el módulo elástico de la carpeta, y el nivel de confianza del proyecto, se determinan los espesores requeridos para cada capa de la sección estructural, empleando los modelos matemáticos desarrollados para ese fin.

Se recomienda consultar los informes técnicos 325 y 444 de las series del Instituto de Ingeniería de la UNAM., así como la extensa información experimental disponible, en relación con los modelos matemáticos sobre diseño de deformaciones permanentes.

En caso de que al determinar los espesores se encuentre alguna capa que requiera espesores muy pequeños (menores de 10 cm.) se pone a consideración del proyectista la conveniencia de reconsiderar el proyecto desechando el uso de esa capa. Si el proyectista está de acuerdo con ello se calculan de nuevo los espesores sin esa capa. Si no se acepta la sugerencia, el diseño continúa con las capas propuestas inicialmente, ajustando el espesor calculado al espesor mínimo correspondiente a esa capa y al tránsito de proyecto.

2.2.1 Espesores mínimos de cada capa.

El espesor obtenido para cada capa se compara con el espesor mínimo especificado para el nivel del tránsito de proyecto establecido. Si el espesor calculado es menor al mínimo especificado, se toma dicho espesor mínimo como espesor de proyecto, y se disminuyen los espesores de las capas inferiores, de acuerdo con los coeficientes estructurales de esas capas.

Los espesores mínimos especificados para las capas de base y sub-base se fijan por consideraciones constructivas, fundamentados en el comportamiento de carreteras en condiciones reales de servicio.

| Espesores mínimos de las capas de pavimento, en cm. | | | | |
|---|---------------------|----|-----|----|
| Capa | Niveles de Tránsito | | | |
| | I | II | III | IV |
| Carpeta * | 0 | 5 | 5 | 5 |
| Base * | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Sub-base * | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Subrasante ** | 20 | 30 | 30 | 30 |

| | | | | |
|--|----|----|----|----|
| Subrasante *** | 30 | 40 | 40 | 40 |
| Notas: Aplicable a caminos normales y carreteras de altas especificaciones (*) Aplicable a caminos normales (**) Aplicable a carreteras de altas especificaciones (***) | | | | |

Se estima que los caminos con tránsito equivalente menor de un millón de ejes estándar pueden construirse con un tratamiento superficial, sobre una base de buena calidad. Para tránsitos mayores es conveniente la colocación de una carpeta de concreto asfáltico, o base asfáltica con tratamiento superficial.

Al terminar esta etapa se presenta al proyectista el diseño por deformación, tanto el calculado sin restricción de espesores, como el recomendado por espesores mínimos.

Si el proyecto incluye una carpeta asfáltica se pregunta al proyectista si desea continuar el análisis por fatiga. Se recomienda que el proyectista continúe ese camino, ya que es indispensable para realizar el análisis estructural completo.

Si el proyectista decide no continuar el análisis por fatiga por no tener carpeta asfáltica, sino simplemente un riego de sello, el programa finaliza con el diseño por deformación permanente acumulada, dando oportunidad al usuario de imprimir el resultado.

2.3 Revisión de diseño por efectos de fatiga

- 2.3.1** El programa revisa que la relación de módulos entre dos capas adyacentes no estabilizadas no sobrepase cierto límite, para evitar la generación teórica de esfuerzos de tensión excesivos en la parte inferior de la capa superior. Esta relación límite se toma de estudios de la compañía Shell: $K = 0.2h^{0.45}$, donde K es la relación de módulos admisibles, h es el espesor de la capa superior en mm.

En el caso de que se exceda la relación de módulos el programa propone el ajuste recomendable en el valor de los módulos de rigidez, si el proyectista acepta la sugerencia se hace el ajuste, en caso contrario se continúa con los valores iniciales.

CAPITULO VII

CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS.

1. TRABAJOS DE CONSERVACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.

Se ha comprobado que la vida útil de los pavimentos se puede prolongar a menor costo cuando se implementa un sistema de conservación a intervalos estratégicamente planeados. Se establece que los tratamientos de pavimentos no deben realizarse al azar, sino que se deben aplicar estratégicamente y de acuerdo a un programa que fomente la administración efectiva de la red vial.

La conservación de pavimentos se define como actividades orientadas a brindar y a mantener las carreteras, usando tratamientos de bajo costo para retardar el deterioro del pavimento, prolongando la vida útil del pavimento y mejorando su desempeño; reduciendo las molestias para los usuarios. La conservación de Pavimentos, incluye el mantenimiento preventivo y correctivo, pero no incluye los pavimentos nuevos o que necesitan reconstrucción.

Para llevar a cabo un mantenimiento adecuado de las carreteras, se debe elaborar un programa de conservación en donde se proponga hacer uso efectivo de los recursos económicos limitados, al identificar correctamente las fallas de los pavimentos por rehabilitar, empleando tratamientos adecuados en el tiempo correcto y por la selección del tipo de pavimento por reparar. Esta consigna implica hacer recorridos periódicos sobre las carreteras por rehabilitar, para realizar un levantamiento de daños, clasificando el tipo de éstos, para definir adecuadamente el tratamiento correctivo a seguir.

En este Capítulo la conservación y rehabilitación de pavimentos, se enfocará únicamente a la estructura general de un camino, como son las terracerías y el pavimento, excluyendo los conceptos de Puentes, Obras de Drenaje, Obras complementarias, señalamiento, etc. ya que son temas muy importantes y muy amplios, que requieren de un estudio particular e independiente, aunque formen parte de todos los conceptos que intervienen en la construcción de una carretera.

Este capítulo, está basado principalmente en las Normas de Calidad, de Construcción y Conservación, establecidas en la Normativa S.C.T. ya que son las especificaciones que rigen principalmente para la construcción y conservación de carreteras en México.

La Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, de México (SCT), conocida abreviadamente como Normativa SCT, en donde se establecen normas para los diferentes trabajos de conservación, clasificados en tres áreas, como son:

1.1 TRABAJOS DE CONSERVACIÓN RUTINARIA

- Limpieza de la superficie de rodadura y acotamiento.
- Sellado de grietas aisladas en carpetas asfálticas.
- Bacheo superficial aislado.
- Bacheo profundo aislado.

1.2 TRABAJOS DE CONSERVACIÓN PERIÓDICA

- Renivelaciones locales en pavimentos asfálticos.
- Capas de rodadura de un riego.
- Capas de rodadura de granulometría abierta.
- Capas de rodadura de mortero hidráulico.
- Carpeta asfáltica de granulometría densa.
- Fresado de superficie de rodadura en pavimentos asfálticos.
- Recorte de carpetas asfálticas.
- Recuperación en caliente de carpetas asfálticas.
- Capas de rodadura de granulometría discontinua Tipo SMA.
- Capas de rodadura de granulometría discontinua Tipo CASAA.

1.3 TRABAJOS DE RECONSTRUCCIÓN

- Recuperación en frío de pavimentos asfálticos.
- Recorte de pavimentos.
- Construcción de sub-bases o bases hidráulicas.
- Construcción de sub-bases o bases estabilizadas.

Para la realización de estos trabajos, deberá realizarse previamente un levantamiento de daños y deterioros existentes en la estructura y superficie de rodamiento para definir adecuadamente que tipo de tratamiento de rehabilitación se requiere en función del tipo de fallas por rehabilitar, dentro del programa de conservación de pavimentos asfálticos.

Para la realización de todos los trabajos de conservación rutinaria, periódica o de reconstrucción, la Normativa SCT., establece los requisitos de calidad de los materiales que se empleen y los procedimientos generales de ejecución, así como los criterios de aceptación y rechazo con base en el control de calidad, considerando el desempeño de los pavimentos asfálticos.

1.1 TRABAJOS DE CONSERVACIÓN RUTINARIA.

1.1.1 LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE DE RODADURA Y ACOTAMIENTO.

En este inciso se describen los conceptos básicos en qué consisten los trabajos de limpieza de la superficie de rodadura y de los acotamientos de las carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo necesarios para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-2-02-001/10, Limpieza de la Superficie de Rodadura y Acotamientos, de la Normativa de la S.C.T.

Estos trabajos son el conjunto de actividades que se realizan sobre la superficie de rodamiento del pavimento con el objeto de eliminar objetos sólidos (fragmentos de roca, árboles o trozos de madera basura u otros.), materiales polvorientos, sustancias líquidas (derrames de combustibles, solventes o lubricantes.) y semilíquidas que afecten la comodidad y seguridad del usuario. La limpieza puede efectuarse de manera general sobre el pavimento o local cuando ésta sea motivada por accidentes o derrumbes, entre otros.

Previamente al inicio de los trabajos de limpieza, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

1.1.2 SELLADO DE GRIETAS AISLADAS EN CARPETAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de sellado de grietas aisladas en carpetas asfálticas. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-2-02-002/00, Sellado de Grietas Aisladas en Carpetas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Estos trabajos consisten en el conjunto de actividades necesarias para sellar grietas hasta de 1 cm. de abertura, que se presenten en forma aislada en carpetas asfálticas, con el propósito de prevenir la entrada de cuerpos extraños y del agua proveniente de lluvias o escurrimientos superficiales, hacia las capas inferiores que integran la estructura del pavimento, evitando así la saturación y consecuente pérdida de resistencia, degradación o deterioro. Previamente al inicio de los trabajos de sellado de grietas, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

1.1.3 BACHEO SUPERFICIAL AISLADO.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de bacheo superficial aislado en carpetas asfálticas. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-2-02-003/00, Bacheo Superficial Aislado, de la Normativa de la S.C.T.

Estos trabajos consisten en el conjunto de actividades que se realizan para reponer una porción de la carpeta asfáltica que presenta daños como oquedades por desprendimiento o desintegración inicial de los agregados pétreos que componen la carpeta asfáltica: en zonas localizadas y relativamente pequeñas, cuando la base del pavimento se encuentra en condiciones estables y sin exceso de agua.

Se considera bacheo aislado cuando las áreas afectadas tengan una extensión menor de 100 m², por cada 7,000 m² de superficie de rodamiento del pavimento.

Previamente al inicio de los trabajos, se realizará un levantamiento mediante inspección visual, de los daños de la carpeta que serán reparados mediante bacheo superficial, así mismo, previamente a los trabajos de bacheo, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

1.1.4 BACHEO PROFUNDO AISLADO.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de bacheo profundo aislado en carpetas asfálticas. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-2-02-004/03, Bacheo Profundo Aislado, de la Normativa de la S.C.T.

Estos trabajos consisten en el conjunto de actividades que se realizan para reponer una porción de pavimento asfáltico que presenta daños como deformaciones y oquedades por desprendimiento o desintegración, en zonas localizadas relativamente pequeñas, cuando las capas subyacentes del pavimento se encuentran en condiciones inestables o con exceso de agua.

Se considera bacheo profundo aislado cuando las áreas afectadas tienen una extensión menor de 100 m², por cada 7,000 m² de superficie de rodamiento del pavimento.

Previamente al inicio de los trabajos, se realizará un levantamiento mediante inspección visual, de los daños de la carpeta que serán reparados mediante bacheo profundo, así mismo, se deberá instalar, el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

1.2 TRABAJOS DE CONSERVACIÓN PERIÓDICA.

1.2.1 RENIVELACIONES LOCALES EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de renivelación local en superficie de carpetas asfálticas de carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-001/10, Renivelaciones Locales en Pavimentos Asfálticos, de la Normativa de la S.C.T.

Estos trabajos consisten en el conjunto de actividades que se realizan sobre la superficie de una carpeta asfáltica para corregir deformaciones permanentes, tales como roderas, depresiones y corrugaciones, entre otras, con el propósito de restablecer las características geométricas, de drenaje superficial, de seguridad y de comodidad de la carretera. La renivelación local puede hacerse con mezcla en caliente o en frío.

Para que una superficie de rodadura sea susceptible de corregirse mediante trabajos de renivelación, no existirá insuficiencia estructural del pavimento y las deformaciones máximas estarán comprendidas entre 1.0 y 3.5 cm., medidas con una regla rígida, con longitud mínima de 3.0 m., colocada en cualquier dirección; tampoco presentará agrietamientos por fatiga, que se reflejaría en la superficie corregida.

Se considera renivelación local cuando el volumen de mezcla asfáltica por colocar es menor de 200 m³ por kilómetro.

Previamente al inicio de los trabajos, se realizará un levantamiento mediante inspección visual, de las deformaciones de la superficie de la carpeta asfáltica que serán reparadas, así mismo, previamente se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-

PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

1.2.2 CAPAS DE RODADURA DE UN RIEGO.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en la construcción de capas de rodadura de un riego, como tratamiento superficial de carpetas asfálticas de carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-002/09, Capas de Rodadura de un Riego, de la Normativa de la S.C.T.

Las capas de rodadura de un riego son las que se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica, mediante la aplicación de un riego de material asfáltico y una capa de material pétreo triturado, de una composición granulométrica determinada, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad de la superficie de rodadura. Pueden ser premezcladas o no, y no tienen función estructural por su reducido espesor.

Previamente al inicio de los trabajos, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT. Así mismo, inmediatamente antes de iniciar la construcción de la capa de rodadura de un riego, la superficie de la carpeta sobre la que se colocará estará debidamente preparada, exenta de basura, piedras, grasa o encharcamiento de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido. De existir deformaciones transversales o roderas mayores de 6 mm. de profundidad, previamente se hará un fresado de toda la superficie por cubrir.

1.2.3 CAPAS DE RODADURA DE GRANULOMETRÍA ABIERTA.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en la construcción de capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría abierta, como tratamiento superficial de carpetas asfálticas de carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-003/10, Capas de Rodadura de Granulometría Abierta, de la Normativa, S.C.T.

Las capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría abierta, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando el calor como vehículo de incorporación de éste, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Estas capas no tienen función estructural pues generalmente se construyen con espesores menores de 4 cm. sobre una carpeta asfáltica, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la capa de rodadura, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

Previamente al inicio de los trabajos, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

Cuando así lo indique el proyecto, previo a la construcción de la capa de rodadura de granulometría abierta, se hará un fresado en toda la superficie por cubrir, para eliminar las deformaciones superficiales de la carpeta asfáltica o retirar la capa de rodadura existente. Así mismo, inmediatamente antes de iniciar la construcción de la capa de rodadura de granulometría abierta, la superficie de la carpeta sobre la que se colocará, estará debidamente preparada, exenta de basura, piedras, grasa o encharcamiento de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

1.2.4 CAPAS DE RODADURA DE MORTERO ASFÁLTICO.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en la construcción de capas de rodadura de mortero asfáltico, como tratamiento superficial de carpetas asfálticas de carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-004/10, Capas de Rodadura de Mortero Asfáltico, de la Normativa SCT.

Las capas de rodadura de mortero asfáltico son las que se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica, mediante el tendido de una mezcla elaborada generalmente en frío, de materiales pétreos de granulometría fina y cemento asfáltico modificado o no, en emulsión o rebajado con solventes, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad, así como corregir desprendimientos menores.

Por lo general son capas de rodadura delgadas, del orden de 1 a 2 cm. de espesor, por lo que no tienen función estructural.

Previamente al inicio de los trabajos de construcción de la capa de rodadura de mortero asfáltico, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica

en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

Cuando así lo indique el proyecto, previo a la construcción de la capa de rodadura de mortero asfáltico, se hará un fresado en toda la superficie por cubrir, para eliminar las deformaciones superficiales de la carpeta asfáltica original.

Así mismo, inmediatamente antes de iniciar la construcción de la capa de rodadura de mortero asfáltico, la superficie de la carpeta sobre la que se colocará estará debidamente preparada, exenta de basura, piedras, grasa o encharcamiento de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

1.2.5 CARPETA ASFÁLTICA DE GRANULOMETRÍA DENSA.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en la construcción de carpetas de granulometría densa, ya sea como refuerzo o para reponer la carpeta asfáltica original de carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos de construcción, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-005/10, Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa, de la Normativa, S.C.T.

Las carpetas de granulometría densa son aquellas que se construyen sobre un pavimento existente, mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando generalmente calor como vehículo de incorporación, con la finalidad principal de reforzar la estructura del pavimento, además de restablecer o mejorar las características de comodidad y seguridad de la superficie de rodadura. En el caso de mezclas elaboradas en frío, el material asfáltico puede ser rebajado con solventes o en emulsión.

Previamente al inicio de los trabajos de construcción de la carpeta de granulometría densa, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa, SCT.

Cuando así lo indique el proyecto, previo a la construcción de la carpeta de granulometría densa, se hará un fresado continuo que abarque toda la superficie por cubrir, para eliminar las deformaciones superficiales de la carpeta asfáltica original y de las nivelaciones locales que en su caso se hayan colocado o un recorte de la carpeta por reponer. Así mismo, inmediatamente antes de iniciar la construcción de la carpeta de granulometría densa, la superficie de la carpeta sobre la que se colocará estará debidamente preparada, exenta de basura, piedras, grasa o encharcamiento de

material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

1.2.6 FRESADO DE SUPERFICIE DE RODADURA EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos, de carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos de construcción, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-006/10, Fresado de Superficie de Rodadura en Pavimentos Asfálticos, de la Normativa, SCT.

Estos trabajos consisten en el conjunto de actividades que se realizan con una fresadora para eliminar las deformaciones superficiales en carpetas asfálticas o para retirar capas de rodadura deterioradas, con el objeto de mejorar las características de comodidad y fricción de la superficie de rodadura o para desplantar la nueva capa de rodadura.

Previamente al inicio de los trabajos de fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

El fresado se realizará de tal forma que no se dañen las cunetas u otras obras de drenaje, las guarniciones, zonas de superficie de rodadura fuera del área de fresado y cualquier otra estructura. Sobre la superficie por fresar, se delimitará los tramos que se indiquen en proyecto.

1.2.7 RECORTE DE CARPETAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de recorte de carpetas asfálticas como preparación para la renovación parcial de la estructura del pavimento y en su caso, la colocación de una nueva capa de rodadura, de carretera. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos de recorte de carpeta asfáltica, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-007/10, Recorte de Carpetas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Estos trabajos consisten en el conjunto de actividades que se requieren para remover la carpeta asfáltica por medios mecánicos, a la profundidad, ancho y sección requeridos por el proyecto a fin de reponer parcialmente la estructura del pavimento y en su caso, la capa de rodadura.

Previamente al inicio de los trabajos de recorte de carpetas asfálticas, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

El fresado de corte de carpeta se realizará de tal forma que no se dañen las cunetas u otras obras de drenaje, las guarniciones, zonas de superficie de rodadura fuera del área de fresado y cualquier otra estructura. Sobre la superficie por cortar, se delimitará los tramos que se indiquen en proyecto.

1.2.8 RECUPERACIÓN EN CALIENTE DE CARPETAS ASFÁLTICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de recuperación en caliente de carpetas asfálticas de carreteras, incluyendo la desintegración de la carpeta mediante su recorte, así como el remezclado, tendido y compactación del material recuperado, con el propósito de corregir roderas u otros defectos superficiales y preparar las carpetas asfálticas para recibir un nuevo tratamiento superficial o capa de rodadura.

Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-008/03, Recuperación en Caliente de Carpetas Asfálticas, de la Normativa de la S.C.T.

Estos trabajos consisten en el conjunto de actividades que se realizan para desintegrar superficialmente la carpeta asfáltica por medios mecánicos y con aplicación de calor; remezclar el material recuperado con o sin la adición en el lugar de materiales pétreos nuevos, materiales asfálticos, cal, cemento portland u otros; tender y compactar el material recuperado para formar una nueva carpeta o una base asfáltica, según lo indique el proyecto.

Previamente al inicio de los trabajos para la recuperación en caliente de carpetas asfálticas, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

La superficie de la carpeta existente será calentada a través del movimiento continuo de calentadores radiantes para permitir la posterior recuperación del material sin romper el agregado en la mezcla asfáltica, manteniendo la temperatura de la carpeta entre 105 y 230 °C.

Los trabajos de calentamiento de la carpeta serán aplicados por medio de un cofre cerrado el cual se extenderá más allá de 10 cm. del ancho de la recuperación a ambos lados, de manera tal que la penetración del calor sea uniforme sin causar un diferencial

de ablandamiento de la parte superior. El material existente en la superficie no deberá ser expuesto a una flama directa.

1.2.9 CAPAS DE RODADURA DE GRANULOMETRÍA DISCONTINUA TIPO SMA.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en la construcción de capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua tipo SMA, ya sea como tratamiento superficial o para reponer la capa de rodadura original de carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-014/10, Capas de Rodadura de Granulometría Discontinua Tipo SMA, de la Normativa, S.C.T.

Las capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua tipo SMA, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Estas capas no tienen función estructural pues generalmente se construyen con espesores menores de 4 cm., sobre una carpeta de mezcla asfáltica o de concreto hidráulico, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la capa de rodadura, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

Previamente al inicio de los trabajos para la construcción de la capa de rodadura de granulometría discontinua tipo SMA, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

Cuando así lo indique el proyecto, previo a la construcción de la capa de rodadura de granulometría discontinua tipo SMA, se hará un fresado continuo que abarque toda la superficie por cubrir, para eliminar las deformaciones superficiales de la carpeta asfáltica o retirar la capa de rodadura existente. Así mismo, inmediatamente antes de iniciar la construcción de la capa de rodadura de granulometría discontinua tipo SMA, la superficie de la carpeta sobre la que se colocará tendrá condiciones adecuadas de drenaje transversal y longitudinal y estará debidamente preparada, exenta de basura, piedras, grasa o encharcamiento de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

1.2.10 CAPAS DE RODADURA DE GRANULOMETRÍA DISCONTINUA TIPO CASAA.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en la construcción de capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua tipo CASAA, ya sea como tratamiento superficial o para reponer la capa de rodadura original de carreteras. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-3-02-015/10, Capas de Rodadura de Granulometría Discontinua Tipo CASAA, de la Normativa de la S.C.T.

Las capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua tipo CASAA, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Estas capas no tienen función estructural pues generalmente se construyen con espesores menores de 4 cm., sobre una carpeta de mezcla asfáltica o de concreto hidráulico, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la capa de rodadura, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Previamente al inicio de los trabajos para la construcción de la capa de rodadura de granulometría discontinua tipo CASAA, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa, SCT.

Cuando así lo indique el proyecto, previo a la construcción de la capa de rodadura de granulometría discontinua tipo CASAA, se hará un fresado continuo que abarque toda la superficie por cubrir, para eliminar las deformaciones superficiales de la carpeta asfáltica o retirar la capa de rodadura existente. Así mismo, inmediatamente antes de iniciar la construcción de la capa de rodadura de granulometría discontinua tipo CASAA, la superficie de la carpeta sobre la que se colocará tendrá condiciones adecuadas de drenaje transversal y longitudinal y estará debidamente preparada, exenta de basura, piedras, grasa o encharcamiento de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

1.3. TRABAJOS DE RECONSTRUCCIÓN.

Son los trabajos que se realizan cuando las operaciones de mantenimiento se vuelven excesivamente caras y ya es difícil conservar la carpeta con las características adecuadas de superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura, por lo que será necesario construir una carpeta nueva por medio de los trabajos de reconstrucción como son: recuperación en frío de pavimentos asfálticos, recorte de pavimentos, y en su caso, construcción de sub-bases o bases hidráulicas y construcción de sub-bases o bases estabilizadas.

Por lo que se deberá hacer un estudio cuidadoso considerando todos los datos del pavimento, condiciones físicas existentes, características del tránsito actual y del que se espera, y la revisión del diseño geométrico que cumpla con la seguridad y operación eficiente del tránsito esperado; para que se defina un proyecto de reconstrucción específico en las carreteras muy dañadas o en las que es necesario incrementar su capacidad estructural para soportar adecuadamente las nuevas cargas inducidas por el tránsito mayor al previsto en el diseño original del pavimento.

1.3.1 RECUPERACIÓN EN FRÍO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de recuperación en frío de pavimentos asfálticos de carreteras, incluyendo la desintegración de la carpeta y de las capas inferiores mediante recuperadora; así como el remezclado, tendido y compactación del material recuperado, con el propósito de formar una nueva base o sub-base, hidráulica, con materiales modificados, estabilizados, mezcla asfáltica en frío o concreto hidráulico de baja resistencia. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-4-02-001/03, Recuperación en Frío de Pavimentos Asfálticos, de la Normativa, S.C.T.

La recuperación en frío de pavimentos asfálticos es el conjunto de actividades que se realizan para desintegrar la carpeta asfáltica y parte o totalidad del material de base o sub-base, por medios mecánicos en frío; remezclar en el lugar el material recuperado con materiales pétreos nuevos, modificados o estabilizados con materiales asfálticos, cemento Portland, cal u otros o transformarlo en concreto hidráulico de baja resistencia; tender y compactar el material recuperado para formar una base o sub-base sobre la que, posteriormente se construirá una nueva carpeta asfáltica.

Previamente al inicio de los trabajos para la recuperación en frío de pavimentos asfálticos, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa, SCT.

Cuando así lo indique el proyecto, previo a los trabajos de recuperación en frío de pavimentos asfálticos, se realizara la limpieza de la superficie de rodadura. En cuanto a los baches profundos identificados en la superficie por recuperar serán reparados satisfactoriamente antes del inicio de los trabajos.

1.3.2 RECORTE DE PAVIMENTOS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de recorte de pavimentos para su sustitución, en áreas delimitadas. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-4-02-003/03, Recorte de Pavimentos, de la Normativa de la S.C.T.

El recorte de pavimentos consiste en el conjunto de actividades que se realizan para retirar la carpeta, base y sub-base por medios mecánicos, a fin de sustituirlas por otras nuevas.

Previamente al inicio de los trabajos de recorte de pavimentos, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa, SCT.

Antes del inicio de los trabajos de recorte de pavimento, sobre la superficie de la carpeta, se delimitarán los tramos por recortar, que se indiquen en el proyecto; Debiendo tener cuidado, durante la ejecución de los trabajos, de no dañar o alterar la estructura adyacente al recorte.

1.3.3 CONSTRUCCIÓN DE SUB-BASES Y BASES HIDRÁULICAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de construcción de sub-bases y bases hidráulicas para la reconstrucción de pavimentos. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-4-02-004/03, Construcción de Sub-bases y Bases Hidráulicas, de la Normativa, S.C.T.

La construcción de sub-bases consiste en el conjunto de actividades que se requieren para construir una capa de sub-base colocada entre la sub-rasante y la base, empleando material pétreo seleccionado con características granulométricas y de calidad determinadas. Su principal propósito es el de distribuir o "repartir" los esfuerzos creados por las cargas de la base, la carpeta asfáltica y de las aplicadas por el tránsito que actúan sobre la superficie de rodamiento; para que los esfuerzos transmitidos a la sub-rasante no sean tan grandes que den por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de las terracerías de cimentación.

La construcción de bases hidráulicas consiste en el conjunto de actividades que se requieren para construir una capa de base de muy alta estabilidad y densidad, empleando material pétreo seleccionado con características granulométricas y de calidad determinadas. Su principal propósito es el de distribuir o "repartir" los esfuerzos creados por las cargas de la carpeta asfáltica y de las aplicadas por el tránsito que actúan sobre la superficie de rodamiento; para que los esfuerzos transmitidos a la sub-base y sub-rasante no sean tan grandes que den por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de las terracerías de cimentación.

Previamente al inicio de los trabajos de construcción de sub-bases o bases hidráulicas, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

1.3.4 CONSTRUCCIÓN DE SUBBASES Y BASES ESTABILIZADAS.

En este inciso se describen los conceptos básicos a considerar en los trabajos de construcción de sub-bases y bases estabilizadas para la reconstrucción de pavimentos. Los procedimientos establecidos, materiales y equipo requerido para realizar estos trabajos, se encuentran explicados ampliamente y detallados en la Norma N-CSV-CAR-4-02-005/03, Construcción de Sub-bases y Bases Estabilizadas, de la Normativa de la S.C.T.

La construcción de sub-bases estabilizadas consiste en el conjunto de actividades que se requieren para construir una capa de sub-base modificada o estabilizada con materiales asfálticos, cemento Pórtland, cal u otros con el fin de mejorar sus características físicas y mecánicas que ya tendida y compactada, nos proporcione una mayor resistencia y mejor comportamiento de la estructura del pavimento.

La sub-base estabilizada, se coloca entre la sub-rasante y la base, empleando material pétreo seleccionado con características granulométricas y de calidad determinadas; estabilizado mediante un tratamiento químico o mecánico. Su principal propósito es el de distribuir o "repartir" los esfuerzos creados por las cargas de la base, la carpeta asfáltica y de las aplicadas por el tránsito que actúan sobre la superficie de rodamiento; para que los esfuerzos transmitidos a la sub-rasante no sean tan grandes que den por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de las terracerías de cimentación.

La construcción de bases estabilizadas consiste en el conjunto de actividades que se requieren para construir una capa de base modificada o estabilizada con materiales asfálticos, cemento Pórtland, cal u otros con el fin de mejorar sus características físicas y mecánicas que ya tendida y compactada, nos proporcione una mayor resistencia y mejor comportamiento de la estructura del pavimento.

La base estabilizada, de muy alta estabilidad y densidad, se construye empleando material pétreo seleccionado con características granulométricas y de calidad determinadas. Su principal propósito es el de distribuir o "repartir" los esfuerzos creados por las cargas de la carpeta asfáltica y de las aplicadas por el tránsito que actúan sobre la superficie de rodamiento; para que los esfuerzos transmitidos a la sub-base y sub-rasante no sean tan grandes que den por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de las terracerías de cimentación.

Previamente al inicio de los trabajos de construcción de sub-bases o bases estabilizadas, se deberá instalar el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran conforme a lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección de Obras, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-2-05-011, Instalación de Señalamiento y Dispositivos de Protección de Obras de Conservación, de la Normativa SCT.

CONCLUSIONES

Respecto a este trabajo de titulación, se concluye, se debe tener en cuenta que solo se trato en forma particular del tema de pavimentos para caminos, quedando pendiente por considerar todos los demás temas que complementan la construcción de una carretera, como son: obras complementarias de drenaje (cunetas, contracunetas, lavaderos, bordillos, vados, subdrenes, etc.), puentes, alcantarillas, guarniciones, banquetas, defensas de protección, así como, el señalamiento vertical y horizontal. Que por ser temas bastante amplios que se considera importante, tratarlos en forma independiente pero que deben de correlacionarse directamente con el proyecto del pavimento.

Por otra parte, también se concluye que los títulos de este trabajo de titulación, se presentan en forma independiente, pero en una secuencia lógica que se considera adecuada para lograr una comprensión completa y general para poder desarrollar un proyecto de una carretera, tener los conocimientos suficientes sobre la estructuración de las terracería y pavimentos, así como conocer adecuadamente los procedimientos constructivos, realizar el control de calidad tanto de los materiales empleados como del durante la construcción. Además se contará con los conocimientos para realizar un programa para la conservación y rehabilitación de pavimentos flexibles para caminos normales o carreteras de altas especificaciones.

Como conclusión general, se hace mención que se tomo como base fundamental para la realización de este trabajo, la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT (Normativa SCT), ya que son las Normas establecidas autorizadas que rigen en este país México, para la construcción de caminos, aunque en el caso del diseño de pavimentos, existen otros métodos de diseño de pavimentos, como son el método del Instituto del Asfalto, el método de diseño AASHTO, no se mencionaron en éste trabajo ya que en estos métodos, se consideran algunos factores de diseño que no corresponden a las condiciones reales que se presentan en la Republica Mexicana.

Por otra parte, se reitera que la base fundamental de este trabajo de titulación fue la Normativa SCT, ya que en México, se cuenta con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, como dependencia gubernamental, encargada de realizar las obras de vías de comunicación terrestre en México, así como de realizar y actualizar las Normas técnicas de necesarias para aplicarlas en la Normativa para la Infraestructura del Transporte, y con el apoyo del Instituto Mexicano del Transporte, se elabora y actualiza la Normativa SCT, además se cuenta con las constantes investigaciones sobre el comportamiento de pavimentos por parte de instituciones como el Instituto de Ingeniería de la UNAM y del mismo Instituto Mexicano del Transporte de la SCT.

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- “Conceptos que Conforman el Proyecto Ejecutivo de Carreteras”
Autor: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
Dirección General de Servicios Técnicos
XXIV Congreso Mundial de Carreteras (2011)
- 2.- “Diseño Estructural de Carreteras con Pavimento Flexible”
Autor: Santiago Corro Caballero, Guillermo Prado Ollervides
Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
Número.- 325 Enero 1974
- 3.- “Instructivo para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras”
Autor: Santiago Corro Caballero, Roberto Magallanes, Guillermo Prado Ollervides.
Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
Número.- 444 Noviembre 1981.
- 4.- “Comportamiento de Pavimentos de Altas Especificaciones en la Pista Circular del Instituto de Ingeniería de la UNAM.”
Autor: Santiago Corro Caballero, Guillermo Prado Ollervides, Armando Rangel Ordoñez.
- 5.- “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres” Volumen I
Autor: Alfonso Rico Rodríguez, Hermilo del Castillo.
Editorial Limusa. 2000.
- 6.- “Diseño Estructural de Pavimentos Incluyendo Carreteras de Altas Especificaciones DISPAV-5”
Autor: Santiago Corro Caballero, Guillermo Prado Ollervides.
Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM. CI-8
Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1999.
- 7.- “Análisis de los Coeficientes de Daño Unitarios Correspondientes a los Vehículos Autorizados en la Red Nacional de Carreteras Mexicanas”
Autor: Rico, A., Orozco, J. M., Téllez, R. y Sánchez, M.
Publicación Técnica Núm. 5
Instituto Mexicano del Transporte.- Querétaro, México, 1988.
- 8.- **“NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE SCT”**
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
Instituto Mexicano del Transporte. Normativa, SCT.
- 9.- **Libro: Proyecto (PRY)**
Partes.- 01 Estudios Topográficos
02 Estudios Geológicos

- 10.- Libro: Construcción (CTR)**
Partes.- 1 Conceptos de Obra
Títulos: 01 Terracerías
 04 Pavimentos
- 11.- Libro: Conservación (CSV)**
Parte.- 2 Trabajos de Conservación Rutinaria
Título: 02 Pavimentos
Parte.- 3 Trabajos de Conservación Periódica
Título: 02 Pavimentos
Parte.- 4 Trabajos de Reconstrucción
Título: 02 Pavimentos
- 12.- Libro: Control y Aseguramiento de Calidad (CAL)**
Partes.- 1 Control de Calidad
Títulos: 01 Ejecución del Control de Calidad Durante la Construcción o
 Conservación.
- 13.- Libro: Características de los Materiales (CMT)**
Parte.- 1 Materiales para Terracerías
Títulos: 01 Materiales para Terracerías
 02 Materiales para Subyacente
 03 Materiales para Subrasante
- Parte.- 4 Materiales para Pavimentos
Títulos: 01 Materiales para Revestimiento
 02 Materiales para Subbases y bases
 03 Materiales para Estabilizaciones
 04 Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas
 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
- 14.- Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales (MMP)**
Parte.- 1 Suelos y Materiales para Terracerías
Títulos: Todos
Parte.- 4 Materiales para Pavimentos
Títulos: 04 Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas
 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
 07 Superficies de Rodadura.